



**LAZER İLE YAPAY ÇİVİLEME MERKEZLERİ OLUŞTURULAN YBCO
ŞERİTLERİN SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Neslihan TURAN

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2018

Neslihan TURAN tarafından hazırlanan “LAZER İLE YAPAY ÇİVİLEME MERKEZLERİ OLUŞTURULAN YBCO ŞERİTLERİN SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Şükrü ÇAVDAR

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Ziya MERDAN

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Selim ACAR

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Özgür ÖZTÜRK

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Ali BOZBEY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, TOBB ETÜ

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 09 / 03 / 2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Neslihan TURAN

09 / 03 / 2018

LAZER İLE YAPAY ÇİVİLEME MERKEZLERİ OLUŞTURULAN YBCO ŞERİTLERİN SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Neslihan TURAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2018

ÖZET

Süperiletkenlerin teknolojiye kullanılabilmesi için, yüksek kritik akım yoğunluğuna sahip olmaları önemlidir. Süperiletken malzemelerde kritik akım değerinin artırılması konusunda pek çok çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda, nadir toprak elementlerinin yapı içerisinde kısmi yer değişikliği, katkı etkisi veya süperiletken olmayan ikincil yapıların katılması ile rastgele çivileme merkezleri oluşturularak kritik akım yoğunluğunun artması sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar, yapay çivileme merkezleri oluşturulmasının, kritik akım yoğunluğunun artırılması için önemli bir parametre olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada YBCO şeritler katmanlı olarak sol-jel ve daldırmalı kaplama tekniği kullanılarak hazırlandı. 75 µm kalınlığında Ni-%5W şerit üzerine, (Gd_{0,9}Ho_{0,1})₂O₃ tampon katman kaplandı ve karakterize edildi. Tampon katman üzerine YBCO süperiletken katman kaplandı ve karakterize edildi. ns-IR ve ps-UV lazer ile YBCO şeritler üzerinde düzenli kusurlar oluşturularak hangi lazerin kullanılacağı tespit edildi. ps-UV lazer ile düzenli olarak noktasal çizgisel ve dairesel kusurlar oluşturularak, oluşturulan kusurların, çivileme merkezlerinin yerini alıp alamadıkları ve/veya hangi oranda alabildikleri kontrol edildi. Kusurlu örneklerin, 0-5 T aralığında manyetizasyon ölçümleri alındı. Elde edilen M-H döngülerinden J_c değerleri hesaplandı. Yapılan çalışmanın, literatürde mevcut olan çalışmalardan en önemli farkı, kontrollü olarak lazer ile oluşturulan yapay çivileme merkezlerinin etkisinin detaylı şekilde incelenmesidir.

Bilim Kodu : 20224
Anahtar Kelimeler : Süperiletkenlik, YBCO, Çivileme merkezi, Girdap
Sayfa Adedi : 103
Danışman : Doç. Dr. Şükrü ÇAVDAR

INVESTIGATION OF SUPERCONDUCTIVITY PROPERTIES OF YBCO TAPES
WHICH HAVE ARTIFICIAL PINNING CENTERS FORMED BY LASER

(Ph. D. Thesis)

Neslihan TURAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2018

ABSTRACT

In order for superconducting materials to be used in technology, it is important that they have a high critical current density. Many studies have been carried out on increasing the critical current density in superconducting materials. In these studies, random artificial pinning centers were formed by adding partial displacements, adding effects or non-superconducting secondary structures of rare earth elements to increase the critical current density. Studies have shown that the creation of artificial pinning centers is the important parameter for increasing the critical current density. In this study, YBCO tapes were prepared using sol-gel and dip coating techniques. The Ni-5%W tapes of 75 μm thickness were coated with $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})\text{2O}_3$ buffer layer and characterized. Then YBCO superconductor layer was coated and characterized on the buffer layer. Regular defects were formed on the YBCO thin films with ns-IR and ps-UV lasers to determine which laser is suitable to defect formation. Regular pulse, line, and circular defects were created with the ps-UV laser to check that the deformations created could not be artificial pinning centers and/or where they could be. Magnetization measurements of defective samples were taken between 0-5 T. J_c values were calculated from the obtained M-H cycles. The most important difference between the work presented and the studies in the literature is the detailed examination of the laser-controlled artificial pinning centers on the superconducting surface.

Science Code : 20224

Key Words : Superconductivity, YBCO, Pinning center, Vortex

Page Number : 103

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Şükrü ÇAVDAR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca deneyimleri ile beni yönlendiren, danışman hocam Doç. Dr. Şükrü ÇAVDAR'a teşekkür ederim.

Değerli yorum ve önerileri ile çalışmalarına katkıları bulunan hocalarım, Prof. Dr. Abdullah GÜNEN, Doç. Dr. Haluk KORALAY, Prof. Dr. Lütü ARDA, tez komitesi üyelerim, Prof. Dr. Selim ACAR ve Doç. Dr. Ali BOZBEY'e, deneysel çalışmalarımındaki yardımlarından dolayı lisansüstü öğrencileri, Çağrı Öcal BARIŞ, Yusuf ÖZNAL ve Naki KAYA'ya teşekkür ederim.

TÜBİTAK-BİDEB 2214/A Yurt Dışı Araştırma Bursu ile beni destekleyen TÜBİTAK'a ve deneysel çalışmalarımın bir kısmını gerçekleştirdiğim Zaragoza Üniversitesi Malzeme Bilimi Enstitüsü laboratuvar olanaklarını sağlayan Prof. Dr. German DE LA FUENTE LEIS ve Prof. Dr. Luis Alberto ANGUREL LAMBÁN'a çalışmalarımındaki yol göstericiliği ve yakın ilgileri için teşekkür ederim.

Her zaman maddi, manevi destekleriyle yanımda olan, sevgili ailem, eşim ve kızıma minnettarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Süperiletkenliğin Tarihçesi	5
2.2. Abrikosov Girdap Yapısı ve Çivilenme Mekanizması	9
2.3. Bean Modeli	12
2.4. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri	17
2.5. Yitrium Tabanlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Özellikleri.....	20
2.6. YBCO İnce Film Üretim Yöntemleri	22
2.7. Lazer Teknolojileri ve Uygulamaları	24
3. DENEYSEL METOTLAR	31
3.1. X ışını Toz Kırınım Ölçümü	31
3.2. Konfokal Optik Mikroskop.....	32
3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu	33
3.4. Lazer Sistemleri.....	34
3.5. DC-SQUID Ölçüm Sistemi.....	35

	Sayfa
3.6. Daldırmalı İnce Film Üretim Sistemi.....	35
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1. YBCO İnce Film Üretimi.	38
4.1.1. Altlık analizi	38
4.1.2. Tampon katmanın kaplanması	40
4.1.3. Tampon katmanın analizi	43
4.1.4. YBCO katmanın kaplanması.....	46
4.1.5. YBCO katmanın analizi	49
4.2. Standart YBCO Şeridin Analizi	52
4.3.YBCO Şeritler Üzerinde Kusur Oluşturulması.....	54
4.3.1. ps-UV lazer ile noktasal kusur oluşturma ve analizi	59
4.3.2. ps-UV lazer ile çizgisel kusur oluşturma ve analizi	61
4.3.3. ps-UV lazer ile dairesel kusur oluşturma ve analizi	65
4.4. Manyetik Ölçüm Sonuçları	66
4.4.1. Noktasal kusur ölçüm sonuçları.....	72
4.4.2. Çizgisel kusur ölçüm sonuçları	77
4.4.3. Dairesel kusur ölçüm sonuçları.....	81
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Süperiletkenliğe geçiş sıcaklıkları bulunan bazı element ve bileşiklerin listesi.....	5
Çizelge 2.2. Uygulamalarda kullanılan süperiletkenlerin özellikleri.....	18
Çizelge 4.1. $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})_2\text{O}_3$ çözeltisi hazırlamak için kullanılan malzemeler ve oranları	41
Çizelge 4.2. Tampon katmana ait X ışını kırınım deseninden hesaplanan örgü parametreleri ve kristal büyüklükleri.....	44
Çizelge 4.3. YBCO çözeltisi hazırlamak için kullanılan malzemeler ve oranları	47
Çizelge 4.4. ns-IR ve ps-UV lazer ile yapılan kusurlara ait parametreler ve hesaplanan enerji değerleri	55
Çizelge 4.5. Manyetizasyon ölçüm için hazırlanan örneklere ait parametreler	66
Çizelge 5.1. Lazer ile kusur oluşturulan örneklere ait M-H döngüsünden hesaplanan J_C değerleri	91
Çizelge 5.2. Literatürde yer alan yapay çivileme merkezi oluşturulmuş bazı çalışmaların referans ve işlem görmüş örneklerine ait J_C değerleri.....	92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Süperiletken malzemelerde görülen Meissner etkisi	6
Şekil 2.2. Dış manyetik alanda davranışına göre süperiletken tipleri, (a) I. Tip süperiletken, (b) II. Tip süperiletken	7
Şekil 2.3. (a) Dış manyetik alan etkisiyle II. tip süperiletkenlerde oluşan akı girdapları, (b) Girdabın üst yüzey kesit görünümü, (c) Girdabın yan yüzey kesit görünümü	8
Şekil 2.4. Dış manyetik alan etkisiyle oluşan girdabın yapısı	9
Şekil 2.5. 2,3 K'de V_3Si örneğinden alınan STM görüntüsü, (a)-(d) Fermi düzey diferansiyel iletkenlik haritalarından girdap kafes görüntüleri, (e)-(h) Uygulanan manyetik alanın bir fonksiyonu olarak ilintili görüntüler	10
Şekil 2.6. Süperiletken film üzerinde oluşan yapı kusurlarının şematik gösterimi	11
Şekil 2.7. II. Tip süperiletkenlere ait manyetizasyon eğrisi	12
Şekil 2.8. Akı çizgilerinin şematik gösterimi, (a) Ferromanyetik malzeme, (b) II. tip süperiletken	13
Şekil 2.9. (a) H manyetik alanı uygulanan sonlu bir uzunlukta kalınlığı d, genişliği w olan şeritte H ve J'nin şematik gösterimi, (b) Bean modeline göre, H artışıyla akı sızmalarının şerit kalınlığı içinde değişimi, (c) H'nin düşmesiyle akı sızmalarının değişimi, (d) (b) ve (c)'deki H değişimiyle oluşan manyetizasyon döngüsü.	15
Şekil 2.10. Ticarileşen süperiletken malzemelerin yapısı, (a) Nb47wt%Ti tel, (b) Nb ₃ Sn tel, (c) MgB ₂ tel, (d) (Bi, Pb) ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x tel, (e) YBa ₂ Cu ₃ O _x şerit	19
Şekil 2.11. Y123'ün kristal yapısı, (a) Tetragonal yapı, (b) Ortorombik yapı	21
Şekil 2.12. İnce film üretim yöntemleri	23
Şekil 2.13. Lazerlerin, ışın üretmek için kullanılan malzemeye göre sınıflandırılması .	25
Şekil 2.14. Ticari lazerlerin kullanıldığı alana göre özellikleri	26
Şekil 2.15. Lazerlerin uygulama alanları	27
Şekil 2.16. Lazer-malzeme etkileşiminin termal ve atermal etkileşim mekanizması.....	27

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Konfokal mikroskop ile yüzey analiz örneği, (a) Yüzey topografisi, (b) Üç boyutlu analiz, (c) Profil analizi.....	33
Şekil 3.2. ps-UV lazerin odak ölçüleri.....	34
Şekil 3.3. Yüzeyde lazerle oluşturulan kusurların şematik gösterimi.....	34
Şekil 4.1. YBCO şerit üretim ve lazerle kusur oluşturma basamaklarının şematik gösterimi.....	37
Şekil 4.2. $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})_2\text{O}_3$ tampon katman ve YBCO katman ile kaplanan Ni-%5W şeridin şematik gösterimi	38
Şekil 4.3. Ni-%5W altlığa ait X ışını kırınım deseni	39
Şekil 4.4. Tampon katman oluşturma işlem basamakları diyagramı	41
Şekil 4.5. Tampon katmana ait ısıtma işlem basamakları.....	43
Şekil 4.6. $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})_2\text{O}_3$ tampon katmana ait daldırma sayısına göre alınan X ışını kırınım desenleri	43
Şekil 4.7. Tampon katman oluşturma işlem basamakları altı kez tekrarlanan örneğe ait X ışını kırınım deseni	44
Şekil 4.8. YBCO katman oluşturma işlem basamakları diyagramı	47
Şekil 4.9. YBCO katmana ait ısıtma işlem basamakları.....	48
Şekil 4.10. YBCO şeritlerin daldırma sayısı ve çekme hızına göre alınan X ışını kırınım desenleri	49
Şekil 4.11. Ni-%5W altlık, tampon katman ve YBCO katmana ait X ışını kırınım desenleri	50
Şekil 4.12. Üretilen YBCO şeride ait M-H döngüsü	52
Şekil 4.13. Standart şeride ait X ışını kırınım deseni.....	53
Şekil 4.14. ns-IR ve ps-UV lazer kullanılarak yapılan noktasal kusurlara ait enerjiye karşı deşik çapı grafiği	58
Şekil 4.15. Noktasal kusurlara ait enerjiye karşı deşik çapı ve derinliği grafikleri	61
Şekil 4.16. X eksenine 0°, 45°, 90° ve 135° açılarla yapılan çizgisel kusurlara ait enerjiye karşı derinlik ve genişlik grafikleri	64
Şekil 4.17. Referans R-1, R-2 ve R-3 örneklerine ait M-H döngüleri	71

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Referans R-1, R-2 ve R-3 örneklerine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri	71
Şekil 4.19. Noktasal kusurlu N-1, N-2, N-3, N-4 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngüleri	73
Şekil 4.20. Noktasal kusurlu N-1, N-2, N-3, N-4 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri	73
Şekil 4.21. Noktasal kusurlu N-5, N-6, N-7, N-8 ve referans R-3 örneğine ait M-H döngüleri	75
Şekil 4.22. Noktasal kusurlu N-5, N-6, N-7, N-8 ve referans R-3 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri	76
Şekil 4.23. Çizgisel kusurlu C-1 ve referans R-1 örneğine ait M-H döngüleri	78
Şekil 4.24. Çizgisel kusurlu C-1 ve referans R-1 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri	78
Şekil 4.25. Çizgisel kusurlu C-2 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngüleri	80
Şekil 4.26. Çizgisel kusurlu C-2 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri	80
Şekil 4.27. Dairesel kusurlu D-1 örneği ve R-1 örneğine ait M-H döngüleri.....	82
Şekil 4.28. Dairesel kusurlu D-1 örneği ve R-1 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri	82
Şekil 4.29. Örneklerle ait sıcaklığa bağlı alınganlık ölçüm sonuçları	84
Şekil 4.30. Manyetizasyon ölçümü yapılan örneklerle ait M-H döngüleri.....	85
Şekil 4.31. Manyetizasyon ölçümü yapılan örneklerle ait M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri	86

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. XRD cihazının görüntüsü	31
Resim 3.2. Konfokal mikroskop görüntüsü	32
Resim 3.3. Taramalı elektron mikroskobun görüntüsü.....	33
Resim 3.4. SQUID manyetometrenin görüntüsü	35
Resim 3.5. Daldırılmalı kaplama sisteminin görüntüsü	36
Resim 4.1. (a) Ni-%5W şeridin görüntüsü, (b) Kaplama için kesilmiş temizlenmiş şeridin görüntüsü.....	39
Resim 4.2. Ni-%5W altlığa ait SEM görüntüleri (a) x250 büyütme, (b) x500 büyütme.....	40
Resim 4.3. (a) Altlığın kaplanması, (b) Kullanılan çözelti, (c) Kaplama sonrası şeridin görünümü	42
Resim 4.4. Daldırma sayısına göre alınan (Gd _{0,9} Ho _{0,1}) ₂ O ₃ tampon katmana ait SEM görüntüleri, (a)-(c) Üç daldırma sonrası alınan sırasıyla x2500, x5000, x10000 büyütme, (d)-(f) Dört daldırma sonrası alınan sırasıyla x2500, x5000, x10000 büyütme, (g)-(i) Beş daldırma sonrası alınan sırasıyla x2500, x5000, x10000 büyütme	45
Resim 4.5. Kaplama işlemi beş kez tekrarlanan (Gd _{0,9} Ho _{0,1}) ₂ O ₃ tampon katmana ait SEM görüntüleri, (a) x1000 büyütme, (b) x10000 büyütme.....	46
Resim 4.6. (a) YBCO çözelti, (b) Kaplama öncesi şeritlerin görüntüsü, (c) Kaplama sonrası şeritlerin görüntüsü	48
Resim 4.7. YBCO katmana ait SEM görüntüleri, (a) x1000 büyütme, (b) x5000 büyütme, (c) x10000 büyütme	51
Resim 4.8. (a) Hazır temin edilen süperiletken şerit, (b) Şeridin Ag kaplamalı ve Ag çözülmüş görüntüsü	53
Resim 4.9. Standart şeride ait SEM görüntüleri, (a) x1000 büyütme, (b) x2500 büyütme	54
Resim 4.10. Aynı enerji değeri için ns-IR ve ps-UV lazer ile yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri	56
Resim 4.11. Aynı akım değeri için, değişen frekans ve atım sayısına göre yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri	59

Resim	Sayfa
Resim 4.12. Aynı frekans ve atım sayısı için, değişen akıma göre yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri	60
Resim 4.13. Aynı frekans ve akım için, değişen atım sayısına göre yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri	60
Resim 4.14. Farklı tarama hızı ile 0°, 45°, 90° ve 135° açılarla yapılan çizgisel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri	62
Resim 4.15. Aynı parametreler için değişen tarama hızı ile yapılan çizgisel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri	62
Resim 4.16. Aynı tarama hızı için değişen atım enerjisine göre yapılan çizgisel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri	63
Resim 4.17. Farklı atım enerjisi için aynı tarama hızları ile yapılan dairesel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri	65
Resim 4.18. Kullanılan enerji değerlerine göre kusurlu örnekler ait konfokal mikroskop görüntüleri	67
Resim 4.19. Noktasal kusur oluşturulan örnekler ait EDS analizi, a) $1,78 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjiye sahip örnek, (b) $1,83 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjiye sahip örnek	68
Resim 4.20. Çizgisel kusur oluşturulan örnekler ait EDS analizi (a) $1,54 \text{ J/cm}^2$ enerjiye sahip örnek, (b) $4,83 \text{ J/cm}^2$ enerjiye sahip örnek	69
Resim 4.21. (a) Üzerinde kusur oluşturulmuş şerit, (b) Manyetizasyon ölçümü için hazırlanan örnek	70
Resim 4.22. Referans R-1, R-2 ve R-3 örneklerine ait konfokal mikroskop görüntüleri	72
Resim 4.23. Noktasal kusurlu N-1, N-2, N-3, N-4 ve referans R-2 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri	74
Resim 4.24. Noktasal kusurlu N-5, N-6, N-7, N-8 ve referans R-3 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri	77
Resim 4.25. Çizgisel kusurlu C-1 ve referans R-1 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri	79
Resim 4.26. Çizgisel kusurlu C-2 ve referans R-2 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri	81
Resim 4.27. Dairesel kusurlu D-1 ve referans R-1 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri	83

Resim	Sayfa
Resim 4.28. Manyetizasyon ölçümü için hazırlanan örneklere ait konfokal mikroskop görüntüleri	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
f	Frekans
H	Dış manyetik alan
H_C	I. Tip süperiletkenlerde kritik manyetik alan
H_{C1}	II. Tip süperiletkenlerde alt kritik manyetik alan
H_{C2}	II. Tip süperiletkenlerde üst kritik manyetik alan
I	Akım
J_C	Kritik akım yoğunluğu
K	Kelvin
M	Manyetizasyon
T	Sıcaklık
T_C	Kritik sıcaklık
λ	Sızma derinliği
ξ	Eş uyum uzunluğu
ε	Enerji
χ	Manyetik alınganlık

Kısaltmalar	Açıklamalar
BCS	Bardeen-Cooper-Schrieffer teorisi
CSD	Kimyasal çözelti biriktirme
EDS	Enerji dağılım spektroskopisi
HTS	Yüksek sıcaklık süperiletkenleri
LTS	Düşük sıcaklık süperiletkenleri
PIT	Powder in tube
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X ışını kırınımı

1. GİRİŞ

Malzemelerin sıcaklık, zor, basınç ve bunların farklı birleşimleri şeklindeki etkiler altında farklı özellik göstermeleri faz dönüşümü olarak adlandırılır. Fazların dönüşümünde rol alan temel etkenler sıcaklık ve basınçtır. Bu parametreler değiştiğinde farklı fazlar meydana gelebilir. Ferroelektrik-paraelektrik (elektriksel geçişler), ferromanyetik-paramanyetik (manyetik geçişler), süperiletkenlik-normaliletkenlik (iletkenlik geçişleri), austenite-martensite (yapısal geçişler) ve katı-sıvı-gaz (hal geçişleri) geçişleri, faz dönüşüm türlerinden bazılarıdır.

20. yüzyıl başlarında düşük sıcaklık fiziği konusunda yapılan çalışmalar sonucu, Süperiletkenlik kavramı ortaya çıkmıştır. Süperiletkenlik konusundaki ilk çalışma, 1911 yılında H. Kamerlingh Onnes'in, 4,2 K'de, cıvanın elektriksel direnç değerinin sıfır olduğunu bulmasıdır [1, 2]. Bu buluştan sonra yapılan araştırmalarla, birçok elementin ve bileşiğin süperiletkenliğe geçiş sıcaklık değerleri bulundu. Süperiletkenliğin keşfinden sonra, 1933 yılında Meissner ve Ochsenfeld süperiletken bir malzemenin manyetik alan etkisinde kritik sıcaklığın altına soğutulduğunda, manyetik alan çizgilerini dışarılayarak, diamanyetik özellik gösterdiğini buldular [3]. En genel tanımıyla süperiletkenlik, kritik sıcaklık (T_C) ve kritik manyetik alan (H_C) değerlerinin altında, malzemelerin manyetik akıyı dışarılayıp, sıfır elektriksel direnç göstermeleridir. Malzemelerde süperiletken fazın sürdürülebilmesi; kritik sıcaklık, kritik manyetik alan ve kritik akım yoğunluğu olmak üzere üç parametreye bağlıdır. Kritik akım yoğunluğu (J_C), malzemenin direnç göstermeden birim alanında taşıyabileceği maksimum akımı ifade eder. Bu parametrelerden herhangi biri kritik değerinin üzerine çıkarsa malzeme normal iletken haline döner.

1986 yılına kadar malzemelerde bilinen en yüksek geçiş sıcaklığı 23 K iken, La-Ba-Cu-O bileşiğinde geçiş sıcaklığının 30 K, takip eden yıl Y-Ba-Cu-O bileşiğinde geçiş sıcaklığının 92 K bulunması, süperiletkenlik konusunda dönüm noktası oldu. Metal oksit malzemelerde geçiş sıcaklığının 100 K'lere kadar yükselmesi, düşük sıcaklık süperiletkenleri (LTS) ve yüksek sıcaklık süperiletkenleri (HTS) olarak, geçiş sıcaklığına göre yeni bir sınıflandırma yapılmasına neden oldu. LTS'lerin aksine HTS'lerin sıvı helyum yerine sıvı azot sıcaklığında kullanılabilir olmaları, bu malzemelere olan ilgiyi ve teknolojik uygulama potansiyelini ekonomik yönden artırdı.

Günümüzde özellikle sağlık sektöründe LTS malzemeler kullanılarak üretilen manyetik görüntüleme sistemleri vardır. LTS malzemeler, helyum ile soğutulmasına rağmen, güçlü fiziksel ve manyetik özelliklerinin yanında, kolay işlenebilirlik ve üretilebilirlikleri nedeniyle teknolojide kendilerine yer bulmaktadırlar. HTS malzemeler ise LTS malzemelere oranla daha yüksek akım taşıma kapasitesine sahip olmalarına rağmen, karmaşık bir kristal yapıya sahiptirler ve üretimleri daha zordur. HTS malzemelerin üretimi için birçok yöntem geliştirilmekte ve kullanılabilirliği artırılmaya çalışılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar sonucu ticarileşen süperiletken malzemeler, tel veya şerit halinde üretilmekte ve kullanılmaktadır. Bilim insanları, süperiletken malzemelerin iletim hatlarında kullanımını artırabilmek için üretim maliyeti düşük ve daha yüksek kritik akım yoğunluğuna sahip süperiletken yapılar üretmeyi amaçlamaktadırlar.

HTS'lerin keşfinden itibaren birçok çalışma yapılmış, bizmut (BSCCO) ve yitrium tabanlı malzemeler (YBCO) üzerinde yoğunlaşmıştır. YBCO'nun çok çalışılmasının en önemli nedeni, yüksek kritik akım taşıma kapasitesidir. Yapılan bu çalışmalarda yeni üretim teknikleri geliştirilerek hem süperiletkenlik özelliklerinin iyileştirilmesi hem de üretim maliyetinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Süperiletkenler, manyetik alandaki davranışlarına göre I. ve II. tip olmak üzere iki gruba ayrılırlar. I. Tip süperiletkenler, düşük kritik sıcaklık değerleri ve düşük dış manyetik alanlarda bozulabilen yapıları ile endüstriyel uygulamalara sahip değildir. II. Tip süperiletkenler ise, H_{C1} ve H_{C2} olmak üzere, iki kritik manyetik alan değerine sahiptir. II. Tip süperiletkenlerde H_{C1} ve H_{C2} kritik manyetik alan değerleri arasında, yüzeyde akı girdapları oluşmakta, oluşan bu bölgelerden manyetik alan malzemeye girmektedir. Normal ve süperiletken bölgeler içeren bu faza karışık durum denilmektedir. Karışık durumda malzeme; uygulanan dış manyetik alan, üst kritik manyetik alan değerini geçinceye kadar süperiletkenlik özelliğini sürdürmektedir.

Kristal yapıdaki kusurlar, girdapların merkezidir ve girdapların hareketini engelleyebilir. Hareketi engellenen yani çivilenen girdaplar, akımla daha az etkileşeceğinden yüzeyden geçen akımın artacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda pek çok çalışma yapılmış ve nadir toprak elementlerinin yapı içinde kısmi yer değişikliği veya süperiletken olmayan yapıların yapı içinde rastgele dağılımı ile yapay çivileme merkezleri oluşturulup, J_c 'nin artması sağlanmıştır [4]. Yapılan çalışmalar, çivileme merkezleri oluşturmanın, kritik akım

yoğunluğunun artırılması için önemli bir parametre olduğunu göstermektedir [5].

Süperiletken malzemelerin teknolojiye yer bulması için yüksek J_C değerine sahip olmaları önemlidir. Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, günümüze kadar pek çok yöntemle nano ve mikro yapıların, çivileme merkezi olarak süperiletken yapı içerisine dahil edildiği ve bu çalışmalarda kritik akım yoğunluğunun arttığı görülmüştür [5-14]. Bu çalışmalarda, farklı üretim teknikleri ve farklı katkılarla, kontrolsüz olarak yapay çivileme merkezleri oluşturulmak istenmiştir. Oluşturulan bütün yapay çivileme merkezleri kristal yapı içinde rastgele dağılım göstermektedir.

Mikro boyutta malzeme işlemeyi mümkün kılan lazerlerin geliştirilmesiyle, geniş bir enerji aralığında, malzeme kesme gibi makro boyuttaki işlemlerin yanında, atomlar arası bağları koparma veya oluşturma gibi nano boyuttaki işlemlerin de yapılabilmesi mümkün kılınmıştır. Lazerlerden elde edilen tek renkli, tek fazlı, düşük sapma özelliğine sahip, dağılmayan ve kontrol edilebilen ışınlarla, malzeme yüzeyinde düzenli kusur oluşturulması mümkündür.

Günümüzde süperiletken malzemelerin üretim maliyetlerinin yüksek olması süperiletken malzemelerin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Geliştirilen pek çok yöntemle maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, YBCO süperiletken ince şeritler vakum ortamı gerektiren diğer yöntemlere oranla daha az üretim maliyeti olan, sol-jel ve daldırma tekniği kullanılarak üretilmeye çalışıldı. YBCO şeritler üzerinde; mikro boyutta kontrollü kusurlar oluşturularak, bu kusurların şimdiye kadar yabancı atomların katkılanması veya yer değiştirmesi ile oluşturulan rastgele çivileme merkezlerinin yerini alıp alamadığı araştırıldı. Lazer ile kontrollü şekilde oluşturulan kusurlu bölgelerin, kritik akım yoğunluğu üzerindeki etkileri incelendi.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Süperiletkenliğin Tarihçesi

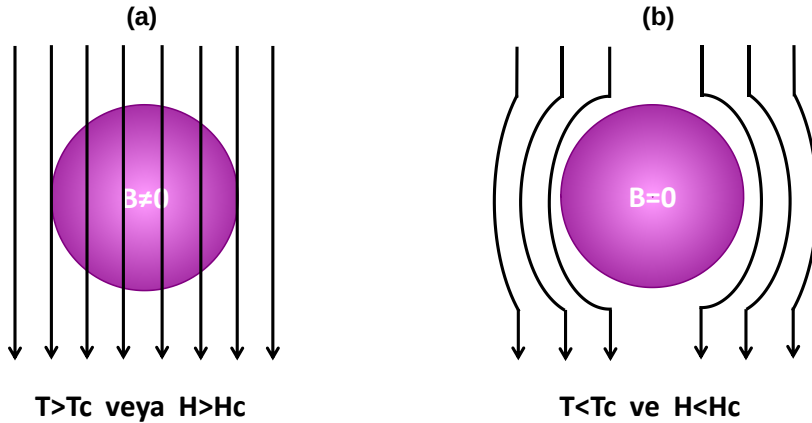
20. yüzyıl başlarında düşük sıcaklık fiziği konusunda ilk önemli çalışmalar, malzemelerin öz direnç değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak araştırılmasıdır. 1911 yılında Kamerlingh Onnes'in, 4,2 K'de, cıvada direnç değerinin sıfır olduğunu bulmasıyla, süperiletkenlik kavramı ortaya çıkmıştır. Bundan sonra birçok elementin ve bileşiğin, T_C değerleri bulunmuştur. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, kritik sıcaklık değerleri bulunan bazı element ve bileşikler Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Süperiletkenliğe geçiş sıcaklıkları bulunan bazı element ve bileşiklerin listesi [15]

Malzeme	$T_C(K)$	Yıl
Hg	4,1	1911
Pb	7,2	1913
Nb	9,2	1930
NbN _{0,96}	15,2	1950
Nb ₃ Sn	18,1	1954
Nb ₃ Al ₃₁₄ Ge _{1/4}	20–21	1966
Nb ₃ Ga	20,3	1971
Nb ₃ Ge	23,2	1973
Ba _x La _{5-x} Cu ₅ O _y	30–35	1986
La _{0,9} Ba _{0,12} CuO ₄ (1 GPa basınçta)	52	1986
YBa ₂ Cu ₃ O ₇	95	1987
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	110	1988
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	125	1988
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀ (7 GPa basınçta)	131	1993
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	133	1993
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈ (25 GPa basınçta)	155	1993
Hg _{0,8} Pb _{0,2} Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x	133	1994
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈ (30 GPa basınçta)	164	1994
MgB ₂	39	2001
LaFeAs	26	2008
SmFeAs	55	2009

1933 yılında Meissner ve Ochsenfeld, süperiletkenlerde manyetik akının dışarılandığını gözlemlediler [3]. Şekil 2.1 (a)'da görüldüğü gibi, T_C veya H_C değerinin üzerinde malzeme normal durumda olup, dış manyetik alan çizgileri malzeme içinden geçmektedir.

Süperiletken durumda (Şekil 2.1 (b)) ise, dış manyetik alan etkisiyle malzeme yüzeyinde dış manyetik alanı dengeleyecek şekilde yüzey akımı oluşmakta, dış manyetik alan çizgileri itilmekte ve malzeme içinde manyetik alan sıfır olmaktadır. Süperiletken fazda görülen bu diamanyetik özellik Meissner etkisi olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.1. Süperiletken malzemelerde görülen Meissner etkisi

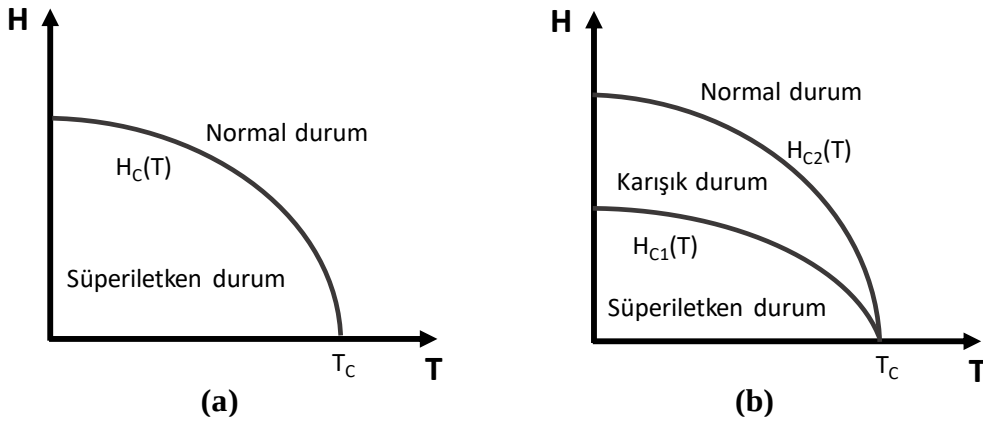
1935 yılında London kardeşler Meissner etkisini açıklayan ilk teoriyi ortaya koydular. Bu teori ile manyetik alanın, süperiletken malzeme içine ne kadar girebileceğini açıkladılar [16].

1950 yılında Ginzburg ve Landau, London denklemlerini kullanarak süperiletken durumda sonlu ve T_c 'nin üzerinde sıfır olan düzen parametresini tanımladılar. Düzen parametresinin süperiletken elektronların ortalama dalga fonksiyonu olduğunu söyleyerek süperiletkenliği makroskobik olarak açıkladılar [17]. Aynı yıl teorik olarak H. Fröhlich izotop kütlesi arttıkça geçiş sıcaklığının düşeceğini öngördü [18]. İzotop etkisi olarak adlandırılan bu etki deneysel olarak aynı yıl gözlemlendi [19, 20]. İzotop etkisi, süperiletkenliğin elektron-fonon etkileşim mekanizması için destek sağlamıştır.

Süperiletkenliği teorik olarak açıklamak için yapılan çalışmalar sonucu, 1957 yılında, Bardeen, Cooper ve Schrieffer tarafından, süperiletkenliğin doğasını açıklamaya çalışan ve elektronların çiftlenerek hareket ettiğini öngören BCS teorisi ortaya konuldu. Bu teoriyle; elektron fonon etkileşimi sonucu olarak, elektron çiftlerinin (Cooper çifti) birlikte hareketi ve süper akımların ortaya çıkması, bunun yanı sıra normal durum ile süperiletken durum arasındaki enerji geçişi açıklandı [21, 22]. 1953 yılında Pippard, London denklemlerinden, çiftlenen elektronlar arasındaki mesafe olan eş uyum uzunluğu (ξ) kavramını tanımladı [23].

1957 yılında ise Alexei Abrikosov, süperiletken malzemelerin uygulanan dış manyetik alandaki davranışlarını açıkladı [24].

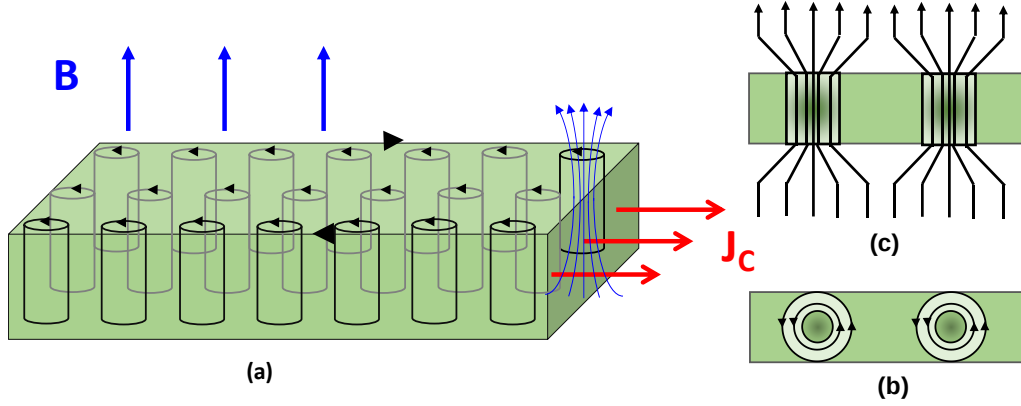
Süperiletkenler uygulanan dış manyetik alandaki davranışlarına göre I. tip ve II. tip olarak iki gruba ayrılır. I. Tip süperiletkenler, düşük H_C ve düşük T_C değerine sahiptir. I. Tip süperiletkenlere, kritik manyetik alan değerinin altında dış manyetik alan uygulandığında, malzeme süperiletken iken, H_C değerinin üzerinde malzeme normal hale döner (Şekil 2.2 (a)). II. Tip süperiletkenler ise, yüksek T_C değerine sahiptir ve Şekil 2.2. (b)'de görüldüğü gibi H_{C1} ve H_{C2} olmak üzere iki kritik manyetik alan değerleri vardır. Uygulanan dış manyetik alan, H_{C1} değerinin altındayken malzeme süperiletkendir. Uygulanan dış manyetik alan, H_{C1} ve H_{C2} değerleri arasındayken, malzeme süperiletken ve süperiletken olmayan bölgeler içerir fakat süperiletkenlik özelliği devam etmektedir. Hem süperiletken, hem normal faz içeren bu durum, karışık durum olarak adlandırılmaktadır. Uygulanan manyetik alan H_{C2} değerinin üstünde ise malzeme normal hale döner.



Şekil 2.2. Dış manyetik alandaki davranışına göre süperiletken tipleri, (a) I. Tip süperiletken, (b) II. Tip süperiletken

Karışık durumda, yani H_{C1} ve H_{C2} değeri arasında dış manyetik alan uygulandığında, malzemede, Şekil 2.3 (a)'da görüldüğü gibi, hareketli akı girdapları oluşmaktadır. Merkezi normal bölgeler olan bu girdaplar dış manyetik alanın malzeme içine girmesine neden olmaktadır. Bu girdaplar dış manyetik alanla ve diğer girdaplarla etkileşim halindedir. Şekil 2.3. (b) ve (c)'de girdabın yüzey kesit alanı ve yan yüzey kesit alanı verilmektedir. Manyetik alan girdabın merkezinde maksimum olup merkezden dışarıya gidildikçe azalmaktadır. Uygulanan dış manyetik alan arttıkça oluşan girdapların sayısı artar. Girdapların sayısı

arttığından ve girdaplar hareketli olduğundan, girdaplar arası mesafe kısalır. Uygulanan dış manyetik alan H_{C2} değerinden fazla olduğunda, malzeme tamamen normal faza geçer.



Şekil 2.3. (a) Dış manyetik alan etkisiyle II. tip süperiletkenlerde oluşan akı girdapları, (b) Girdabın üst yüzey kesit görünümü, (c) Girdabın yan yüzey kesit görünümü

Süperiletkenlik konusunda yapılan deneysel çalışmalarda; 1986 yılına kadar geçiş sıcaklığı 23 K'den yüksek süperiletken malzeme elde edilememiş ve bunun sonucu olarak süperiletkenliğin 30 K ile sınırlı olduğu düşünülmüştür. Bednorz ve Müller'in La-Ba-Cu-O bileşiğinde kritik sıcaklığın 30 K olduğunu belirlemesi çok dikkat çekmiş, bundan kısa süre sonra $YBa_2Cu_3O_7$ bileşiğinde geçiş sıcaklığının 92 K olduğu bulunmuştur [25-27]. Geçiş sıcaklığı 77 K'nin üzerinde olan malzemelerin bulunması, sıvı helyuma oranla daha ucuz ve kolay elde edilebilen sıvı azotu soğutma sistemlerinde kullanma imkânı doğurduğundan, süperiletkenlik konusuna ilgi artmıştır.

Sırasıyla 1988 yılının başında Bi-Sr-Ca-Cu-O sisteminde süperiletkenlik geçiş sıcaklığı 110 K ve Tl-Ba-Ca-Cu-O sisteminde geçiş sıcaklığı 125 K olarak bulundu [28-30]. 1993 yılında Hg-Ba-Ca-Cu-O sisteminde süperiletkenliğin bulunmasından sonra 1994 yılında en yüksek geçiş sıcaklığı Hg-Ba-Ca-Cu-O sisteminde yüksek basınç altında 164 K olarak elde edilmiştir [31, 32]. Bu bileşiklerin hepsi oksit bileşikler olup seramik yapıdadır.

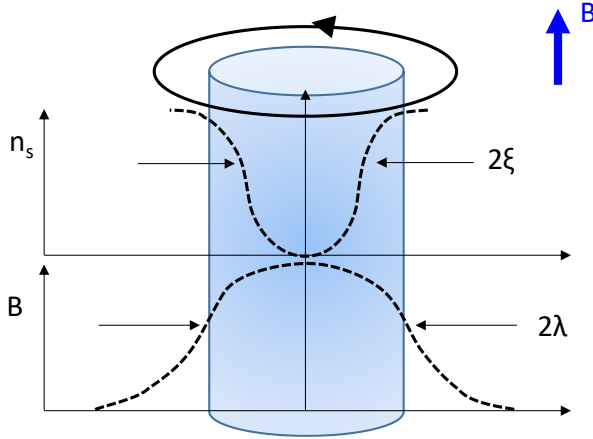
2001 yılında geçiş sıcaklığı düşük (39 K) olmasına rağmen, yüksek J_c değerine sahip olan MgB_2 bileşiğinin süperiletkenlik özelliği bulunmuştur [33]. Bu bileşiğin iyileştirilmesi ve kullanım alanının genişletilmesi için pek çok çalışma mevcuttur. 2008'de ise Fe tabanlı bileşiklerde de süperiletkenlik özelliği gözlemlenmiştir [34].

Malzemelerde süperiletken fazın sürdürülebilmesi; T_C , H_C ve J_C parametrelerine bağlı olduğundan, bu parametreler, kritik değerlerin altında bulunduğu sürece süperiletken faz devam eder. Herhangi birinde meydana gelen değişiklik diğer parametreleri de etkilemektedir. Bu nedenle süperiletken malzemeleri belli bir uygulamada kullanabilmek için sadece çalışacağı sıcaklık değil aynı zamanda maruz kalacağı manyetik alan ve akım yoğunluğu da göz önüne alınmalıdır. Yapılan çalışmalar hem bu özelliklere sahip malzemelerin bulunması, hem de uygulamalarda kullanılan malzemelerin kalitesinin ve üretim maliyetinin düşürülmesi yönündedir.

2.2. Abrikosov Girdap Yapısı ve Çivilenme Mekanizması

Alexei Abrikosov, II. tip süperiletkenlerin uygulanan dış manyetik alandaki davranışlarını açıklamaya çalışmış, yapmış olduğu bu çalışma ile 2003 yılında Nobel ödülü almıştır [35].

Homojen kusursuz bir süperiletkene H_{C1} 'in üzerinde manyetik alan uygulandığında, manyetik alanın malzemeye girmesini sağlayan akı girdapları oluşur. Şekil 2.4'te manyetik alan etkisinde oluşan girdap görülmektedir.

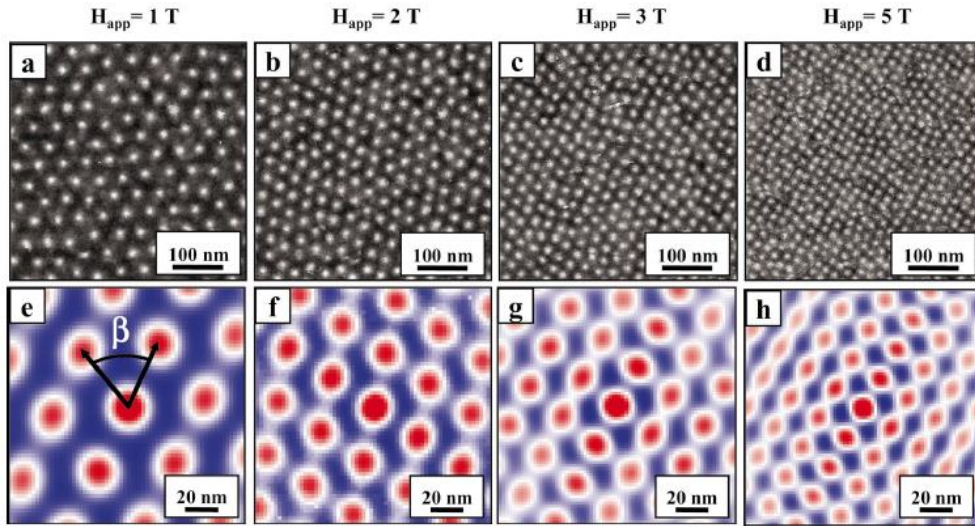


Şekil 2.4. Dış manyetik alan etkisiyle oluşan girdabın yapısı

Oluşan girdapların yarıçapı Cooper çiftleri arasındaki uzaklık olan eş uyum uzunluğuna (ξ) eşittir ve süperelektron olarak adlandırılan bu elektronların sayısı (n_s) girdap merkezine gidildikçe azalmaktadır. Manyetik alan (B), girdap merkezinde maksimum olup, girdap merkezinden dışarı doğru belirli bir sızma derinliği (λ) ile üstel olarak azalır. Çekirdek çevresinde dolanan girdap akımları, komşu girdaplar tarafından üretilen manyetik alanla

etkileşime girer. Sonuç olarak, girdaplar arasında karşılıklı itme kuvveti vardır. Bu karşılıklı etkileşim nedeniyle kusur içermeyen II. tip süperiletkendeki girdaplar, uygulanan manyetik alan etkisiyle periyodik olarak dizilir. Bu örgü, Abrikosov girdap örgüsü olarak adlandırılır ve hekzagonal yapıdadır. Girdap kafes parametresi olarak bilinen girdaplar arasındaki mesafe uygulanan dış manyetik alanın şiddetine bağlı olarak değişmekle birlikte, genellikle 10^{-7} m'den daha azdır. Birkaç malzemede, girdap kafesinin, muhtemelen malzemedeki içsel anizotropi nedeniyle kare olduğu bilinmektedir.

Yapılan çalışmalarla Abrikosov yapısı birçok süperiletken için görüntülenmiştir [36-42]. Şekil 2.5'te uygulanan dış manyetik alanın artmasıyla, yapıda oluşan girdap noktalarının artışı, 2,3 K'de V_3Si örneğinden alınan taramalı tünelleme mikroskobu görüntülerinde belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 2.5 (a)-(d) arasındaki görüntülerde 1-5 T arasında dış manyetik alan uygulandığında, manyetik alanın artmasıyla girdap sayısının arttığı ve aralarındaki mesafenin azaldığı görülmektedir. Şekil 2.5 (e) de hekzagonal girdap örgüsü görünürken, manyetik alanın artmasıyla girdapların sayısının arttığı ve aralarındaki mesafenin azalarak, hekzagonal örgüyü neredeyse kareye çevirdiği görülmektedir [43].

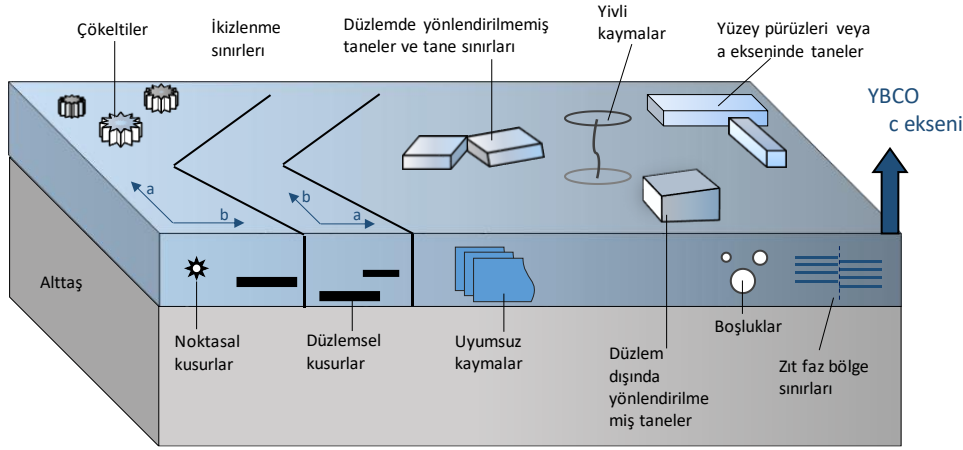


Şekil 2.5. 2,3 K'de V_3Si örneğinden alınan STM görüntüsü, (a)-(d) Fermi düzeyi diferansiyel iletkenlik haritalarından girdap kafes görüntüleri, (e)-(h) Uygulanan manyetik alanın bir fonksiyonu olarak ilintili görüntüler [43]

Süperiletken malzeme üzerinden manyetik alana dik yönde akım geçirildiğinde, girdaplara Lorentz kuvveti etki eder. Akımla girdaplar arasındaki etkileşim nedeniyle yapıda elektriksel direnç oluşur ve bu dirence bağlı olarak enerji kaybı gözlenir. Bu elektriksel

direnç, yapının süperiletkenlik özelliğinin kaybolmasına neden olur. Hiç kusur içermeyen bir süperiletkende çok küçük bir akım değeriyle girdaplar hareket edebilmektedir [44]. Ancak yapı içinde bulunan kusurlar oluşan girdapların merkezi olup girdabın hareketini engellemektedir.

Şekil 2.6’da görüldüğü gibi çizgisel (c yönelimli), düzlemsel kusurlar veya safsızlıklar, deşikler, kuantum noktalar, süperiletken olmayan nano yapılar gibi merkezler; kristal yapıdaki kusurlardır. Manyetik alan uygulandığında bu kusurlar girdap noktalarının merkezi olur ve girdapların hareketini engeller.



Şekil 2.6. Süperiletken film üzerinde oluşan yapı kusurlarının şematik gösterimi [45]

Kusurlar tarafından hareketi engellenen yani çivilenen girdabın hareket etmesi için çivileme kuvvetinden (F_P) büyük Lorentz kuvveti ($F_L = J_C \times B$) uygulanması gerekir. Eğer girdapların hareketi engellenirse, süperelektronlar girdaplarla daha az etkileşeceğinden, süperiletken daha yüksek akım yoğunluğuna sahip olacaktır. Girdapların çivilenmesi arttıkça, düzenli bir girdap örgüsü yerine akı yoğunluğu değişimi oluşturan bir girdap dağılımı ortaya çıkar. Girdaplar çivilendiğinde girdapların hareketinden kaynaklanan enerji kaybı azalır, kritik akım yoğunluğu artar, manyetizasyon döngüsü genişler ve kalıcı manyetizasyon artar. Bu nedenle kritik akım yoğunluğu ile süperiletken malzemelerde bulunan kusurların girdapları çivileme mekanizması doğrudan alakalıdır.

II. Tip süperiletkenlerde kritik akım yoğunluğu, malzemedeki kusurlar tarafından belirlendiğinden, kusur kontrolü ile J_C değeri çok daha yüksek olabilir ve akım, I. tip malzemelerdeki gibi yüzeyden değil, malzemenin içinden akabilir. Ampere kanunundan

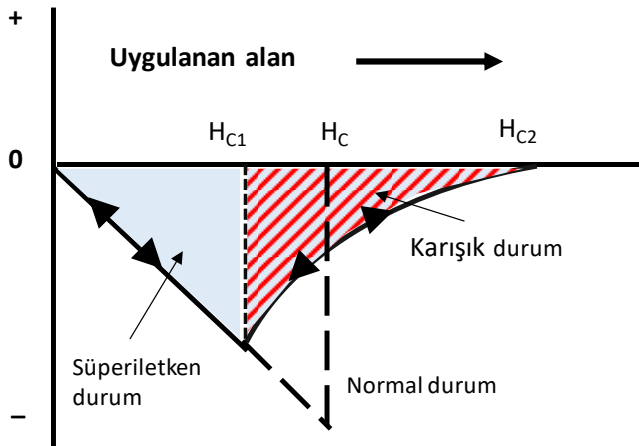
süperiletkendeki kusurların nasıl devreye girdiği Eş. 2.1'den görülebilir.

$$\nabla \times B = \mu_0 J \quad \text{veya} \quad \left(\frac{dB}{dx} = \mu_0 J \right) \quad (2.1)$$

Herhangi bir akımın akışı veya akım yoğunluğu J , B 'de bir değişime karşılık gelmektedir. I. Tip süperiletkende, dirençsiz akım sadece sızma derinliğinde malzeme yüzeyinde akar. Karışık durumdaki II. tip süperiletkende ise, dış manyetik alan girdaplarla malzemeye girdiğinde ve bu girdapların yüzey dağılım yoğunluğunda değişim olduğunda, akım dirençle karşılaşmadan malzeme boyunca akabilir. Kusursuz bir süperiletkende girdaplar Abrikosov örgüsüne sahip olduğundan, girdap yoğunluğunda değişim oluşturmanın tek yolu, girdapları çivileyen kusurlardır. Kusur boyutları eş uyum uzunluğu ve girdabın merkezi ile karşılaştırılabilir olduğunda daha etkilidir [44].

2.3. Bean Modeli

Kusur içermeyen II. tip süperiletkenlerin manyetik özellikleri, uygulanan alana göre üç bölgeden oluşur. Şekil 2.7'de II. tip süperiletken için tipik bir manyetizasyon eğrisi görülmektedir.

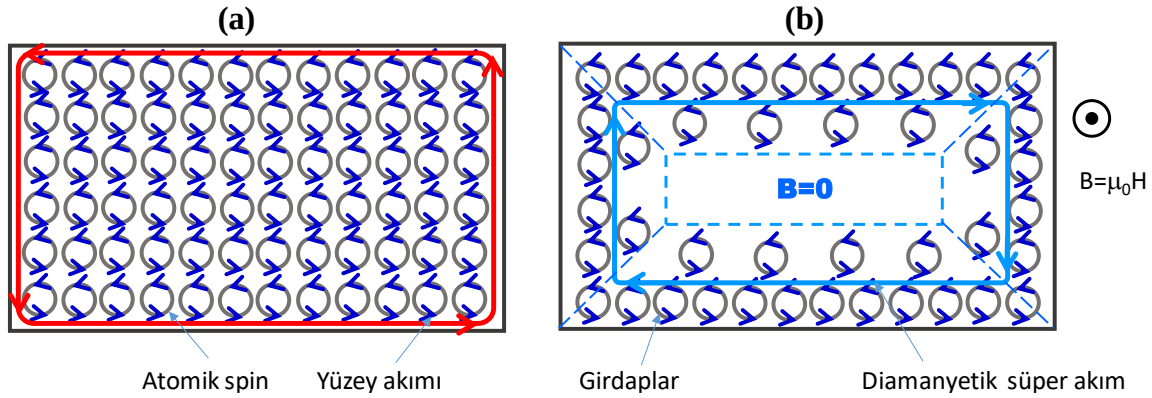


Şekil 2.7. II. Tip süperiletkenlere ait manyetizasyon eğrisi

II. tip süperiletkene H_{C1} 'in altında manyetik alan uygulandığında davranışı I. tip süperiletkenin aynısıdır. Malzeme Meissner etkisine sahiptir ve akı çizgilerini dışarlar yani $B=0$ 'dır. Uygulanan dış manyetik alan H_{C1} 'in üzerine çıktığında, oluşan girdaplar vasıtasıyla

akı çizgileri malzemeye nüfuz etmeye başlar, artık malzemedeki B sıfır değildir ve manyetizasyon (M) azalır. Uygulanan dış manyetik alan, $H_{C1} < H < H_{C2}$ olduğunda girdapların sayısı artar, malzemedeki dağılımları, girdaplar arasındaki karşılıklı itme ve uygulanan alanın büyüklüğü ile belirlenir ve Abrikosov örgüsü oluşur. H , H_{C2} 'ye doğru arttıkça, girdaplar birbirine yaklaşır ve süperiletkende B 'nin ortalama değerini yükseltir. H_{C2} 'nin üstünde, malzeme neredeyse manyetik olmayan normal halledir.

Kusur içeren II. tip süperiletkenlerde ise kritik akım ve tersinmez manyetik özellik, karmaşık mekanizmalar içerir. Akı çizgilerinin malzemeye nüfuz etmesi, tersinmez manyetik davranışa neden olur. Örneğin bir ferromagnette, her atom, döngü akımı olan bir spin taşır. Her atom aynı spini taşıdığından, Şekil 2.8 (a)'da gösterildiği gibi, malzemenin içinde spinler üzerinden ortalaması alınca tüm bölgesel akımlar iptal edilir ve kırmızı oklarla gösterilen net yüzey akımı akar. Örneğin alanı ile çarpılan yüzey akımı, manyetik momenti (m) belirler. Manyetizasyon (M), birim hacim başına düşen manyetik momenttir. Şekil 2.8 (b)'de, malzeme yüzeyine dik olarak H alanı uygulanan süperiletken şeridin kesiti görülmektedir. Şerit yüzeyindeki akı yoğunluğu $\mu_0 H$ 'ye eşit olmalıdır. Bu nedenle, akı çizgileri şerit eksenine paralel olarak malzemeye girer.



Şekil 2.8. Akı çizgilerinin şematik gösterimi, (a) Ferromanyetik malzeme, (b) II. tip süperiletken [46]

Akı çizgilerinin kusurlar vasıtasıyla malzemeye nüfuz etmesi, bir akı değişimi oluşturur.-Bu nedenle bölgesel girdap akımları ferromanyetik malzemedeki gibi iptal olmayıp, girdap yoğunluğunun değişimi sonucu mavi oklarla gösterilen koruyucu akım oluşur. Bu akımın yönü, uygulanan alana karşı bir moment yaratıp, malzemenin iç kısmını etkin bir şekilde korumak için ters yöndedir. Eğer dB/dx , $\mu_0 J_c$ 'yi aşarsa, akımın Lorentz kuvveti, girdapları

hareket ettirerek, öndeki akıların ilerlemesine ve akı yoğunluğunun azalmasına neden olur. Bu süreç, sadece dB/dx , $\mu_0 J_C$ 'ye eşit olduğunda durur ve çivileme merkezleri Lorentz kuvvetini dengeler. Uygulanan alanın değişimi ile başlayan, akı yoğunluğunun değişimi şeklinde meydana gelen ve akı yoğunluğu değişiminin $\mu_0 J_C$ 'ye eşit olduğu süreç, Bean modelinin temelini oluşturur [47, 48].

Bean, manyetizasyon eğrilerinin tersinmezliğini yorumlayabilmek ve örnekteki kritik akım yoğunluğunu hesaplayabilmek için basit bir ampirik bir model geliştirmiştir. Manyetizasyon, akı girdaplarının hem hareketli hem de çivilenme davranışları hakkında bilgi sağlayan ve süperiletkenlerin en çok çalışılan özelliklerinden biridir.

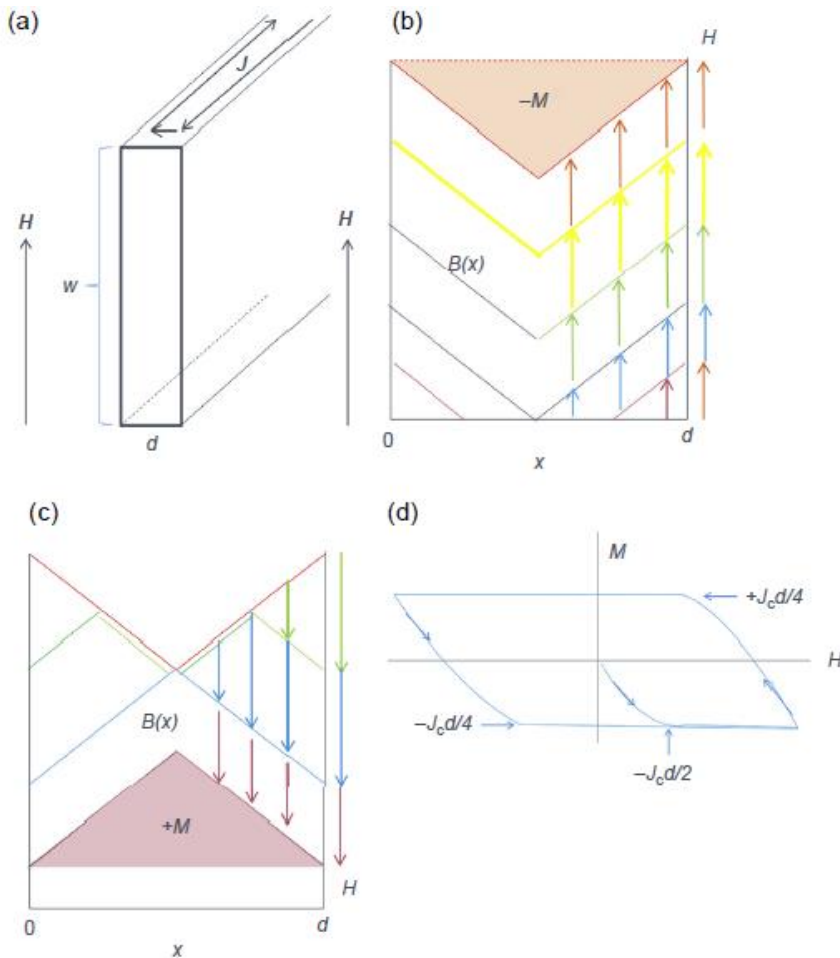
Bean kritik durum modeline göre akının nüfuz etmesi London denklemlerindeki gibi üstel değil lineerdir. Ek olarak, dB/dx uygulanan manyetik alana bağlı değildir. Alanın süperiletken bir örneğe tamamen nüfuz ettiği London modelinin aksine, akı sızması girdaplar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Bean modelinin London denklemleri üzerindeki önemli bir ilerlemesi, döngü etkilerini ve dolayısıyla döngü başına enerji kaybını açıklamasıdır. Bu model, kusur içeren II. tip süperiletkenlerin manyetik özelliklerini hesaplamak için basit ve sezgisel bir yol sağlamaktadır [49].

Süperiletken malzemelerin öz nitelikleri olan T_C , H_{C1} ve H_{C2} 'den farklı olarak, J_C ; malzemedeki kusurlar tarafından kontrol edilen bir özelliktir. HTS malzemelerde, J_C , akı sürüklenmesi ve ısı aktivasyondan etkilenir. II. Tip süperiletkenlerin tersinmez manyetik özellikleri kritik akım yoğunluğu ile kontrol edilir ve ilk yaklaşım olan Bean kritik durum modeli ile açıklanır [47, 50]. Özellikle, termal etkiler ve akı sürüklenmesi, klasik süperiletken teorisinde devrim yapmış ve uygulamalarla ilgili özellikler üzerinde büyük etkisi olmuştur.

Konuyu anlamamanın diğer yolu her girdap üzerinde etkili olan, Eş. 2.2'de verilen hacimsel akım yoğunluğunda uzunluk başına Lorentz kuvveti (F_L) terimini anlamaktır. Bölgesel ortalama manyetik indüksiyon alanı $B = n\Phi_0$, akı çizgisi yoğunluğuyla orantılıdır. Burada n birim alan başına akı çizgileri sayısıdır ve Φ_0 , akı çizgileri yönünde ve dolayısıyla B 'nin yönünü belirten bir vektör olarak alınır.

$$F_L = J \times \Phi_0 = J \Phi_0 \sin\theta \quad (2.2)$$

Eş. 2.2'deki vektör ilişkisi sağ el kuralını takip eder, böylece kuvvet J ve Φ_0 tarafından tanımlanan düzleme dik olur. θ , J ile Φ arasındaki açıdır. F_P çivileme kuvveti olmak üzere, akı yoğunluğu J olan örneğin çivilenme kriteri $F_P > F_L$ 'dir. Uygulanan akının yoğunluğu J_C 'yi aşarsa, girdaplar hareket eder ve Lenz yasasına göre voltaj üretirler. Süperiletkenin I-V eğrisi, kritik bir akıma kadar sıfır voltaj ve daha sonra voltajda ani bir artış ile bir hokey çubuğu gibi görünür. Bir malzemede J_C 'nin homojen olmayan dağılımı keskin V-I eğrisini bozar [51]. Pratik uygulamalarda yüksek J_C 'nin önemi göz önüne alındığında, birçok çalışmada hem farklı türdeki kusurlar için J_C 'nin teorik olarak belirlenmesi, hemde girdapları kuvvetli şekilde çivilemek için kusurların deneysel olarak optimizasyonu ele alınmaktadır [48-52]. Şekil 2.9 'da, kalınlığı d , genişliği w olan şerit manyetik alan etkisinde görülmektedir. $w \gg d$ durumunda manyetik özellikler şerit genişliğinin etkisi altındadır.



Şekil 2.9. (a) H manyetik alanı uygulanan sonlu bir uzunlukta kalınlığı d , genişliği w olan şeritte H ve J 'nin şematik gösterimi, (b) Bean modeline göre H artışıyla akı sızmalarının şerit kalınlığı içinde değişimi, (c) H 'nin düşmesiyle akı sızmalarının değişimi, (d) (b) ve (c)'deki H değişimiyle oluşan manyetizasyon döngüsü [46]

Uygulanan manyetik alan etkisiyle oluşan akı sızmaları ve akım yönleri Şekil 2.9 (b)'de görülmektedir. Ampere yasasından, yüzeyde sızma derinliğinin $x = H/J_C$ olduğu görülür.

$$H = \frac{J_C d}{2} \quad (2.3)$$

Eş. 2.3 sağlandığında, akı çizgileri merkezde buluşarak örneğe tamamen nüfuz eder. Akım, süperiletkenin hacminde aktığı için, toplam momenti değerlendirmek için, tüm akım döngülerinin, örnek kenarından konumlarının bir fonksiyon olarak ilave edilmesi gereklidir. Manyetizasyon M 'yi, $B(x)$ üzerinden türetmek için $M = (B_{ort}/\mu_0)H$ bağıntısı kullanılabilir. Akı içermeyen malzemede $M(H)$ 'nin sonucu şöyledir:

$$M = \left[\left(\frac{H^2}{J_C d} \right) - H \right], \quad H < \frac{J_C d}{2} \quad (2.4)$$

Akı malzeme içerisine tamamen nüfuz ettiğinde ise M ;

$$M = \frac{-\mu_0 J_C d}{4}, \quad H > \frac{J_C d}{2} \quad (2.5)$$

şeklindedir. Eş. 2.5, M 'nin J_C ile orantılı olduğunu ve J_C 'yi belirlemek için yaygın olarak kullanılan manyetik bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Bu eşitlik sadece belirli deneysel yapılandırmalarda ve yeterince yüksek uygulanmış alanlarda geçerlidir; alan azaltıldığında, yüzeydeki B eğimi Şekil 2.9 (c)'de gösterildiği gibi tersine çevrilir ve buna göre ters akım akışı yüzey yakınında gelişir. Alan, $J_C d$ tarafından düşürüldükten sonra, manyetizasyon $M = \mu_0 J_C d / 4$, şekildeki taralı alandan görüleceği gibi, uygulanan alanın daha da azaltılması için pozitif ve sabittir. Manyetizasyon döngüsü Şekil 2.9 (d)'de şematik olarak gösterilmektedir. Bununla birlikte, deneye kıyasla birçok ek etkinin hesaba katılması gerekir. Ancak önemli olan bütün HTS malzemelerde J_C 'nin alana bağımlılığıdır. Bu bağımlılık $H=0$ yakınında $|M(H)|$ döngüsünde bir zirve oluşturur. HTS malzemeler anizotropik olduğundan, manyetizasyon döngüsü uygulanan alanın yönüne bağlıdır.

Teorik ve deneysel olarak yapılan çalışmalarda YBCO gibi HTS malzemeleri de dahil olmak üzere ticarileşen malzemelerin yüksek akım yoğunlukları taşıması konusunda ilerleme kaydedilmiştir [53].

Literatür incelendiğinde, Matsumoto ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarla; altlık üzerine Y_2O_3 nano parçacıkları, c-ekseninde yönlendirilmiş YBCO ince filmin yüzeyine dik olarak dağıtmışlardır [54]. Kritik akım yoğunluğunu 77 K'de 1-5 T aralığında manyetik alanın fonksiyonu olarak ölçmüş, 77 K, 0 T'da katkısız YBCO'nun J_C değeri, Y_2O_3 katkılı örneğin J_C değerinden yüksekken, 5 T'da katkısız örneğin J_C değeri 0,12 MA/cm² iken katkılı örneğin J_C değeri 0,3 MA/cm²'ye yükselmiştir. Başka bir çalışmalarında STO altlık üzerine Y_2O_3 adacıkları kaplayıp sonra YBCO'yu kaplayarak 77K, 3 T'da J_C değerini 0,18 MA/cm²'den 0,3 MA/cm²'ye yükseltmişlerdir [55]. Jha ve arkadaşları, YBCO ince film oluşturmuş ve içerisine BaTiO₃, BaZrO₃, La_{0,67}Sr_{0,33}MnO₃ ve SrTiO₃, yapıları ekleme suretiyle çivileme merkezleri oluşturarak kritik akım değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. [56-59]. Goswami ve arkadaşları $(Y_{1-x}Eu_x)Ba_2Cu_3O_{7-d}$ ince filmde yitrium ile farklı miktarlarda Eu atomunun kısmi yer değiştirilmesiyle oluşan kusurların kritik akım yoğunluk değerini 77K, 0 T'de; 3 MA/cm²'den, 5 MA/cm² değerine yükseltmeyi başarmışlardır [60].

Yapay çivileme merkezlerinin oluşturulması için nano ve mikro büyüklükteki atomların katkılanması veya farklı atomların yapıdaki atomlarla kısmi yer değiştirilmesi dışında, bazı bilim insanları altlıkları çeşitli tekniklerle dekore ederek, bu yapıların etkilerini araştırmışlardır. Matsui ve arkadaşları, altın iyonları ile bombardıman edilen YBCO filmlerde oluşan çukurlar ve hasarlar nedeniyle J_C değeri üzerinde teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır [61]. Bian ve arkadaşları LAO altlık üzerine 30 nm boyutunda BTO nano noktalar oluşturmuş ve 77 K, 0 T'de J_C değerini 4,89 MA/cm²'den 8,42 MA/cm² değerine çıkarmayı başardılar [62].

Ülkemizde de yapay çivileme merkezleri oluşturarak kritik akım yoğunluğu değerlerini artırma konusunda çalışmalar yapılmıştır. Yıldırım ve arkadaşları, Bi-2223 yapısına Sn nano parçacıkların difüzyonunu sıcaklığa bağlı olarak incelemiş ve bu katkının kritik akım yoğunluğu değerlerini artırdığını gözlemlemişlerdir [63]. Sönmez ve arkadaşları, ürettikleri NdBa₂Cu₃O ince filmlerde Nd₂O₃ kontrollü nano adacıklar oluşturarak %32 oranında kritik akım değerini artırmışlardır [64].

2.4. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri

Süperiletkenliğin keşfinden sonra uzun yıllar T_C 'nin 20 K üzerine çıkamaması, yeni süperiletken malzemeler arayışını yavaşlatmış, 1973 yılında Nb₃Ge'nin geçiş sıcaklığının

23 K bulunmasıyla, süperiletken geçiş sıcaklıklarında daha yükseğe çıkılamayacağı düşünülmüştür. 1986'da 35 K'de süperiletken özellik gösterdiği keşfedilen La-Ba-Cu-O bileşiği, hem T_c değerinin 23 K'in üzerine çıkması, hem de oksitli bileşiklere sahip ilk süperiletken olması nedeniyle büyük heyecan yaratmıştır [65]. 1987 yılında, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ bileşiğinde geçiş sıcaklığının 90 K'e çıkmasıyla, "Yüksek Sıcaklık Süperiletkenliği" olarak bilinen yeni malzemelerin keşfi başlamıştır. Sırasıyla Bi-Sr-Ca-Cu-O ve Tl-Ba-Ca-Cu-O bileşik gruplarında pek çok süperiletken malzeme keşfedilmiştir [28-30]. Süperiletken malzemelerin sıvı azot sıcaklığında çalışma ihtimalinin olması bu konuya ilgiyi artırmış ve süperiletken malzemelerin endüstriyel ve teknolojik alanda kullanımı ile ilgili çalışmalar giderek yaygınlaşmıştır.

Bu buluşlardan sonra II. tip süperiletken malzemeler iki temel gruba ayrılmış, saf metal ve metal alaşımları kapsayan 30 K altında geçiş sıcaklığına sahip malzemeler "Düşük Sıcaklık Süperiletkenleri", 1986 yılından itibaren üretilen bakır oksitli süperiletkenlerde "Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri" olarak adlandırılmışlardır [46].

1986 yılından günümüze kadar, 100'ün üzerinde HTS malzeme bulunmuştur. Bunlardan Bi-2223, YBCO ve MgB_2 , güç uygulamaları için en kullanışlı süperiletkenler olarak kabul edilmektedir [66]. Uygulamalarda kullanılan bazı LTS ve HTS süperiletkenler malzemelerin özellikleri Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Uygulamalarda kullanılan süperiletkenlerin özellikleri [67]

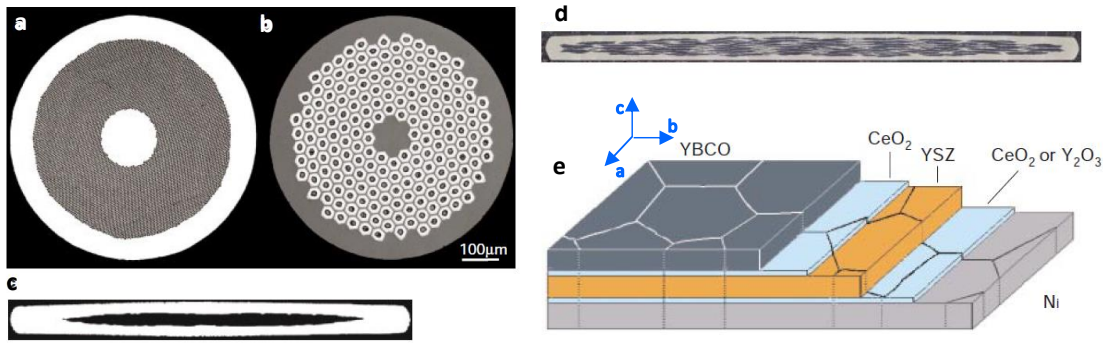
Malzeme	Kristal Yapısı	Anizotropi	T_c (K)	H_{c2} (4 K)	λ nm	ξ nm	J_c $A\ cm^{-2}$
Nb47wt%Ti	Hacim merkezli kübik	-	9	12 T	240	4	4×10^7 (5 T)
Nb ₃ Sn	A15 kübik	-	18	27 T	65	3	$\sim 10^6$
MgB_2	P6/mmm hegzagonal	2-2,7	39	15 T	140	6,5	$\sim 10^6$
YBCO	Ortorombik katmanlı perovskit	7	92	>100 T	150	1,5	$\sim 10^7$
Bi-2223	Tetragonal	$\sim 50-100$	108	>100 T	150	1,5	$\sim 10^6$

Çizelge 2.2 incelendiğinde, üretimi daha kolay olan LTS malzemeler basit kristal yapıya sahipken, üretimleri daha zor olan HTS'lerin karmaşık bir kristal yapıları vardır [66]. HTS malzemelerin, metalik malzemelere kıyasla T_c değerinin yüksek olması bu malzemelerin kullanımını için avantaj sağlamaktadır. HTS'ler ortorombik ve tetragonal yapıda olup, dört veya beşe kadar element içerebilirler ve katmanlı perovskite yapıya sahiptirler. Bu katmanlı

yapı nedeniyle, güçlü anizotropik özellik gösterirler. Bu bileşiklerin ortak yapısı olan bakır oksit düzlemleri, süperiletkenlikten sorumludur. Stokiyometri seçimine bağlı olarak, kristalografik birim hücre, değişen sayıda Cu-O düzlemi içerir. Buna ek olarak, düzlemler elektron yoğunluğunu kontrol etmek için büyük oranda kaynak sağlayıcı olarak hizmet ettiği düşünülmektedir [65]. Bu malzemelerin dezavantajı nemden dolayı havada kolay oksitlenmeleri ve düşük mekanik özellikleridir.

HTS malzemeler öncelikle koruyucu bir malzeme içinde, çekme ve yuvarlama gibi deformasyon yöntemleri içeren PIT (Powder in Tube) yöntemi ile şerit haline getirilmiş teller olarak üretilip, çok damarlı bir yapıda uygulamalarda kullanılmaktadır. Ticarileşen bu teller 1. Nesil HTS olarak adlandırılmaktadır. PIT yönteminden çok farklı olarak, buhar ya da çözelti biriktirme teknikleri ile katmanlı üretilen ve birleşik bir mimariye sahip olan şeritler ise, 2. Nesil HTS olarak adlandırılmaktadır.

Günümüzde kullanılan, HTS süperiletkenler; BSCCO, YBCO, LTS süperiletkenler; NbSn₂ ve Nb₄₇wt%Ti ve MgB₂'nin yapısı Şekil 2.10'de verilmiştir.



Şekil 2.10. Ticarileşen süperiletken malzemelerin yapısı (a) Nb₄₇wt%Ti tel, (b) Nb₃Sn tel, (c) MgB₂ tel, (d) (Bi, Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x tel, (e) YBa₂Cu₃O_x şerit [67]

Şekil 2.10 (a)'da koruyucu bakır içine gömülü 0,8 mm çapında ~3000 adet Nb₄₇wt%Ti çoklu damar içeren 10 mm çapında tel, Şekil 2.10 (b)'de bakır içinde NbSn₂ ve Nb karışımının sıkıştırılması ve çekilmesi ile oluşturulmuş 1 mm çapında 192 damardan oluşan 20 mm'lik Nb₃Sn süperiletken, Şekil 2.7 (c)'de bakır içinde MgB₂ tozunun çekilmesi ile elde edilen ~0,2 mm kalınlığında 4 mm genişliğinde şerit, Şekil 2.10 (d)'de gümüş matris içinde 55 (Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x (Bi-2223) damardan oluşan 0,224 mm genişliğinde güç kablosu kesiti ve Şekil 2.10 (e)'de sırasıyla Ni (50-100 µm), CeO₂/Y₂O₃ (10 nm), YSZ (300 nm),

CeO_2 (10 nm) ve $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (0,3-2 μm) katmanlarından oluşan yönlendirilmiş kaplamalı süperiletken şerit görülmektedir [67]. Şekil 2.10'da verilen, YBCO şerit dışındaki süperiletkenler, geleneksel tel çekme ve/veya yuvarlama teknikleriyle üretilmiştir.

LTS malzemeler düşük T_C değerine sahip olmalarına rağmen, üretimlerinin ve süperiletkenlik özelliklerinin iyi olması nedeniyle uygulamalarda kullanılmaktadır. 2001 yılında bulunan MgB_2 teller 39 K gibi düşük bir geçiş sıcaklığına sahip olmasına rağmen, yüksek akım taşıma ve yüksek kritik manyetik alan değerlerine sahiptir. Ayrıca ucuz, üretimi kolay, diğer HTS'lere oranla tel şeklinde çalışılması daha kolay olan malzemelerdir.

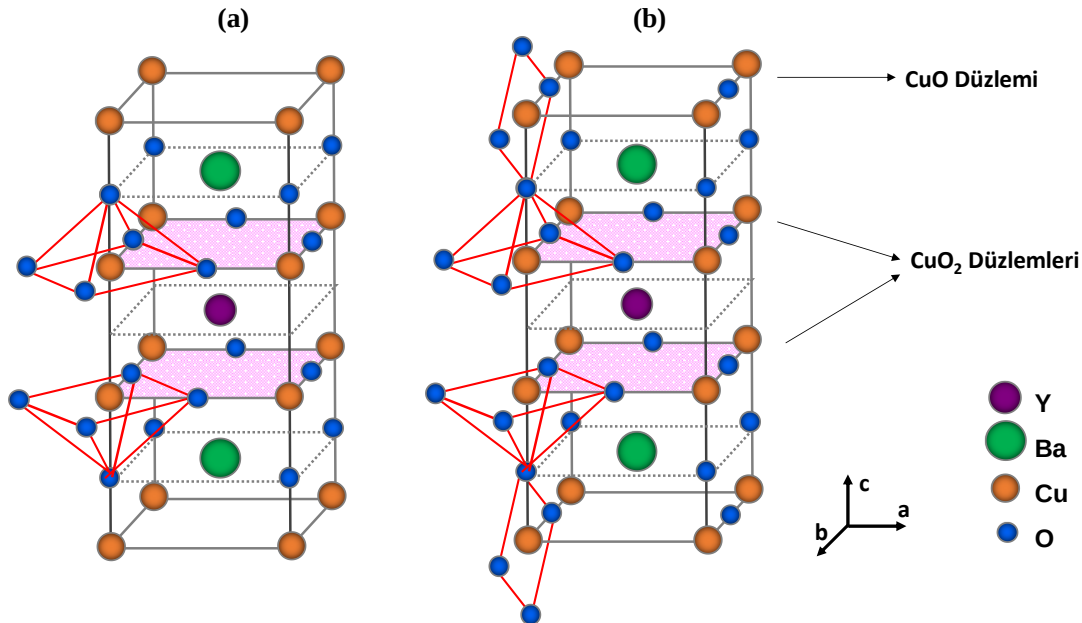
Bi-tabanlı malzemeler, YBCO kadar akım taşıma kapasitesine sahip olmamasına rağmen, yassı, kolay sıralanabilen, düzenli taneciklere sahiptir ve üretimi daha kolaydır. Çekme ve yuvarlama gibi deformasyon yöntemleri içeren PIT yöntemi ile şerit haline getirilmiş teller olarak üretilir ve çoklu damarlı yapıda uygulamaları mevcuttur. Ticarileşen 1. Nesil tellerin uzun boyutlarda üretiminin yapılabilmesi ve başarılı uygulamaları olmasına rağmen, 2. nesil kaplama teknolojisine dayanan şeritlere ilginin artmasının öncelikli nedeni maliyettir [68]. 2. Nesil şeritlerde daha az gümüş kullanılmakta ve 1. nesil tellere oranla daha yüksek manyetik alanlarda ve daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir [69].

Gelişmekte olan 2. nesil HTS'ler, mekanik dayanım sağlamak için alaşımdan altlık, tampon katman ve süperiletken katmandan oluşmaktadır. 2. Nesil şeritlerin üretiminde, yüzeyin kristalografik olarak hizalanmış bir şekilde kaplanması için bir dizi aşama gerekmektedir. Bu işlemler de maliyeti yükseltmektedir. 2. Nesil HTS'lerin maliyetini düşürmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle maliyeti düşürüp iletim hatları için gerekli olan uzun ölçekli örnekler üretilmesi amaçlanmaktadır.

2.5. Yitriyum Tabanlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Özellikleri

Yitriyum tabanlı ilk HTS 1987 yılında, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ($x=0,07$) fazında $T_c=92$ K olarak bulunmuştur [27]. Bu bileşiklerin karmaşık bir kristal yapıları vardır. Bunlar dört veya beşe kadar element içerebilir ve katmanlı perovskit yapıya sahiptirler. Nadir toprak elementlerinin çoğu, yitriyumun yerini alabilir [70]. Yitriyum tabanlı HTS'ler, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (Y123), $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ (Y124) ve $\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15}$ (Y247) olmak üzere üç temel faza sahiptir.

Y123 olarak adlandırılan $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ fazının süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı 92 K civarındadır [71]. Oksijen miktarına bağlı olarak T_C değeri değişmekte olup, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$ fazı 25 K'de süperiletkendir. Y123 süperiletkenlerin içerdiği oksijen miktarı önemli olup buna göre yapı ortorombik veya tetragonal yapı özelliği gösterebilir [72]. Yapı ortorombik ise malzeme süperiletkenlik özellik gösterir [71]. Yapı tetragonal ($a = b \neq c$) ise, yapı içinde oksijen yoğunluğu azalmakta ve Cu-O katmanları bozularak, malzeme süperiletken özelliğini kaybetmektedir. Şekil 2.11 (a)'da görülen tetragonal fazda, Cu-O katmanlarında O bölgeleri rastgele veya bozuk bir şekilde işgal edilir. a Yönündeki O boşluğu, birim hücrenin $a < b$ olması için hafifçe sıkışmasına neden olur ve yapı tetragonale dönüşür. Şekil 2.11 (b)'de $\text{CuO}/\text{BaO}/\text{CuO}_2/\text{Y}/\text{CuO}_2/\text{BaO}/\text{CuO}$ katmanlarından oluşan Y123 ortorombik fazının kristal yapısı görülmektedir. Ortorombik yapıda 001 düzleminde yönlendirilmiş iki adet CuO_2 katmanı vardır. Katmanlar köşe paylaşımı yaklaşık olarak düzlemsel CuO_4 düzlemleri ve CuO_2 katmanlarındaki Cu üstünde ve altında yönlendirilmiş kare tabanlı O piramidinin tekrarlanmasıyla oluşur. Yapıda b yönünde zincir olarak adlandırılan Cu ve O atomları sıralanır. Cu-O zincirlerinin, süperiletkenlik için gerekli olduğuna inanılmakla birlikte, yapıda fazladan oksijene izin vererek CuO_2 katmanlarını oksitlemek için bir aracı olarak görev yaptıkları da bilinmektedir [73].



Şekil 2.11. Y123'ün kristal yapısı (a) tetragonal yapı, (b) ortorombik yapı

$\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15}$, Y123 ve Y124 bileşiklerinin sıralı olarak, 1:1 büyümesi olarak ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + \text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8 = \text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15}$) görülebilir [74]. Y124 ve Y247 fazlarının

süperiletkenliğe geçiş sıcaklıkları sırasıyla 80 K ve 40 K'dir [74, 75]. Y247 yapısında, 123 kısmının Cu-O zincirlerinde oksijen miktarı farklılık gösterebilir. Bu nedenle yapının T_c değeri, 30 K ve 95 K arasında değişebilir [76, 77].

YBCO süperiletkenler katmanlı yapı nedeniyle, güçlü anizotropik özellik sergiler ($J_{c, AB} \gg J_{c, C}$). YBCO'nun düzensiz tanelerinin zayıf bağlanma davranışı nedeniyle tel ve şeritlerle çalışmak zordur. Bu nedenle, taneciklerin örtüşmesi ve akımın bir tanecikten diğerine etkili şekilde iletimi için pek çok yöntem geliştirilmiştir. 2. Nesil olarak adlandırılan ince film üretim yöntemleri ile üretilen YBCO'nun J_c değeri 0 T 77 K'de yaklaşık 10^7 A/cm² civarındadır ve malzeme yüksek dış manyetik alanlarda (4,2 K de >100 T) süperiletken kalabilir [78].

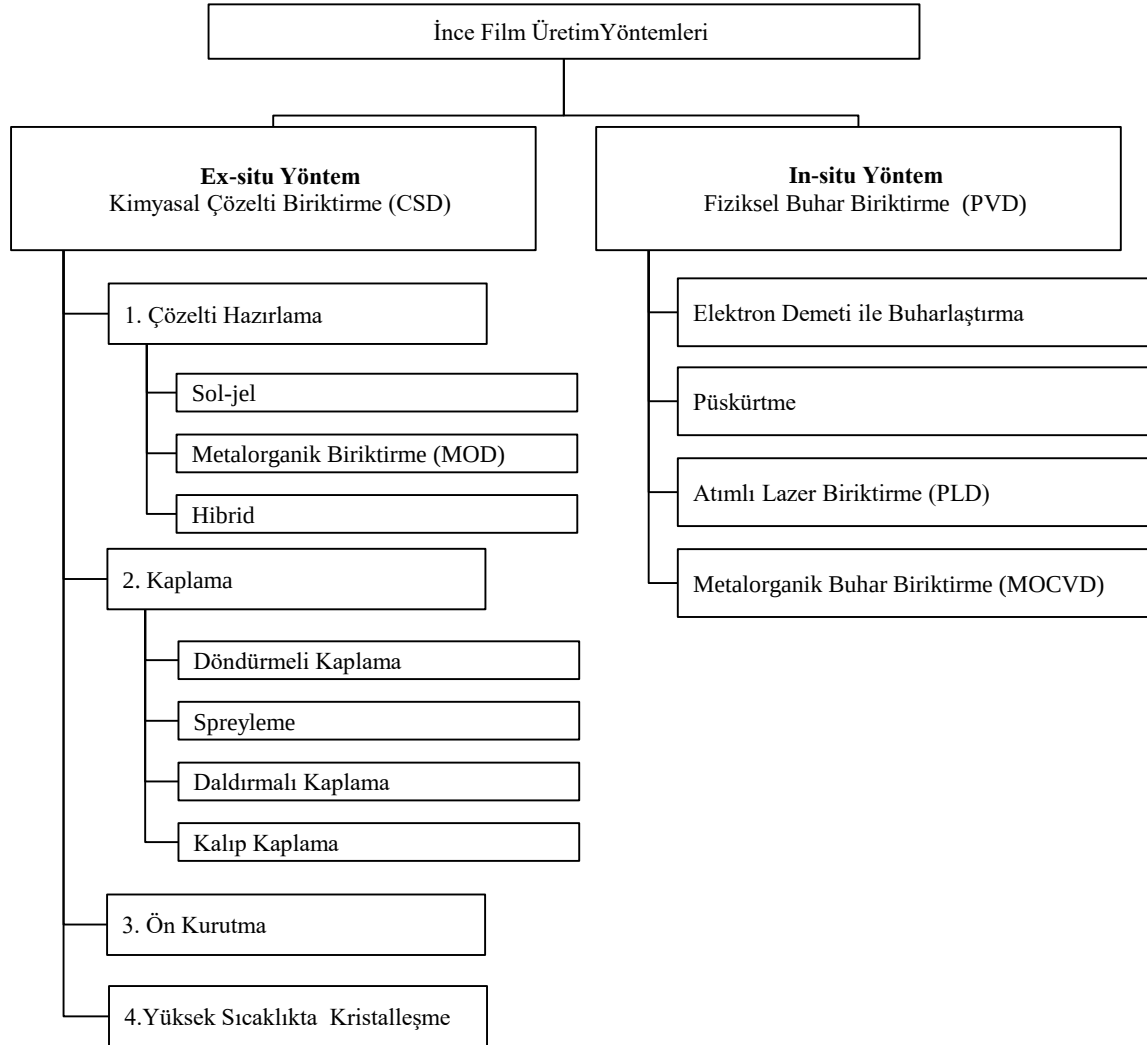
2.6. YBCO İnce Film Üretim Yöntemleri

HTS malzemelerin ticarileştirilmesinin önündeki en büyük zorluk, bu malzemelerin uygulamalar için gerekli performansı yakalarken, üretim ve kullanım maliyetinin yüksek olmasıdır. 2. Nesil şeritlerin geliştirilmesinde önemli nokta, YBCO katmanının, düşük maliyetli ve yüksek elektriksel performansa sahip olması için gerekli üretim yönteminin seçilmesidir. HTS malzemelerin keşfinden sonra ticarileşebilmesi için öncelikle zayıf bağlanma, akı sızması ve zayıf mekaniksel özellikler gibi malzeme problemlerinin çözülmesi gerekmiştir [79].

Gelişmekte olan 2. Nesil teller; altlık, tampon katman ve süperiletken katmandan oluşmaktadır (Şekil 2.10 (e)). Altlık; şeritlere mekanik dayanım sağlamak için kullanılmaktadır. Altlık, a-b düzleminde akımın engellenmeden akışını kolaylaştıran kübik kristal yapıda, iki eksenli yönlendirilmiş, tek fazlı ve düzgün bir yüzeye sahip olmalıdır. Ancak ısıtılma işlemi sırasında faz değişikliği oluşmamalıdır [80]. Bu gereklilikleri karşılayabilmek için üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Altlık üretim yöntemleri; iyon demeti destekli biriktirme (IBAD), çekme destekli iki eksenli yönlendirilmiş altlık (RABITS) ve yönelimli altlık biriktirme (ISD) olmak üzere üçe ayrılır [81]. IBAD ve RABITS yöntemlerinde en önemli nokta altlığın yönlendirilerek üretilmesidir. ISD yönteminde ise, altlığın yönlendirilmesine gerek kalmadan tampon katman kaplanabilmektedir [79]. IBAD yönteminde çift eksenli yönlendirilmiş altlıklar iyon bombardımanı ile elde edilmektedir. RABITS yönteminde ise Ni veya Ni tabanlı alaşımlar geleneksel deformasyon yöntemleriyle

şerit haline getirilip ısıtıl işlem ile yönlendirme gerçekleştirilir. Altlık ile YBCO katman arasına tampon katman; ısıtıl işlemlerde altlıktan süperiletken katmana metal geçişini önlemek, örgü uyumsuzluğunu azaltmak ve metal malzemenin çift eksenli yapısını YBCO'ya aktarmak için kullanılır [82].

YBCO ve tampon katmanı oluşturmak için pek çok yöntem bulunmaktadır. İnce film üretim yöntemleri, üretim çemberinden örneklerin kullanıma hazır olarak çıkması ya da ek ısıtıl işlem gerektirmesi göz önüne alınarak, ex-situ ve in-situ olarak 2 gruba ayrılır [83]. Bu gruplandırma Şekil 2.12'de şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.12. İnce film üretim yöntemleri

Kimyasal çözelti biriktirme yöntemleri, fiziksel buhar biriktirme yöntemleri ile kıyaslandığında, ekipman ve malzeme maliyeti daha düşüktür. CSD yöntemleri vakum

ortamı gerektirmemesi nedeniyle maliyeti en düşük olan yöntemlerdir. Bu yöntemde Y, Ba ve Cu katyonları stokiometrik oranlarda uygun çözücüler kullanılarak istenilen yoğunlukta karıştırılır. Ön başlatıcılar ve stokiometri ile YBCO filmin özellikleri ve homojenliği kolayca kontrol edilir. Hazırlanan çözeltinin tamamı kullanılır ve altlığın her iki yüzeyi de kaplanır [84]. CSD tekniğinin başarıyla uygulanması için çözelti, altlık ve kaplama koşullarına dikkat edilmelidir. Kararlı bir çözelti oluşturmak için başlangıç malzemeleri tamamen çözünmeli ve ısıtım sırasında tüm katalizörler (oksijen iyonları hariç) arındırılmalıdır. Ön kurutma sırasında bileşenlerin kristalleştirilmesinden kaçınılmalıdır. Alt katman üzerinde homojen dağılımlı kaplamanın yapılabilmesi için, bütün parametrelerin doğru ayarlanması gerekmektedir. Ön kurutma veya kristalleşme sırasında çatlak oluşmaması, film ve alt katman bileşenlerinin en az düzeyde difüzyonu ve kaplama sırasında altlığın minimum bozulması sağlanmalıdır [85]. Çözelti bazlı kaplama yöntemleri fotoğraf kağıdı ve film gibi uygulamalar için başarılı bir şekilde geliştirilmiş olsa da, yüksek kaliteli HTS şeritler için esnek, kilometrelik yüzeyler üzerinde düzgün olarak üretilebilmesi yeni bir uygulamadır [86].

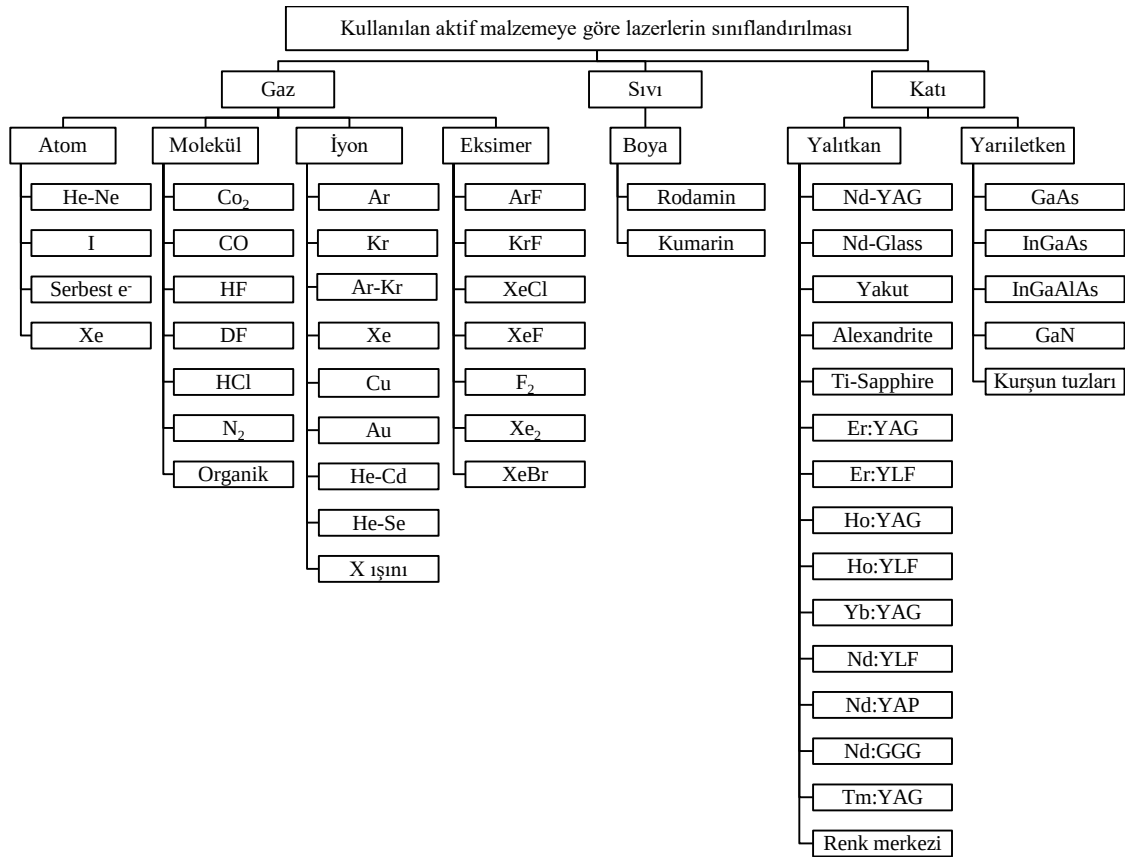
2.7. Lazer Teknolojileri ve Uygulamaları

Lazerler; metal ve alaşımların, seramik ve camların, polimer ve kompozitlerin hem laboratuvarlarda hem de endüstriyel ortamlarda işlenmesi için kullanılan, geniş ölçekli bir araçtır. Lazerler, dalgaboyu ultraviyolede kızılötesine kadar, gücü ise miliwatt ile kilowatt seviyelerinde, atımlı veya sürekli olarak ışın üretebilen cihazlardır. Lazer ışını tutarlılık (uzamsal ve zamansal), monokromatiklik, düşük sapma ve yüksek parlaklık gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler, ölçüm, holografi, veri depolama ve iletişim gibi farklı alanlarda uygulamaların temelini oluşturmaktadır.

Bir lazerin çalışması için dört temel bileşen gereklidir. Işını üretebilmek için gerekli uyarılacak malzeme, uyarılmayı sürdürecektir sistem, ışın iletimi için optik sistem ve lazer ışınının enerjisini ayarlayan sistemlerden oluşur. Bunlara ek olarak, uyarılan malzemenin soğutma sistemi ve kullanım için kontrol ünitesi gereklidir. Bir lazerden yayılan ışın, ayna sistemleri veya fiber kablo ile iletilmektedir. Lazer ışınının yoğunluk ve dağılımı yansıtıcı ve kırınımlı optik sistemler kullanılarak kontrol edilebilir.

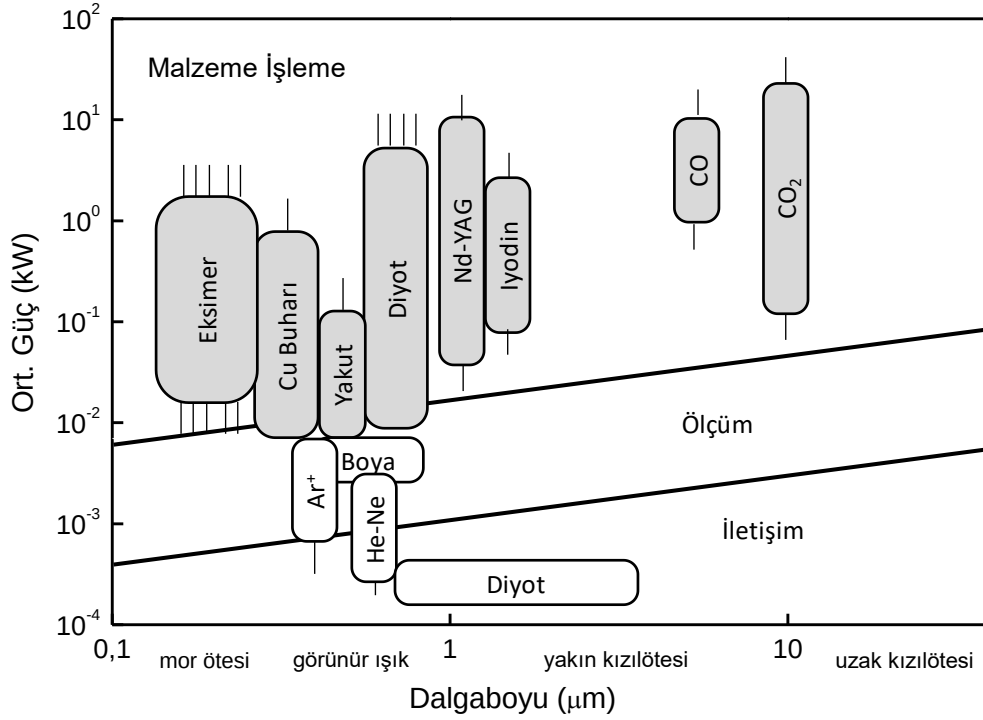
Lazer ışını; atomlar, iyonlar ve moleküllerin yüksek ve düşük enerji seviyeleri arasındaki geçişler sonucunda açığa çıkan enerjidir. Atomlar, iyonlar ve moleküller, ayrı enerji seviyeleri ile karakterize edilen durumlarda bulunurlar. Kuantum mekaniği, tüm parçacıkların, çekirdeğin ve elektronların periyodik hareketleri ile ilişkili farklı enerji durumlarına sahip olduğunu ifade eder. Mümkün olan en düşük enerji seviyesi taban durumudur, diğer durumlar ise uyarılmış durumlar olarak adlandırılır. Taban durumdaki elektronlar enerji ile uyarılarak bir üst seviyedeki enerji durumuna yükselir. Elektronlar belli bir zaman sonra ait olduğu enerjili yörüngeye geri dönmek ister ve bu iki enerji seviyesi arasındaki fark kadar enerjiyi, ışığın temel parçacığı olan foton olarak yayar. Enerji seviyelerinin değerlerine ek olarak, bu seviyelerde harcanan ömür, ışımının zamansal doğasını etkiler.

Lazer ışını üretmek için kullanılan aktif malzemeler fiziksel özelliklerine göre, gaz, sıvı ve katı olarak gruplandırılabilir. Bu gruplandırmalar ve lazerlerde kullanılan malzemeler Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Lazerlerin, ışın üretmek için kullanılan malzemeye göre sınıflandırılması [87]

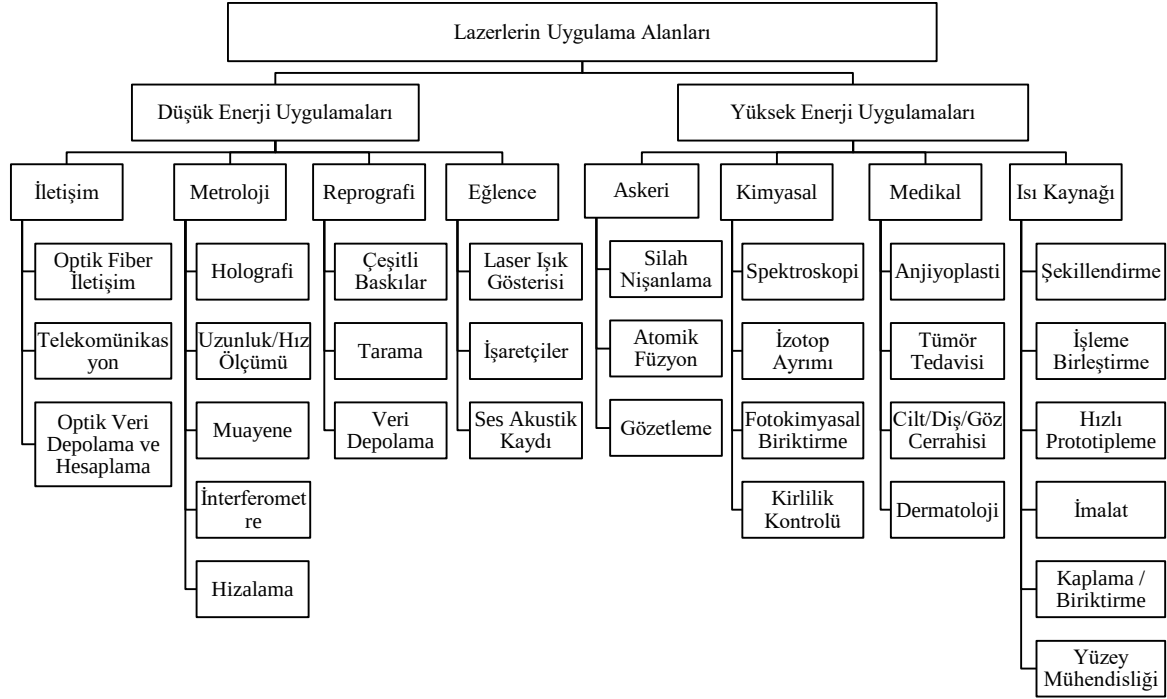
Işın üretmek için kullanılan malzemeler, lazer sisteminin dizaynı, ışının enerjisi, dalgaboyu ve etkileşim süresi gibi özelliklerini belirler. Üretilen lazer ışınının bu özellikleri ise, lazerin kullanılabileceği alanı belirlemektedir. Bu bağlamda bazı lazerlerin özellikleri ve kullanım alanlarına göre güç ve dalgaboyu aralıkları Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.14. Ticari lazerlerin kullanıldığı alana göre özellikleri [87]

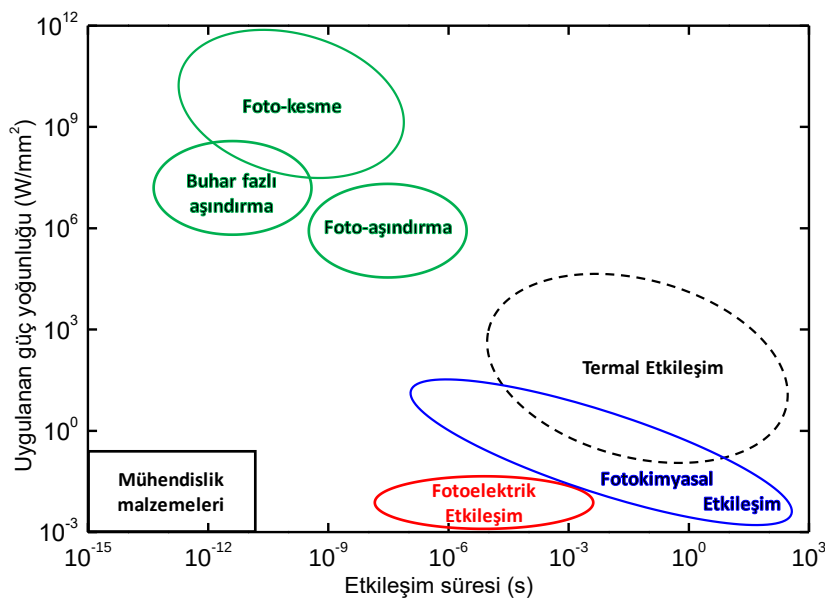
Şekil 2.14 incelendiğinde, ticari lazerlerin 10⁻⁴-10⁻³ kW aralığında iletişim sektöründe, 10⁻³-10⁻² kW aralığında ölçüm sistemlerinde ve 10⁻²-10² kW aralığında ise malzeme işleme sistemlerinde kullanılmaktadır. Lazerler kullanılan aktif malzemeye göre farklı dalgaboyuna sahiptirler. Lazerlerin kullanıldığı başlıca sektörler; malzeme işleme (kesme, delme, kaynak, aşındırma), savunma teknolojileri, iletişim, litografi, uzay teknolojileri ve tıp olarak sınıflandırılabilir. Kullanım alanları Şekil 2.15'te şematik olarak verilmiştir.

Malzemelerin atom ve molekül yapısı, bağ enerjileri, fazları, bölgesel mikroyapılarından kaynaklanan özellikleri ve lazer işleminin meydana getirdiği ısıl çevrimler nedeniyle oluşan mikroyapısal değişiklikler, lazer ışını fotonlarının malzeme tarafından emilim mekanizmasını etkiler. Bu nedenle lazer malzeme etkileşiminde hangi enerji aralığında hangi atım aralığına sahip lazerin kullanılacağı önemlidir.



Şekil 2.15. Lazerlerin uygulama alanları [88]

Lazerler ile yapılan uygulamalar termal ve atermal olmak üzere makroskopik ve mikroskopik ölçeklerde gerçekleşir. Termal etkileşimde lazer ışını yüksek parlaklığa ve güç yoğunluğuna sahiptir. Atermal (fotonik) etkileşimlerde ise ışın kısa dalga boyuna (yüksek enerji) ve kısa darbe süresine sahiptir. Atermal ve termal etkileşim bölgelerinin enerji ve etkileşim süreleri Şekil 2.16’da karşılaştırma amaçlı verilmektedir.



Şekil 2.16. Lazer-malzeme etkileşiminin termal ve atermal etkileşim mekanizması

Lazer malzeme etkileşimi atermal olarak; fotofiziksel, fotokimyasal ve fotoelektriksel olmak üzere üç düzeyde değerlendirilebilir. Fotoelektrik etkide, gelen ışın malzemedeki elektronlar tarafından soğurulur. Lazer yazıcılar buna örnek olarak verilebilir. Fotokimyasal etki ise, lazer ışınının fotonları ile kimyasal bağlar arasındaki etkileşimleri içerir. Bu etkileşimle bağlar yapılabilir veya bozulabilir. Bağların yapılmasına dış dolguları ve 3D yazıcılar örnek olarak verilebilir. Kimyasal bağları parçalamak için ise; UV eksimer ve femtosaniye lazerler kullanılabilirler. UV eksimer lazerlerin dalga boyları küçüktür, bu nedenle daha az kırılırlar ve kontrol edilmeleri mümkün olduğundan mikro işlemlerde kullanılırlar. Femtosaniye katı hal lazerlerin atım aralığı (10^{-15} s) ise moleküller arası etkileşim süresinden (10^{-12} - 10^{-14} s) çok kısa olduğundan, klasik ısı iletim yasalarına uymayan malzeme lazer etkileşimi gerçekleşir. Lazer ışını ile organik malzemelerin etkileşimi bio-uyarım olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemle tümörlerin tedavisinde başarı elde edilmiştir [87].

Fotofiziksel etkileşim; foto aşındırma, buhar fazlı aşındırma ve foto kesme olarak gruplandırılabilir. Foto-aşındırma, malzemelerin yüksek enerjili ultraviyole lazer ışınlarına tabi tutularak, moleküler bağların doğrudan kopması yoluyla malzemenin parçalanmasıdır. Eksimer lazerler, 10^5 - 10^8 W/mm² aralığında bir güç yoğunluğu ve 10^{-9} - 10^{-11} s arasında bir atım aralığına sahip ışın ürettiği için, çevresine zarar vermeden istenilen bölgede aşındırma yapılabilir. Pek çok metalik olmayan malzeme, ultraviyole ışığı çok ince bir yüzey katmanında (0,5-1 μ m) soğurduğu için bu lazerler, göz ameliyatlarında, polimerlerde ve seramiklerde, malzemenin alt bölgelerine zarar vermeden işlem yapmak için kullanılırlar. Buhar fazlı aşındırmada ise katı malzemenin sıvı hale geçmeden doğrudan buhar olarak yüzeyden uzaklaşması sağlanır. Lazer atım aralığı o kadar kısadır ki, çevredeki malzemeye ısı yayılması için yeterli zaman yoktur. Güç yoğunluğu 10^9 - 10^{11} W/mm², atım aralığı ise 5×10^{-10} - 1×10^{-13} s arasındaki atımlı Nd:YAG, Nd:YLF ve Ti:Safir lazerler foto-aşındırma için tercih edilen kaynaklardır. Foto-kesme, malzemelerin mekanik kuvvetler tarafından parçalanması veya kesilmesidir. Güç yoğunluğu 10^9 - 10^{14} W/mm² ve atım aralığı 2×10^{-7} - 1×10^{-13} s arasında atımlı Nd: YAG, Nd: YLF ve Ti: safir lazerler bu uygulamalar için uygundur.

Biyomedikal ve mikroelektronik endüstrileri, atermal lazer işlemedeki büyümenin büyük kısmını yönlendirmektedir. Lazer kullanımı, çok sayıdaki endüstriyel işlemlerde ve nanoteknoloji uygulamaları geliştirmede etkin olmuştur. Artan nanoteknoloji çalışmaları, nano ölçekte işleyebilen lazer sistemlerine duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Lazerler yapılacak

işlem için uygun özelliklerde üretilerek, fiziksel ve termal özelliklerine bakılmaksızın birçok malzemede kullanılabilmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile de kullanım alanı gün geçtikçe çoğalmaktadır.

3. DENEYSEL METOTLAR

3.1. X Işını Toz Kırınım Ölçümü

Kristal, bir araya gelen atomların belirli bir yerleşim düzeninin üç boyutlu uzayda tekrarı ile oluşur. X ışını kırınımı analizi, kristal yapıların belirlenmesinde oldukça önemli bir yöntemdir. Bu yöntemin temeli Bragg kırınım yasasına dayanır. Gönderilen X ışını örnekten yansır ve bir dedektör yardımıyla algılanır. Yansıma şiddetine karşılık gelen 2θ değerleri elde edilir. Kristal olan katılarda örneğin özelliğini belirleyen keskin ve şiddetli pikler gözlenir. Desendeki bu pikler indislenerek, kristal yapılar tespit edilir. Ayrıca örgü parametreleri ve piklerin genişliğinden kristal boyutu hesaplanabilir. X ışını kırınım deseninden örneklerdeki faz türleri ve miktarları ile ilgili bilgilere de ulaşılabilir.

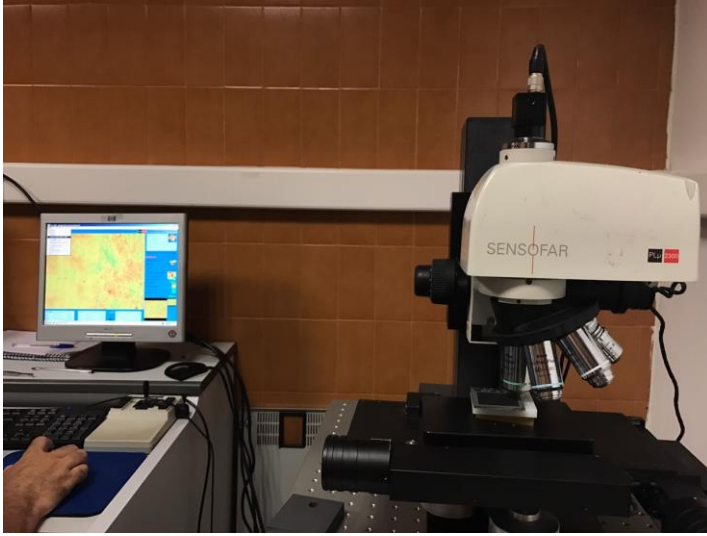
Bu çalışmada temin edilen Ni-%5W şeridin analizinde ve ince film üretiminin her aşamasında X ışını kırınım ölçümlerinden yararlanılmıştır. Örneklerin analizinde Resim 3.1’de görülen Bruker marka D8 Advance model toz difraktometre kullanılmıştır. Elde edilen X ışını kırınım desenlerinden örgü parametreleri ve kristal büyüklükleri hesaplanmıştır.



Resim 3.1. XRD cihazının görüntüsü

3.2. Konfokal Optik Mikroskop

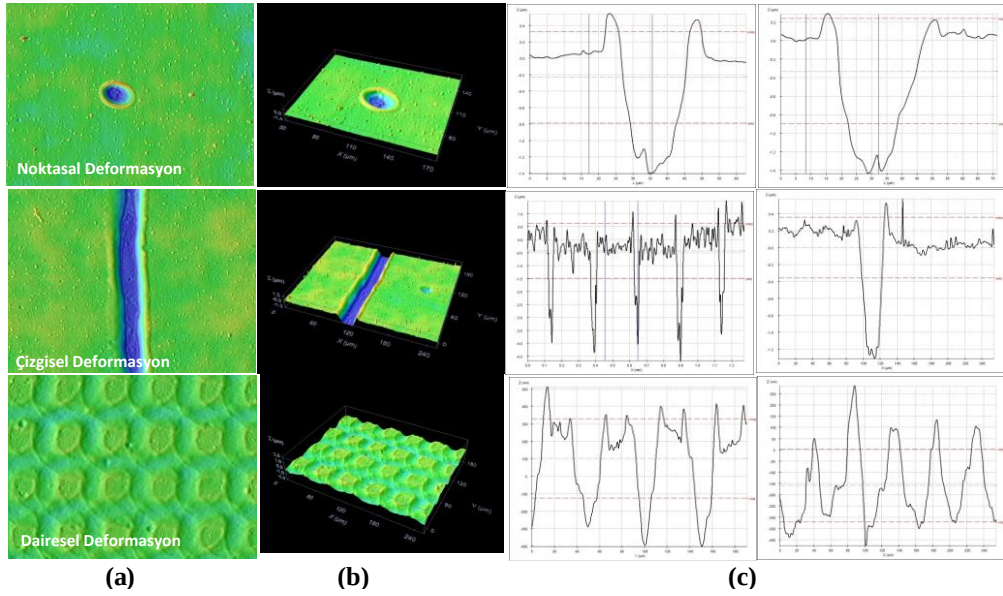
Konfokal mikroskop, yüksek ışık verimliliğine sahip, gelişmiş temassız optik görüntüleme mikroskobudur. Örneklerin yüzeylerini incelemek için Zaragoza Üniversitesi Malzeme Bilimi Enstitüsü'nde bulunan Sensofar P Lu 2300 konfokal mikroskop kullanılmıştır. Cihazın görüntüsü Resim 3.2'de görülmektedir.



Resim 3.2. Konfokal mikroskop görüntüsü

Cihaz 50 nm'den düşük dikey tekrarlanabilirlik, 0,935'den 0,311 μm 'ye kadar yanal çözünürlük, çok pürüzsüz yüzeylerde 0,1 nm'ye kadar dikey çözünürlük, 0,935 μm ve 0,701 μm yanal çözünürlüğe sahiptir. Konfokal mikroskop ile profiller, yüzey topografisi, pürüzlülük, eğimlerin ve yüzey kusurlarının ölçümü, standart ve konfokal mikroskopik görüntüleri alınabilmektedir. Konfokal mikroskop ile yapılan analiz örnekleri Şekil 3.1'de görülmektedir.

Bu çalışmada, konfokal mikroskop ile, lazerle işlem yapılan yüzeylerin, yüzey topografisi (a), üç boyutlu görüntüleri (b) ve profilleri (c) alınarak, kusurların boyutsal analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.1. Konfokal mikroskop ile yüzey analiz örneği (a) yüzey topografisi, (b) üç boyutlu analiz, (c) profil analizi

3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), organik, inorganik, seramik, metal vb. birçok farklı malzemenin yüzey görüntülenmesinde ve analizinde kullanılır. Üretilen örneklerin incelenmesi Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünde bulunan Jeol JSM-6060 LV ile, lazer ile kusur oluşturulan şeritlerin incelenmesi ise Resim 3.3'te görülen Zaragoza Üniversitesi Malzeme Bilimi Enstitüsü'nde bulunan Carl Zeiss Merlin model cihaz ile yapılmıştır.

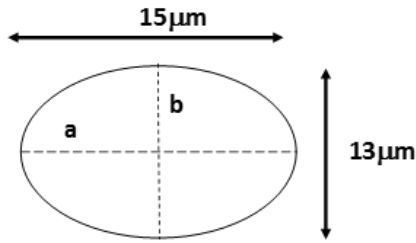


Resim 3.3. Taramalı elektron mikroskobun görüntüsü

Örneklerin SEM ile incelenebilmesi için, vakum ortamında bozulmamaları ve iletken olmaları gerekir. Altlık iletken olduğundan kaplanmadan, tampon ve YBCO katman ise iletken malzeme ile kaplanarak incelenmiştir.

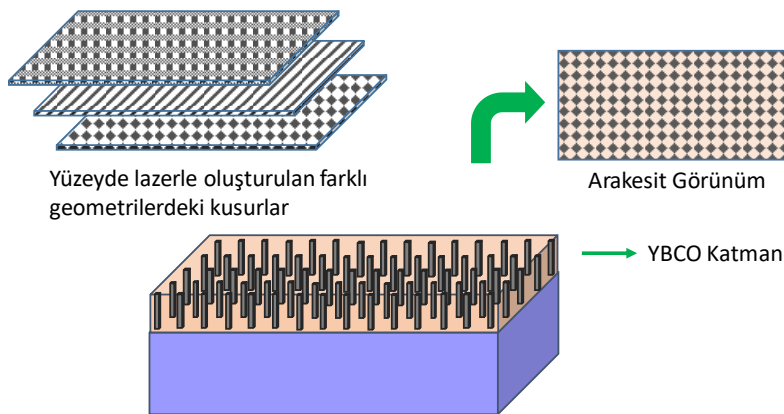
3.4. Lazer Sistemleri

YBCO şerit üzerinde kusur oluşturmak için Rofin PowerLine Pico 10-355 (odak ölçüsü $15\mu\text{m}$) ps-UV lazer kullanıldı. Lazerin parametreleri, akım (4-8 A), frekans (300-800 kHz) ve tarama hızıdır. Lazerin odak lensi eliptik olup ölçüleri Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2. ps-UV lazerin odak ölçüleri

Bu lazerle, akım, tarama hızı ve frekans parametreleri kullanılarak, istenilen bölgede, noktasal, çizgisel ve dairesel olmak üzere üç farklı desen uygulanabilmektedir. Çivileme merkezi yerine geçebilecek kusurları oluşturmada önce, lazerin film üzerindeki etkisini görmek ve kullanılabilecek parametre aralığını belirlemek için, yüzeyde farklı enerji değerlerine sahip kusurlar oluşturulmuştur. Kullanılabilecek parametreler belirlendikten sonra şeritler üzerinde Şekil 3.3’teki gibi kusur desenleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.3. Yüzeyde lazerle oluşturulan kusurların şematik gösterimi

3.5. DC-SQUID Ölçüm Sistemi

DC-SQUID (Superconducting Quantum Interference Device), malzemelerin manyetik alana karşı gösterdiği tepkiyi ölçen hassas bir cihazdır. Malzemeye dc manyetik alan uygulanarak manyetik momentin değeri, alanın fonksiyonu olarak ölçülür ve böylece manyetizasyon döngüsü elde edilir. Elde edilen M-H döngüsünden malzemenin direnç göstermeden taşıyabileceği kritik akım yoğunluğu teorik olarak hesaplanmaktadır.

Manyetizasyon ölçümü için Zaragoza Üniversitesi Malzeme Bilimi Enstitüsü'nde bulunan Quantum Design MPMS-XL5 SQUID kullanılmıştır (Resim 3.4).



Resim 3.4. SQUID manyetometrenin görüntüsü

Manyetizasyon ölçümleri, çapı 3 mm olan dairesel örnekler hazırlanarak, 15 K'de, 0-5 T arasında örnek düzlemine dik manyetik alan uygulanarak yapıldı. Ayrıca yapılan kusurların T_C üzerindeki etkisini görmek için 5-100 K aralığında manyetik alınganlık ölçümü yapıldı.

3.6. Daldırmalı İnce Film Üretim Sistemi

Örneklerin kaplanması için PTL-HT model programlanabilir daldırmalı kaplama sistemi kullanılmıştır. Sistem, örneklerin standart şekilde kaplanması için hız kontrolüne sahip

motorize daldırma-çekme sistemi ve sıcaklık kontrollü dikey tüp fırından oluşmaktadır. Kaplama sisteminin genel görüntüsü Resim 3.5’te görülmektedir.

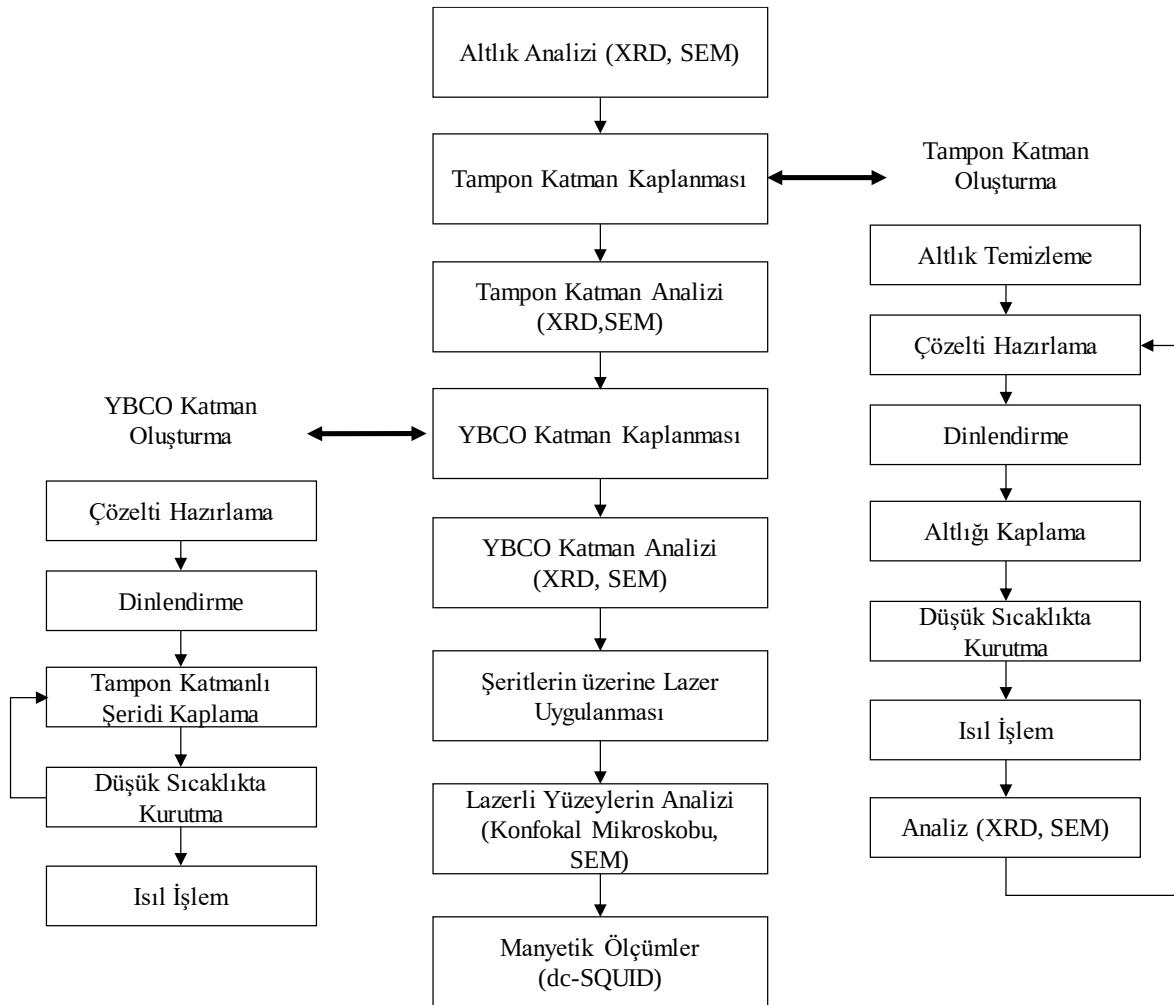


Resim 3.5. Daldırmalı kaplama sisteminin görüntüsü

Örnekler kaplanırken, çözelti atmosfer ortamında aşağıda bulunur, örnek çözeltiye daldırıldıktan sonra fırının içindeki kuvars borudan belirlenen hızlarda yukarı çekilmektedir. Örnek, fırının içinden geçirilerek ön kurutma işlemi yapılmaktadır. Bu sistem altlığın tampon katman ve YBCO katman ile kaplanmasında kullanılmıştır.

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

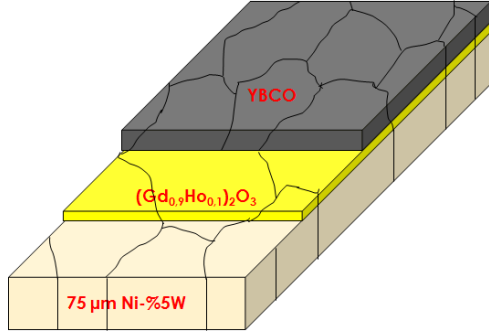
Yapılan çalışma; YBCO şeritlerin üretilmesi, şeritlerde lazer ile kontrollü, boyutları belirlenmiş kusurların oluşturulması ve kusurların çivileme merkezlerinin yerini alıp alamadığının manyetizasyon ölçümleri ile araştırılması basamaklarından oluşmaktadır. Şekil 4.1’de işlem basamakları şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. YBCO şerit üretim ve lazerle kusur oluşturma basamaklarının şematik gösterimi

Üretilen YBCO şeridin şematik gösterimi Şekil 4.2’de görülmektedir. YBCO şeritler; Ni-%5W altlık, $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})_2\text{O}_3$ tampon katman ve YBCO katmandan oluşmaktadır. YBCO şeritlerin üretimi aşamalı olarak gerçekleştirildi. Hazır olarak temin edilen Ni-%5W şeridin, kristalografik özellikleri ve yüzeyi XRD ve SEM görüntüleri ile analiz edildi. $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})_2\text{O}_3$ tampon katman daldırmalı olarak Ni-%5W altlık üzerine kaplanıp XRD

analizi ve SEM görüntüleri alınarak karakterize edildi. Tampon katmanın oluşturulması, daldırma-ön kurutma-ısıtma işlemi-analiz çevriminin beş kez tekrarlanması ile gerçekleştirildi. Elde edilen şeritler üzerine YBCO katman, yine daldırma-ön kurutma işlemi-analiz çevriminin yedi kez gerçekleştirilmesi sonrasında ısıtma işlemi ve analiz ile tamamlandı.



Şekil 4.2. $(Gd_{0,9}Ho_{0,1})_2O_3$ Tampon katman ve YBCO katman ile kaplanan Ni-%5W şeridin şematik gösterimi

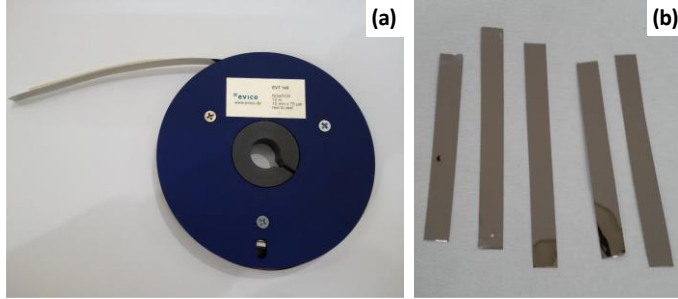
Lazer ile şerit üzerinde kusurların oluşturulabilirliği, iki farklı lazer kullanılarak test edildi. Yüzeyde kontrollü, düzgün dağılımlı kusurlar oluşturabilmek için gerekli lazer sistemi parametreleri belirlendi. Şerit yüzeyinde, parametreleri belli, kontrollü düzgün dağılımlı kusurlar oluşturuldu. Örneklerden manyetizasyon ölçümleri alınarak, kusurların kritik akım yoğunluğu üzerindeki etkileri araştırıldı. Bu amaçla Manyetizasyon ölçümleri için, 3 mm çapında dairesel örnekler, lazerle kesilerek hazırlandı. Oluşturulan kusurların, çivileme merkezinin yerini alıp alamadıkları manyetizasyon ölçümleri ile kontrol edildi.

4.1. YBCO İnce Film Üretimi

4.1.1. Altlık analizi

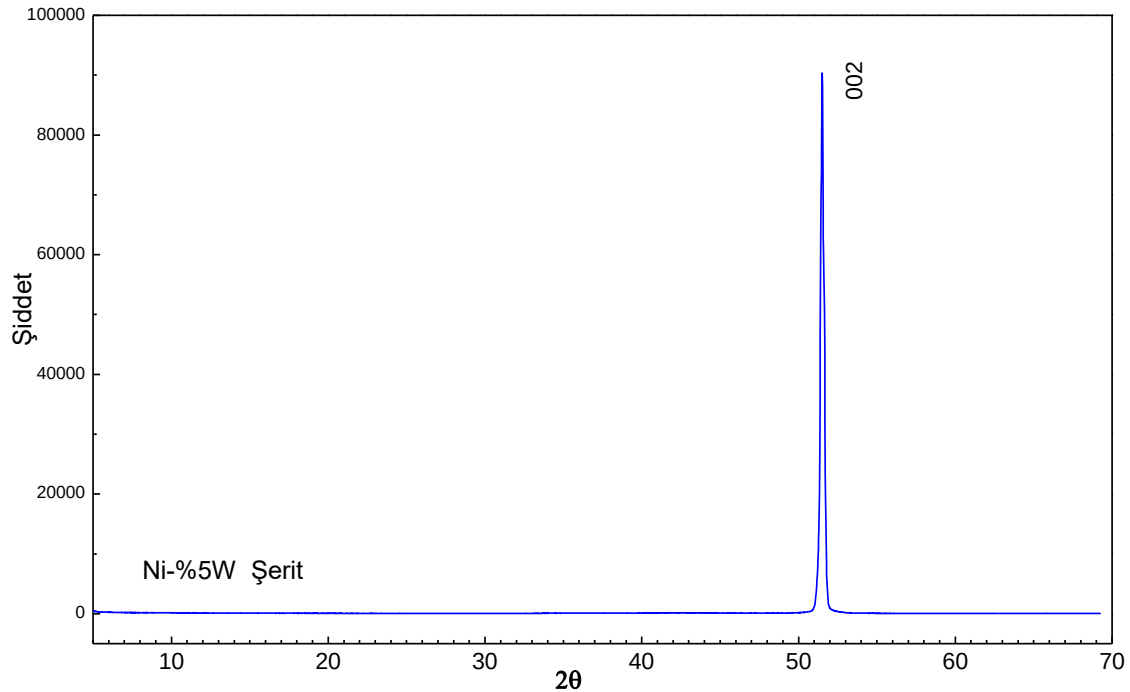
Üretilen filmlerin özelliklerine bakıldığında film büyütme için altlık seçimi çok önemlidir [43]. Yapının elektriksel direnci, kolaylıkla şekillendirilebilir olması, tek fazlı olması ve ısıtma işleminden etkilenmemesi, yüzeyin düzgünlüğü ve iki eksenli yönlendirilmiş kristal yapısından dolayı, hazır Ni-%5W şerit kullanıldı (Resim 4.1). RABITS yöntemiyle üretilmiş olan Ni-%5W şerit, Evico firmasından c-yönelimli olacak şekilde hazır olarak temin edildi. 10 mm genişliğinde 75µm kalınlığında olan Ni-%5W şeritler, kaplanmadan önce, X ışını

kırınım deseni ve SEM görüntüleri alınarak, yüzeyin yönelimi, tane büyüklüğü, tane sınırları ve yüzeyin temizliği incelendi.



Resim 4.1. (a) Ni-%5W şeridin görüntüsü, (b) Kaplama için kesilmiş temizlenmiş şeridin görüntüsü

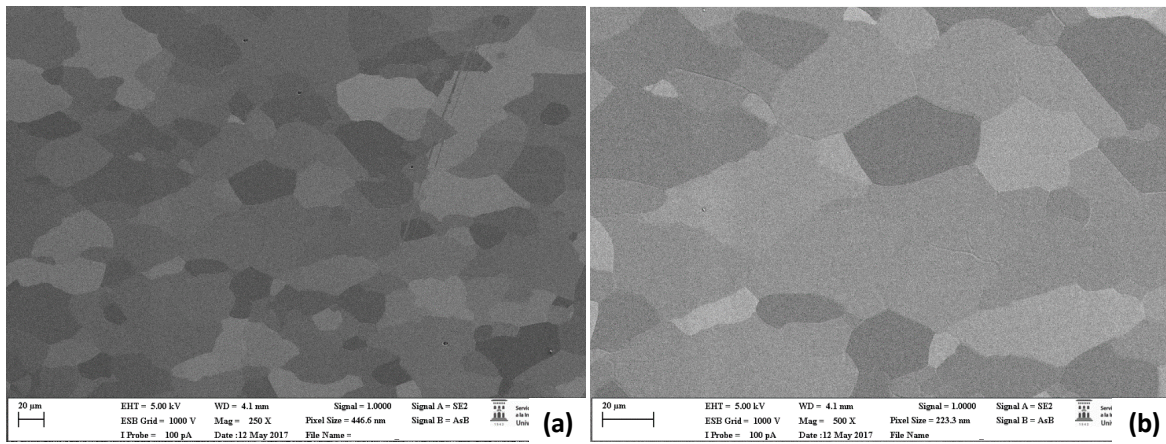
Ni-%5W şeride ait $2\theta=5-70^\circ$ aralığında alınan X ışını kırınım deseni, Şekil 4.3'te verilmektedir. Kırınım deseninde $2\theta=51,43^\circ$ 'de yüzey merkezli kübik yapıya ait 002 piki elde edildi. Bu pikin elde edilmesi c yönünde kristalografik yönelenmeyi göstermektedir.



Şekil 4.3. Ni-%5W altlığı ait X ışını kırınım deseni

Elde edilen kırınım deseninden, şeridin kristalografik yapısı incelenerek tanecik büyüklüğü 5,44 nm, kübik yapı örgü parametresi $a=3,55 \text{ Å}$ olarak hesaplandı.

Resim 4.2'deki Ni-%5W şeridin SEM görüntüleri incelendiğinde, tanecik sınırları belirgin olarak görülmektedir. Taneciklerin farklı renklerde görülmesi, bu bölgelerdeki kristal yönelimlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Yapı içerisinde safsızlıkların bulunmadığı ve yüzeyin homojen olduğu görülmektedir. Altlık yüzeyinde tane sınırlarındaki derinleşmeler ve tanecik boyutu yapılacak kaplamanın kalitesini etkilemektedir. Tanecik boyutu küçüldükçe, tanecik sayısı ve sınırı artmakta, tane sınırlarında çökelti oluşacağından, kaplamanın kalitesi düşmektedir [45]. Bu nedenle yüzeyin düzgün, tanelerin büyük, tane sınırlarının belirgin olmaması istenmektedir.



Resim 4.2. Ni-%5W altlığa ait SEM görüntüleri (a) x250 büyütme, (b) x500 büyütme

4.1.2. Tampon katmanın kaplanması

Ni-%5W şerit ile süperiletken katman arasında reaksiyonu önlemesi, örgü kusurlarını azaltması, Ni-%5W şeritte meydana gelebilecek oksitlenmeyi yavaşlatması ve şeritteki kristalografik yönelmeyi bir üst katmana taşıyabilmesi için, şeritler tampon katman ile kaplandı. $(\text{Gd}_{0.9}\text{Ho}_{0.1})_2\text{O}_3$ oksit katman seçilmesinin nedeni altlık ile YBCO arasında uyumlu bir tampon katman oluşturmaktır [89, 90].

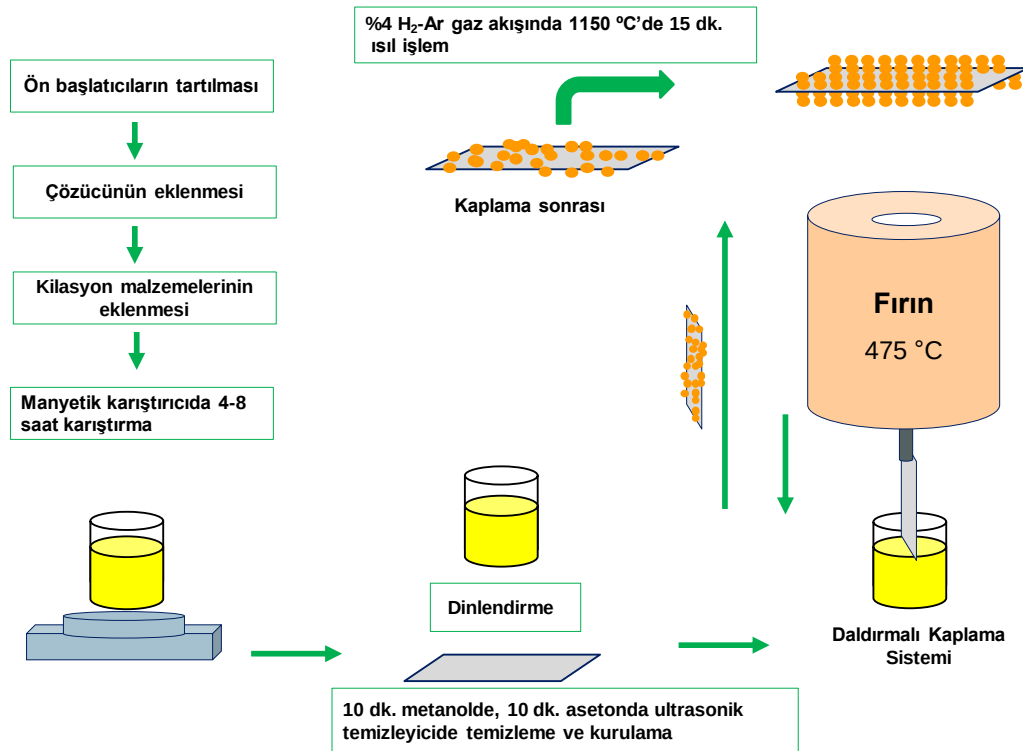
Kaplamada kullanılacak çözelti sol-jel yöntemi ile hazırlandı. Sol-jel yöntemi, organometalik bileşiklerin, uygun çözücü içerisinde çözünerek homojen bir çözeltinin hazırlanmasıdır [80]. Başlangıç malzemesi olarak Gadolinyum 2, 4 pentadionat $(\text{Gd}(\text{CH}_3\text{COCHCOCH}_3)_3)$ ve Holmiyum 2, 4 pentadionat $(\text{Ho}(\text{CH}_3\text{COCHCOCH}_3)_3)$, çözücü olarak metanol (CH_3OH) , kilasyon malzemesi olarak glasiyel asetik asit (CH_3COOH) ve asetil aseton $(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2)$ kullanıldı. Çözeltide kullanılan malzemeler ve miktarları Çizelge 4.1

de verilmektedir. Çözeltide kullanılan ön başlatıcılar 1/10000 hassasiyetli terazide tartıldı.

Çizelge 4.1. $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})_2\text{O}_3$ çözeltisi hazırlamak için kullanılan malzemeler ve oranları

İşlev	Malzeme	Miktar
Başlangıç malzemesi	Gadolinium (III) 2, 4 pentadionat hidrat (saflık %99,9)	2,7 gr
	Holmiyum (III) 2, 4 pentadionat (saflık %99,9)	0,3 gr
Çözücü	Metanol	90 ml
Kilasyon Malzemesi	Glasiyel asetik asit (saflık %100)	1,2 gr
	Asetil aseton (saflık $\geq$ %99,9)	3,6 gr

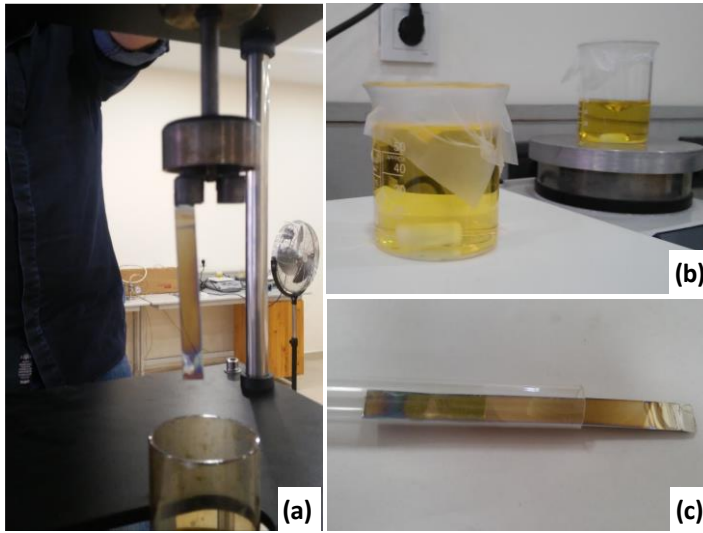
Çözeltiye çözücü ve kilasyon malzemeleri eklendikten sonra, çözelti manyetik karıştırıcıda 6-8 saat arasında berrak sarı çözelti elde edilene kadar karıştırıldı (Resim 4.3 (b)). Çözeltilerin pH değerinin 4,5 ile 5,5 arasında olması göz önünde bulunduruldu. Çözelti hazırladıktan sonra dinlendirilerek kaplanacak hale getirildi. Şekil 4.4'te tampon katman oluşturma işlem basamakları diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.4. Tampon katman oluşturma işlem basamakları diyagramı

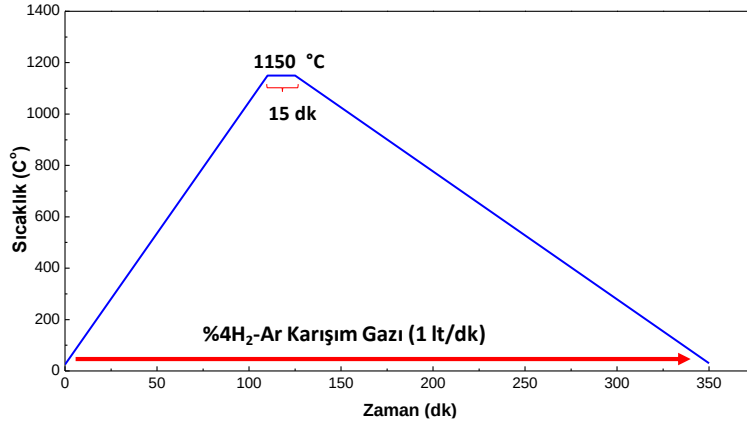
Kaplama için programlanabilir daldırma kaplama sistemi kullanıldı. Ni-%5W şeritler

kaplama kabına göre 80 mm olacak şekilde kesildikten sonra, oda sıcaklığında, ultrasonik temizleyici ile 10 dk. aseton ve 10 dk. metanol içinde temizlendi. Şeritler bekletilmeden kurulanıp kaplamaya alındı. Ni-%5W şerit, çözelti içerisinde daldırılarak, daldırılmalı sistemde sabit hızla yukarı çekildi. Fırının kurutma sıcaklığı 475 °C olarak ayarlandı. Şerit, çözeltiden yukarı doğru çekildiğinde, çözeltinin viskozitesine bağlı olarak sıvının bir kısmı yerçekimi kuvveti nedeniyle aşağıya doğru akmaktadır. Örnek fırın içerisine girene kadar çözeltideki çözücüler ve kilasyon malzemelerinin bir kısmı buharlaşarak ortamdan uzaklaşmaktadır. Örnek fırın içerisine girdiğinde ise organometalikler yanarak örnek üzerinde $(Gd_{0,9}Ho_{0,1})_2O_3$ kalmaktadır. Örnek fırının üst bölgesine geldiğinde oksit katmanının oluşumu gerçekleşmektedir. Resim 4.3 (a)'da altlığın kaplanması, (b)'de kullanılan berrak çözelti ve (c)'de kaplama sonrası şeridin görünümü verilmektedir.



Resim 4.3. (a) Altlığın kaplanması, (b) Kullanılan çözelti, (c) Kaplama sonrası şeridin görünümü

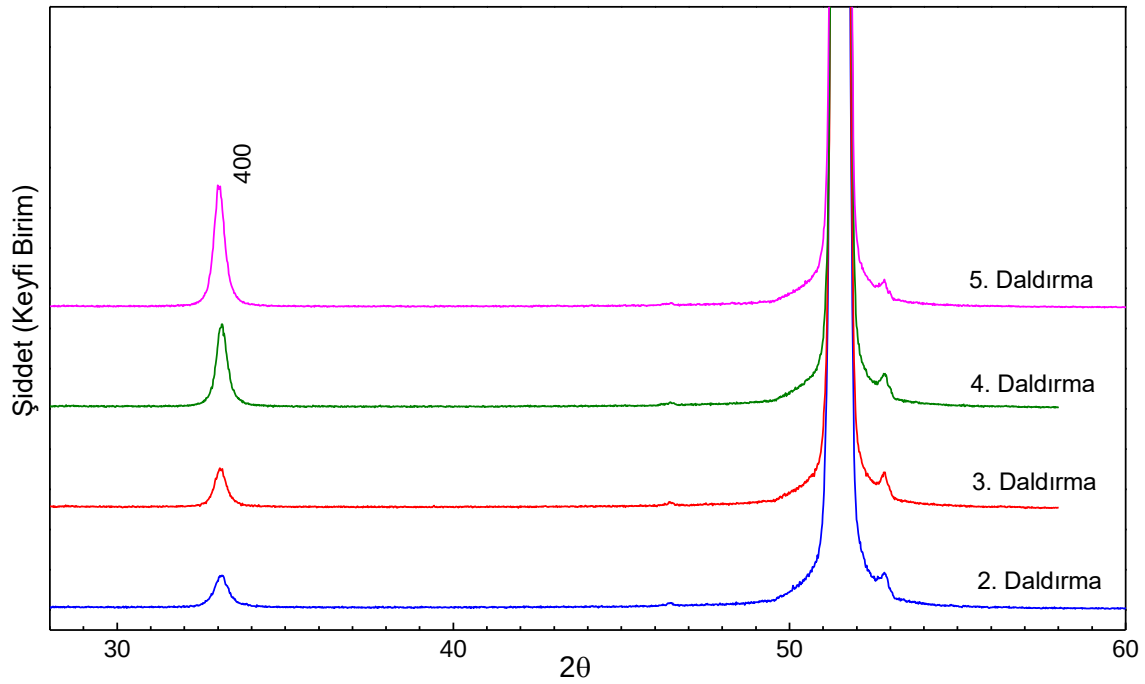
Kaplamada önemli faktörlerden biri, her daldırmadan sonra, örneğe ısı işlem yapma gerekliliğidir. Her kaplamadan sonra ısı işlem yapıldığında altlık ile kaplama arasındaki bağlanma kuvveti arttığından çatlaklar oluşmamaktadır. Kaplama sonrası yapılan tampon katmana ait ısı işlem basamakları Şekil 4.5'te görülmektedir. Örnekler, 11 cm uzunluğunda 11 mm çapında olan kuvars tüpler içinde, yüksek sıcaklık fırınının sabit sıcaklık bölgesine yerleştirildi. Isıl işlem, örneklerin daha fazla oksitlenmemesi için %4H₂-Ar karışım gaz ortamında, 1150 °C'de 15 dk. beklenerek gerçekleştirildi. Isıl işlem sonrası örnekler, oda sıcaklığına gelinceye kadar gaz ortamında kendiliğinden soğumaya bırakıldı.



Şekil 4.5. Tampon katmana ait ısıtım işlem basamakları

4.1.3. Tampon katmanın analizi

(Gd_{0,9}Ho_{0,1})₂O₃ çözeltisiyle yapılan her daldırma ve ısıtım işlem sonrası, örneklerden X ışını kırınım analizi ve SEM görüntüleri alınarak uygun tampon katman kaplama sayısı bulundu. Daldırma sayısına göre ısıtım işlem sonrası örneklerden alınan X ışını kırınım desenleri Şekil 4.6'da görülmektedir.



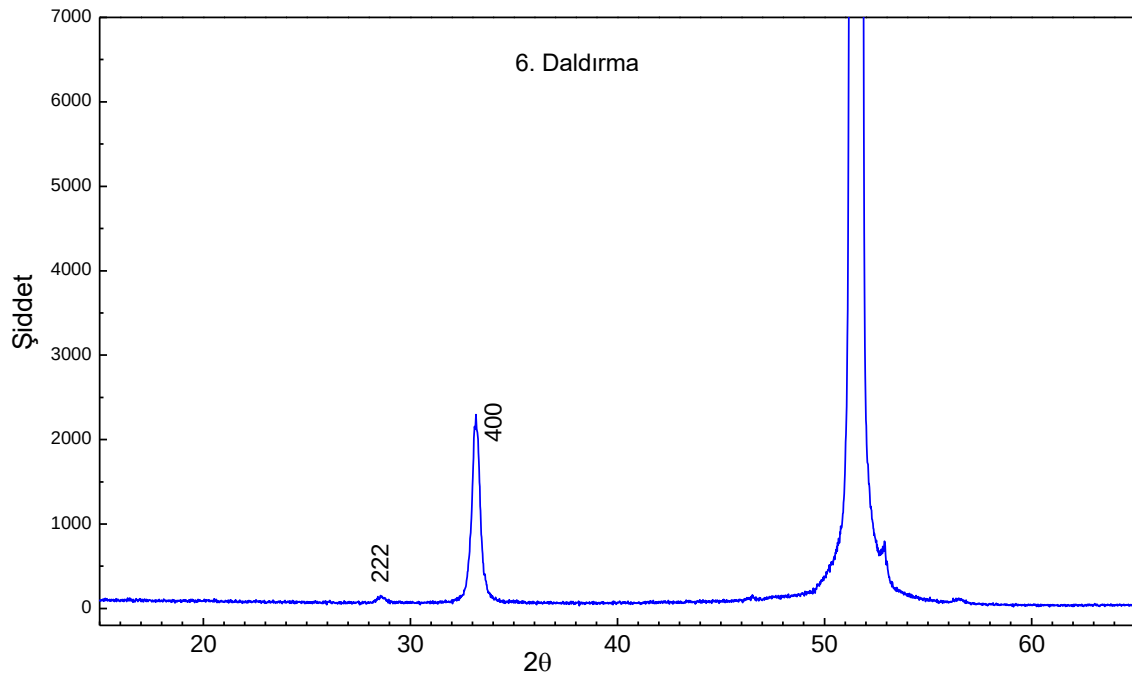
Şekil 4.6. (Gd_{0,9}Ho_{0,1})₂O₃ tampon katmana ait daldırma sayısına göre alınan X ışını kırınım desenleri

X ışını kırınım desenleri incelendiğinde, $2\theta=33,07^\circ$ 'de 400 pikinin ortaya çıktığı ve daldırma sayısının artmasıyla pikin şiddetinin arttığı görülmektedir. Başka pik çıkmamış olması kristalografik yönelmenin olduğunu göstermektedir. Elde edilen X ışını kırınım desenlerinden her bir daldırma için kristal büyüklüğü ve örgü parametresi hesaplandı. Tampon katmana ait X ışını kırınım desenlerinden hesaplanan örgü parametreleri ve kristal büyüklükleri Çizelge 4.2'de verilmektedir. Çizelge 4.2 incelendiğinde kristal büyüklüğü kaplama sayısıyla artmaktadır. Örgü parametrelerinin literatür (ICSD 01-074-8037) ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2. Tampon katmana ait X ışını kırınım desenlerinden hesaplanan örgü parametreleri ve kristal büyüklükleri

	2. Daldırma	3. Daldırma	4. Daldırma	5. Daldırma
Örgü Parametresi (Å)	10,82	10,84	10,82	10,85
Kristal Büyüklüğü (nm)	3,086	3,600	3,988	3,987

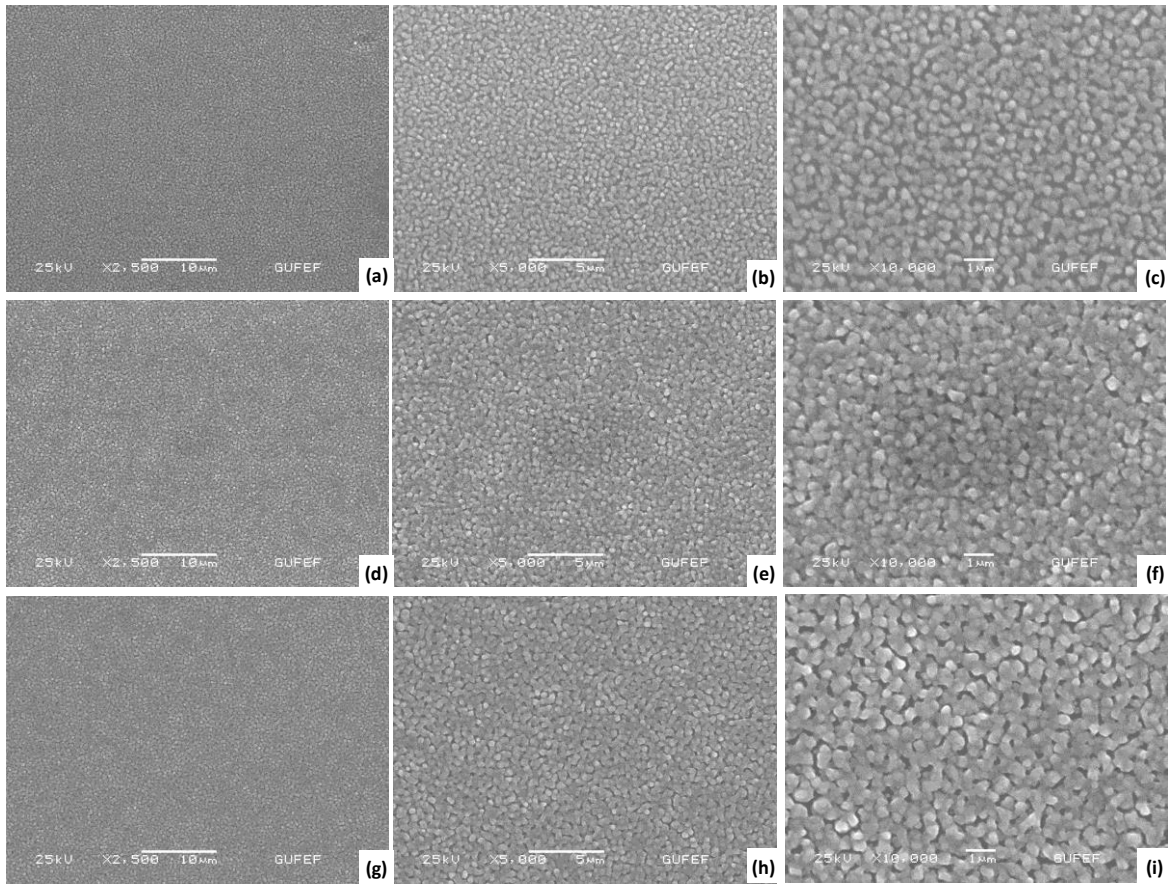
Kaplama sayısının artmasıyla, X ışını kırınım deseninde farklı yönelimlere ait pikler çıkmaktadır. Şekil 4.7'de kaplama işlem basamakları altı kez tekrarlanan örneğe ait X ışını kırınım deseni verilmektedir.



Şekil 4.7. Tampon katman oluşturma işlem basamakları 6 kez tekrarlanan örneğe ait X ışını kırınım deseni

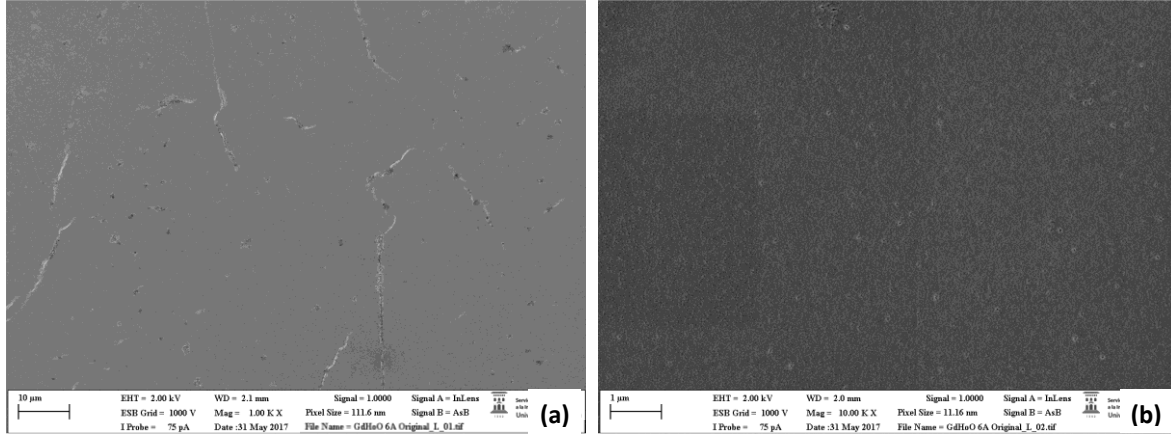
Şekil 4.7 incelendiğinde $2\theta = 33,07^\circ$ 'de ortaya çıkan 400 pikine ek olarak, $2\theta = 28,57^\circ$ 'de 222 düzlemine ait pikin ortaya çıktığı görülmektedir. Ni-%5W altlığa ait c yönünde yönelmenin YBCO katmana aktarılabilmesi için tampon katmanın aynı yönelime sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, X ışını kırınım desenleri dikkate alınarak tampon katman kaplama sayısı beş olarak belirlendi.

Tampon katman, altlık ile süperiletken arasındaki malzeme geçişini engellemesi ve YBCO'nun yüzeyde düzgün bir şekilde kristallenmesi için, pürüzsüz, çatlaksız ve yönlendirilmiş olmalıdır. Ayrıca her bir katmanın kaplanması ve ısıtılması, bir sonra kaplanacak katmanın kalitesini etkilemektedir. Resim 4.4'te 3, 4 ve 5 kez kaplama yapılan örneklerle ait, x2500, x5000 ve x10000 büyütme ile alınan SEM görüntüleri bulunmaktadır.



Resim 4.4. Daldırma sayısına göre alınan $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})_2\text{O}_3$ tampon katmana ait SEM görüntüleri, (a)-(c) Üç daldırma sonrası alınan sırasıyla x2500, x5000, x10000 büyütme, (d)-(f) Dört daldırma sonrası alınan sırasıyla x2500, x5000, x10000 büyütme, (g)-(i) Beş daldırma sonrası alınan sırasıyla x2500, x5000, x10000 büyütme

Resim 4.4 incelendiğinde, daldırma sayısının artmasıyla orantılı olarak tane boyutlarının arttığı, yüzeyde çatlak oluşmadığı ve homojen bir yüzey dağılımının olduğu görülmektedir. Resim 4.5'te ise 5. kaplama sonrası x1000 ve x10000 büyütme ile alınan SEM görüntüleri görülmektedir. Resim 4.5 incelendiğinde, 5. kaplama sonrası, tane sınırlarının görüldüğü fakat çok belirgin olmadığı ve yüzeyde homojen bir dağılım olduğu görülmektedir.



Resim 4.5. Kaplama işlemi beş kez tekrarlanan $(\text{Gd}_{0.9}\text{Ho}_{0.1})_2\text{O}_3$ tampon katmana ait SEM görüntüleri (a) x1000 büyütme, (b) x10000 büyütme

Elde edilen sonuçlar, Şekil 4.4'te yer alan işlem basamakları beş kez tekrarlandığında, Ni-%5W şerit üzerinde $(\text{Gd}_{0.9}\text{Ho}_{0.1})_2\text{O}_3$ tampon katmanın başarılı şekilde oluşturulduğunu göstermektedir.

4.1.4. YBCO katmanın kaplanması

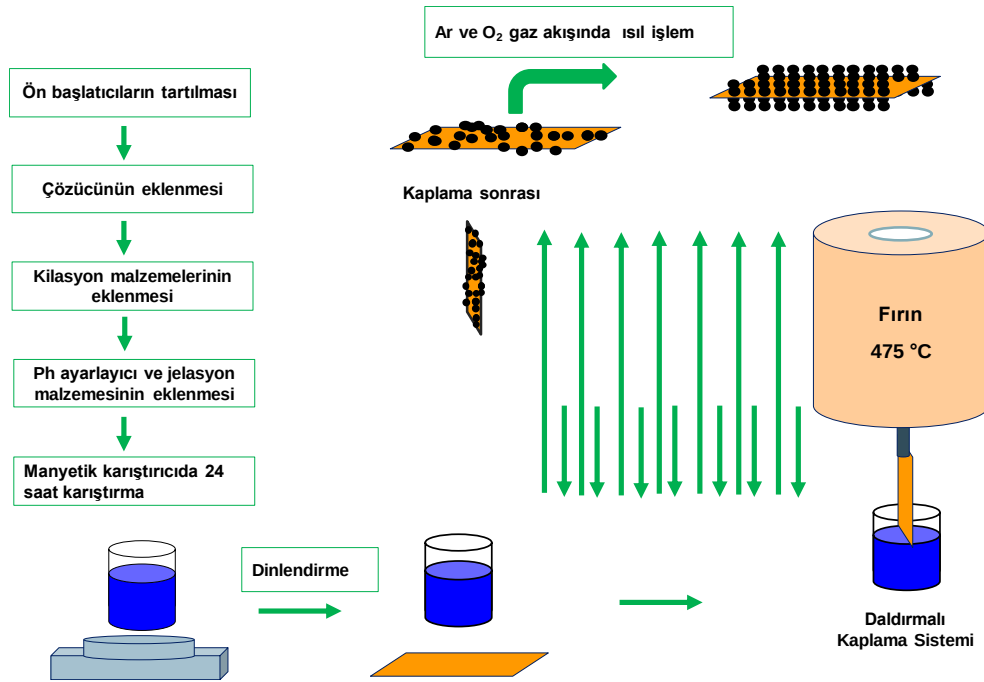
Ni-%5W şerit ve YBCO katman arasında uyumlu tampon katman yönlendirilmiş olarak başarı ile oluşturuldu. Elde edilen şeritler üzerinde YBCO katmanının oluşturulması için sol-jel ve dardırmalı kaplama tekniği kullanıldı.

Kaplamada kullanılan çözeltide ön başlatıcı olarak, yitrium(III) asetat hidrat ($\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_6\text{Y} \cdot x\text{H}_2\text{O}$), baryum asetat ($\text{Ba}(\text{OOCCH}_3)_2$) ve bakır asetat ($\text{Cu}(\text{OOCCH}_3)_2$), çözücü olarak metanol (CH_3OH), kilasyon malzemesi olarak glasiyel asetik asit (CH_3COOH), jelasyon malzemesi ve pH düzenleyici olarak trietanolamin ($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) kullanıldı. Çözeltide kullanılan malzemeler ve miktarları Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3. YBCO çözeltisi hazırlamak için kullanılan malzemeler ve oranları

İşlev	Malzeme	Oran
Başlangıç malzemesi	Yttriyum (III) asetat hidrat (safılık %99,9)	0,3325 gr
	Baryum asetat (safılık %99,999)	0,6386 gr
	Bakır asetat (safılık %99,999)	0,6811 gr
Çözücü	Metanol	20 ml
Kilasyon Malzemesi	Glasiyel asetik asit (safılık %100)	15 ml
Jelasyon malzemesi ve pH ayarlayıcı	Trietanolamin (safılık $\geq$ %99)	8 ml

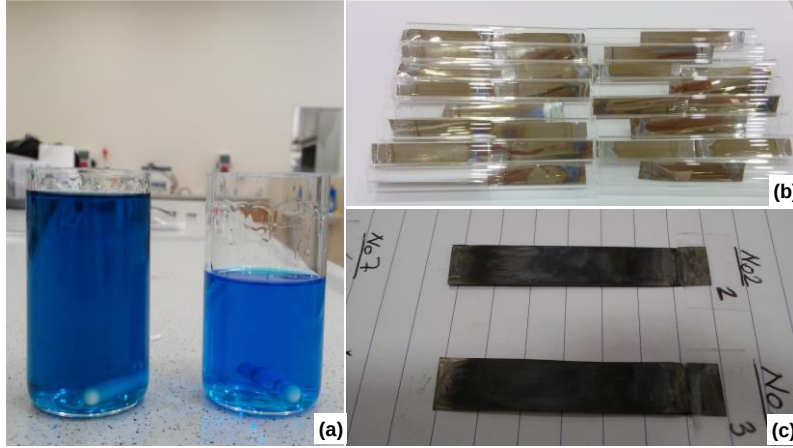
Çözeltiler hazırlanırken ön başlatıcılar 1/10000 hassasiyetli terazide tartıldı. Çözeltiye uygun çözücü, kilasyon ve jelasyon malzemesi ilave edildikten sonra, çözelti 24 saat berrak mavi çözelti elde edilene kadar manyetik karıştırıcıda karıştırıldı (Resim 4.6. (a)). Çözelti hazırladıktan sonra dinlendirilerek kaplanacak hale getirildi. Şekil 4.8’de YBCO katman oluşturma işlem basamakları diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.8. YBCO katman oluşturma işlem basamakları diyagramı

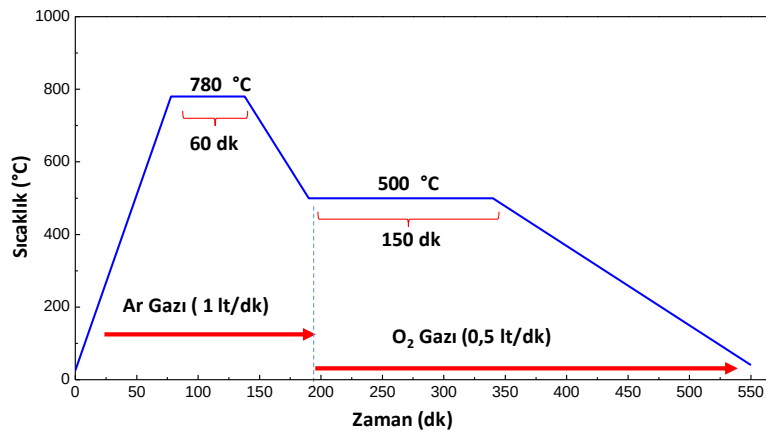
YBCO katman, farklı daldırma sayısı ve çekme hızına göre oluşturulmaya çalışıldı. 80 cm/dk. ve 20 cm/dk. olmak üzere sırasıyla hız-1 ve hız-2 olarak iki farklı çekme hızı kullanıldı. Tampon katmanlı Ni-%5W şerit, çözelti içerisine daldırıldıktan sonra yukarı doğru çekilerek 475 °C’de ön kurutma yapıldı. YBCO katman kaplanırken her daldırmadan

sonra ısıtma işlemi yapma gerekliliği olmadığından, farklı daldırma sayısına sahip örnekler hazırlanarak, ısıtma işlemi yapıldı. Hangi hız ve hangi daldırma sayısının yapı için uygun olduğu, X ışını kırınım analizleri ve SEM görüntüleri ile tespit edildi. Resim 4.6 (a)'da hazırlanan berrak YBCO çözelti, (b)'de kaplama öncesi şeritlerin görüntüsü, (c)'de ise kaplama sonrası şeritlerin görüntüsü verilmektedir.



Resim 4.6. (a) YBCO çözelti, (b) Kaplama öncesi şeritlerin görüntüsü, (c) Kaplama sonrası şeritlerin görüntüsü

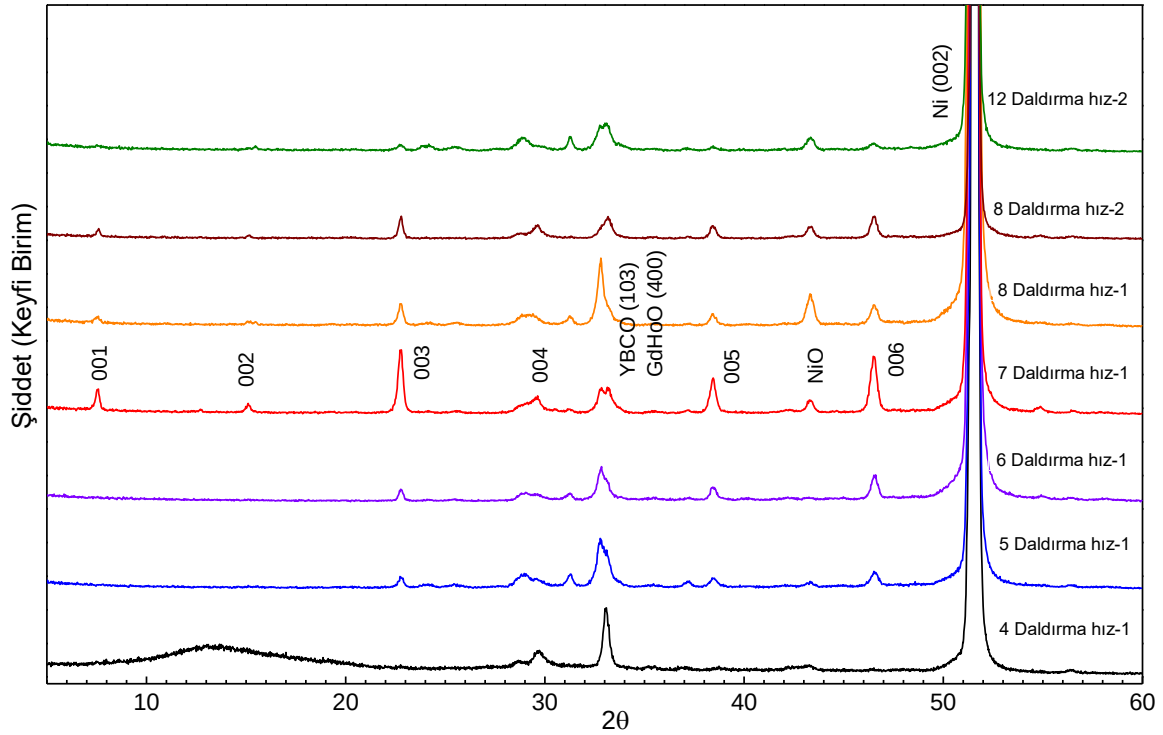
Farklı hız ve daldırma sayısına sahip örnekler, 11 cm uzunluğunda 11 mm çapında kuvars tüplere konularak yüksek sıcaklık fırınına yerleştirildi. Örnekler, 500 ve 780 °C sıcaklıklarda, farklı zaman aralıklarında ısıtma işlemi yapıldı (Şekil 4.9). Fırın, Ar gaz ortamında 780 °C'ye çıkarılıp, 60 dk. bekletilerek, 500 °C'ye soğutuldu. 500 °C'de O₂ gazı verilip, Ar gazı kesildi ve 150 dk. bekletilerek ısıtma işlemi tamamlandı. Isıtma işlemi sonrası örnekler, oda sıcaklığına inene kadar O₂ gaz ortamında kendiliğinden soğumaya bırakıldı.



Şekil 4.9. YBCO katmana ait ısıtma işlem basamakları

4.1.5. YBCO katmanının analizi

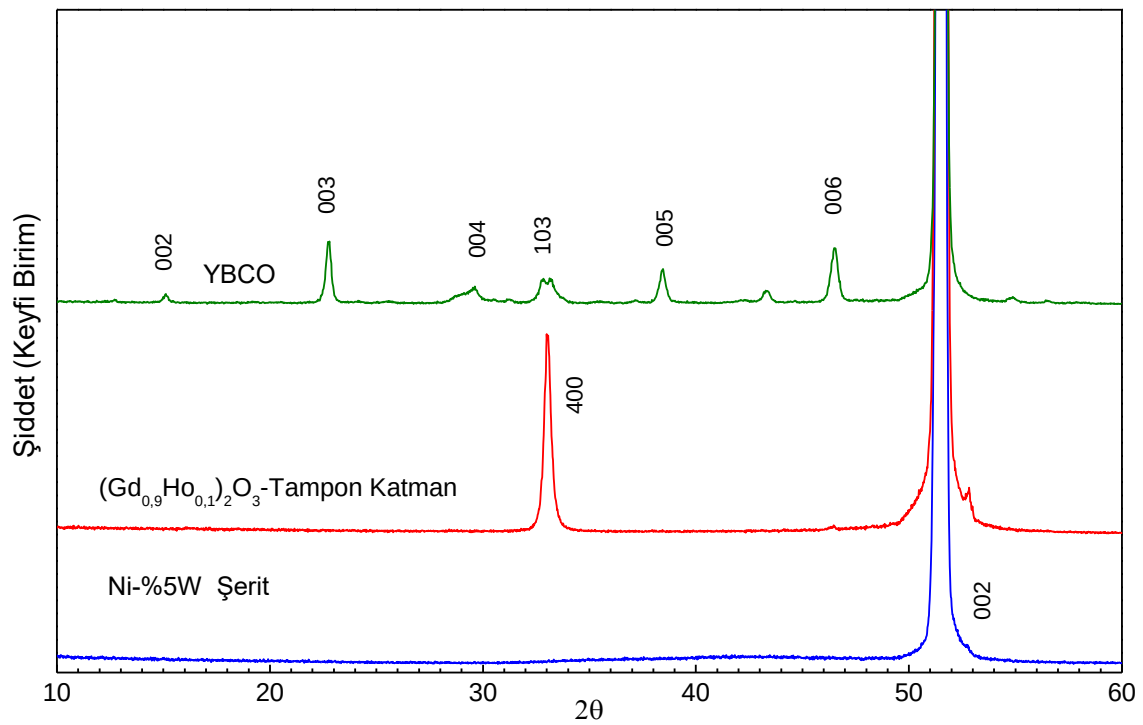
Isıl işlem sonrası örnekler, X ışını kırınım analizi ve SEM görüntüleri ile karakterize edildi. Kaplama sayısı ve çekme hızını belirlemek için $2\theta=5-60^\circ$ arasında alınan X ışını kırınım desenleri Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. YBCO şeritlere ait, daldırma sayısı ve çekme hızına göre alınan X ışını kırınım desenleri

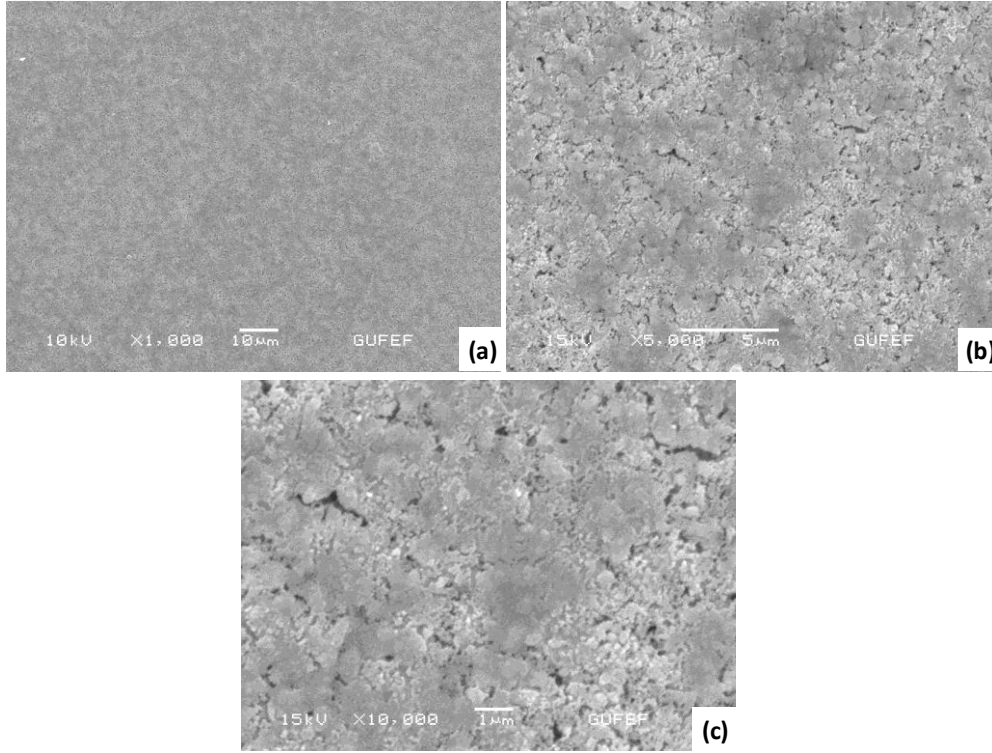
Şekil 4.10 incelendiğinde, hız-1 örnek setine ait X ışını kırınım desenlerinde, c-ekseninde YBCO pikleri 5. daldırmadan sonra ortaya çıkmaktadır. 7 Daldırma ile elde edilen piklerin daha keskin ve şiddetli oldukları görülmektedir. Elde edilen pikler incelendiğinde şeridin, yapısal olarak 00l yönelimli olduğu, (001), (002), (003), (004), (005) ve (006) düzlemlerinden yansıyan piklere sahip olduğu belirlendi. Örnekler, ortorombik YBCO fazında ve 00l yönünde yönlendirilmiştir. 7 daldırma için elde edilen kırınım deseninden, şeridin kristalografik yapısı incelenerek tanecik büyüklüğü 4,83 nm, ortorombik yapı ($a \neq b \neq c$) örgü parametresi $c=11,72 \text{ Å}$ olarak hesaplandı. Hız-1 parametresi için daldırma sayısı 8 olduğunda pik şiddetlerinde azalma görülmekte, yapı bozulmaktadır. Çekme hızı azaltılarak hazırlanan hız-2 örneklerine ait X ışını kırınım desenlerinde, 8 daldırmada yapının oluşmaya başladığı ama istenen kalitede olmadığı, daldırma sayısının artmasıyla, 12

daldırma yapılan örnekte yapının bozulduğu görülmektedir. Bu nedenle kaplama işlemi, 80 cm/dk. çekme hızı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.11’de Ni-%5W altlık, tampon katman ve YBCO katmana ait $2\theta=10-60^\circ$ aralığında alınan X ışını kırınım desenleri görülmektedir. $2\theta=33,07^\circ$ de hem YBCO (103), hem de $(\text{Gd}_{0,9}\text{Ho}_{0,1})_2\text{O}_3$ tampon katmanın (400) piki bulunmaktadır. YBCO’ya ait en şiddetli pik $2\theta=22,7^\circ$ de yer alan 003 pikidir. Üç katmana ait X ışını kırınım desenleri incelendiğinde, 00l yönelimli Ni-%5W altlık üzerinde oluşturulan tampon katmanın 00l yönelimli olduğu, tampon katman üzerine kaplanan YBCO’nunda 00l yönelimli olarak oluşturulduğu görülmektedir.



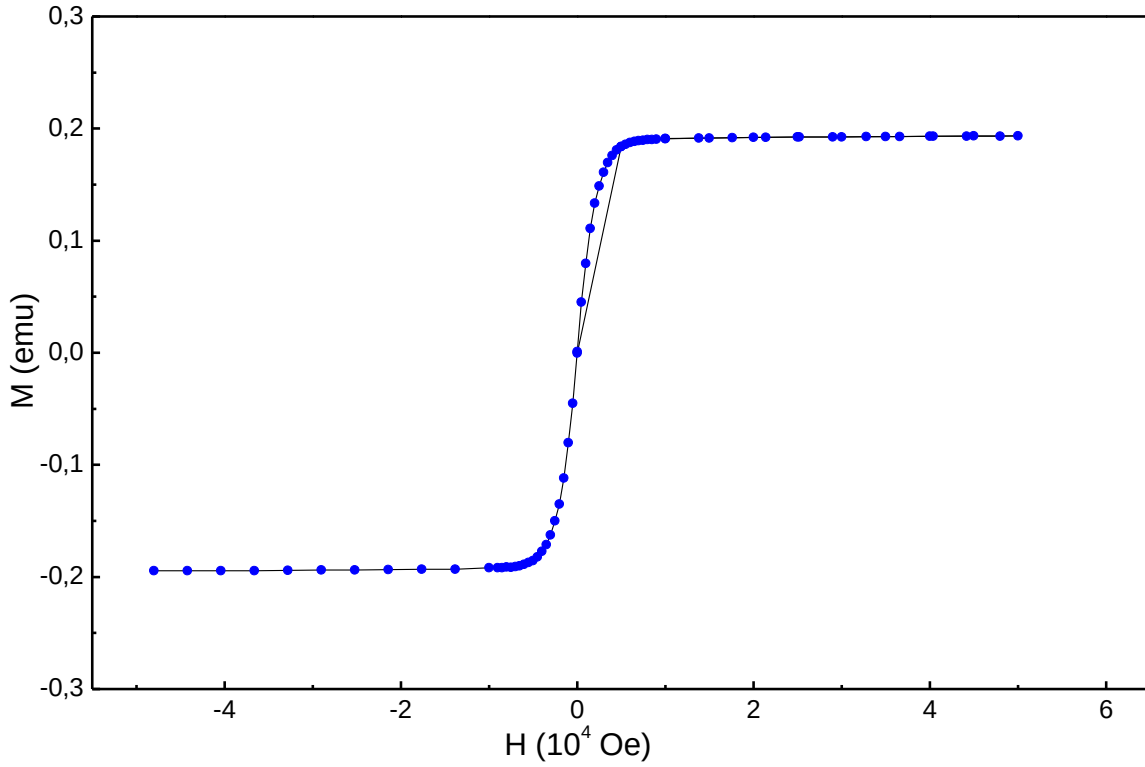
Şekil 4.11. Ni-%5W altlık, tampon katman ve YBCO katmana ait X ışını kırınım desenleri

Resim 4.7’de, yedi kez kaplanan YBCO katmana ait, x1000, x5000 ve x10000 büyütme ile alınan SEM görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde, farklı büyüklüklerde taneciklerden oluştuğu, yüzeyde homojen bir dağılım olduğu, kaplama kaynaklı çökeltilerin oluşmadığı gözlemlendi. Üretilen YBCO şeritlerin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ve XRD sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu görüldü [91, 92].



Resim 4.7. YBCO katmana ait SEM görüntüleri (a) x1000 büyütme, (b) x5000 büyütme, (c) x10000 büyütme

Belirlenen üretim parametreleri kullanılarak YBCO şeritler üretildi. Bu şeritlerin süperiletkenlik özelliklerinin araştırılması için 15 K'de, 0-5 T arasında manyetizasyon ölçümleri yapıldı. Üretilen YBCO şeride ait M-H döngüsü Şekil 4.12'de verilmektedir. Manyetizasyon döngüsünde ferromanyetik özellik baskın görünmektedir. Bunun nedeni, altlık olarak kullanılan Ni-%5W alaşımın manyetik bir malzeme olması ve yapılan manyetizasyon ölçümü sonucunu etkilemesidir. Lazer ile kusur oluşturulacak örneklerin süperiletkenlik özellikleri manyetizasyon ölçümü ile araştırılacağından, kusurların manyetik özelliklere etkisi konusunda üretilen şeritlerin belirsizlik yaratabileceği düşünülerek bu örnekler lazer işlemlerinde kullanılamamıştır. Çalışmanın amacı; lazer ile oluşturulacak kontrollü ve düzenli kusurların süperiletken özellikler üzerindeki etkisini araştırmak olduğundan, lazer etkilerini geri plana atabilecek, malzemeden gelen belirsizlikleri azaltmak için ticarileşen standart YBCO şerit temin edilmiştir.

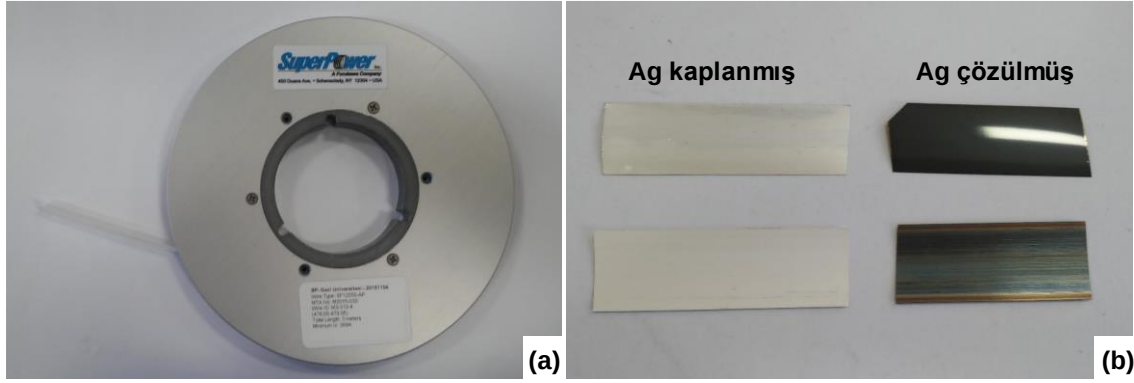


Şekil 4.12. Üretilen YBCO şeride ait M-H döngüsü

4.2. Standart YBCO Şeridin Analizi

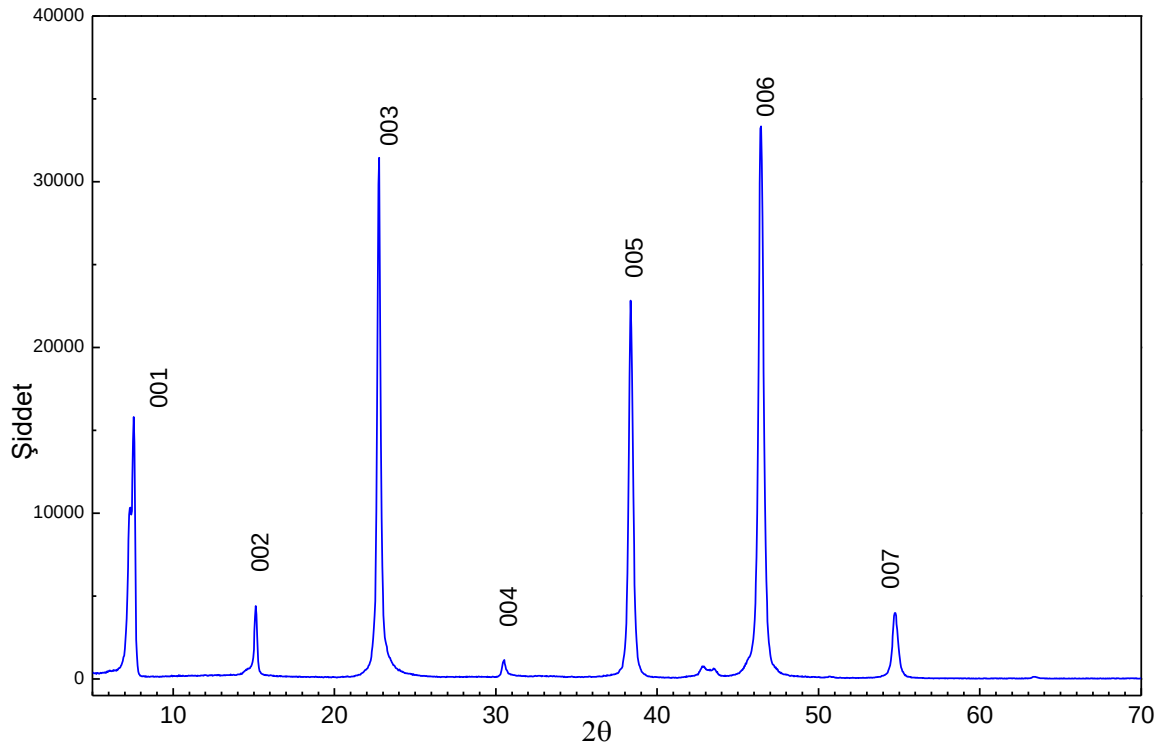
Ticarileşen standart SF 12050 YBCO şerit Superpower firmasından temin edilmiştir. SF 12050 süperiletken hazır şerit, 50 µm kalınlıkta hastelloy C276 altlık, toplam kalınlığı 1,5-2 µm olmak üzere Al₂O₃, Y₂O₃, MgO ve LMO tampon katman, 1,5 µm kalınlığında YBCO ve en üst katman da 2 µm kalınlığında gümüşten oluşmaktadır.

YBCO üzerinde lazerle kusur oluşturabilmek için yüzeydeki Ag katman çözülerek temizlenmiştir. Çözücü olarak, %90 NH₃+%10 H₂O₂ çözeltisi kullanılarak Ag katman çözülmüştür. Standart YBCO şeridin görüntüsü ve Ag katmanın çözülmesi sonrası görüntüleri Resim 4.8’de yer almaktadır. Ag katmandan arındırılan şeritlerin yüzeyi ve yapısı SEM görüntüleri ve X ışını kırınım deseni alınarak analiz edilmiştir.



Resim 4.8. a) Hazır temin edilen süperiletken şerit, b) Şeridin Ag kaplamalı ve Ag çözülmüş görüntüsü

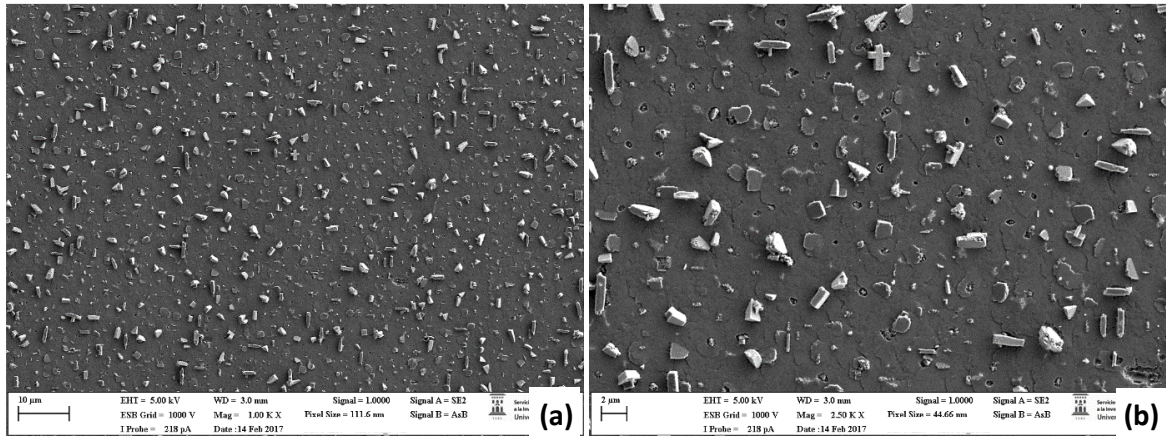
Şekil 4.13'te verilen $2\theta=5-70^\circ$ aralığında alınan X ışını kırınım deseni incelendiğinde, yönlendirilmiş YBCO'ya ait $00l$ pikleri görülmektedir. Hazır şerit c yönelimli olup, (001), (002), (003), (004), (005), (006) ve (007) düzlemlerinden yansıyan piklere sahiptir. YBCO'ya ait en şiddetli pik, $2\theta=46,5^\circ$ 'de yer alan 006 pikidir. X ışını kırınım deseninde Ag'ye ait ölçülebilecek seviyede herhangi bir pik bulunmamaktadır.



Şekil 4.13. Standart şeride ait X ışını kırınım deseni

Elde edilen kırınım deseninden, şeridin kristalografik yapısı incelenerek, tanecik büyüklüğü

4,14 nm, ortorombik yapı ($a \neq b \neq c$) örgü parametresi $c=11,71 \text{ \AA}$ olarak hesaplanmıştır. Şeride ait x1000, x2500 büyütme ile alınan SEM görüntüleri Resim 4.9'da verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde, yüzeyde homojen bir dağılım olduğu görülmektedir. Yapılan EDS analizinde, yapı içerisinde Ag eser miktarda olup, yüzeyde görülen beyaz parçacıklarda Cu ve O miktarı artmaktadır. Literatür incelendiğinde, elde edilen yüzey görüntüleri YBCO için karakteristiktir. Literatürle uyumlu olan EDS sonuçlarına göre yüzeydeki parçacıkların akımın akışına etkisi olmadığı düşünülmektedir [93, 94].



Resim 4.9. Standart şeride ait SEM görüntüleri, (a) x1000 büyütme, (b) x2500 büyütme

4.3. YBCO Şerit Üzerinde Lazerle Kusur Oluşturulması

YBCO süperiletken şeritler üzerine çeşitli lazerler kullanılarak düzenli ve belli geometrilere kusurların yapılabilirliği araştırılmıştır. Zaragoza Üniversitesi Lazer Uygulama Laboratuvarında bulunan ns-IR ve ps-UV lazerler kullanılarak, YBCO şerit üzerine, mikro ölçekte, düzenli kusurlar oluşturulmuştur.

Süperiletken şeritler üzerine, aynı enerji değerlerine sahip noktasal kusurlar yapılarak, iki lazerin etkileri karşılaştırılmıştır. P ; lazerin gücü, f , lazerin frekansı olmak üzere, lazerin bir atımının enerjisi ($\epsilon_{atım}$) Eş.4.1, oluşturulan noktasal kusurun toplam enerjisi ($\sum \epsilon_{deşik}$) Eş 4.2 ve A lazerin etkilediği alan olmak üzere, her bir çizgisel kusur için ortalama enerji yoğunluğu ($Ort. \epsilon_{yoğunluğu}$) Eş 4.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\epsilon_{atım} (J) = \frac{P (J/s)}{f (s^{-1})} \quad (4.1)$$

$$\sum \varepsilon_{deşik} = \varepsilon_{atım} (j) \times Atım Sayısı \quad (4.2)$$

$$Ort. \varepsilon_{yoğunluğu} = \frac{\sum \varepsilon(j)}{\sum A(cm^2)} \quad (4.3)$$

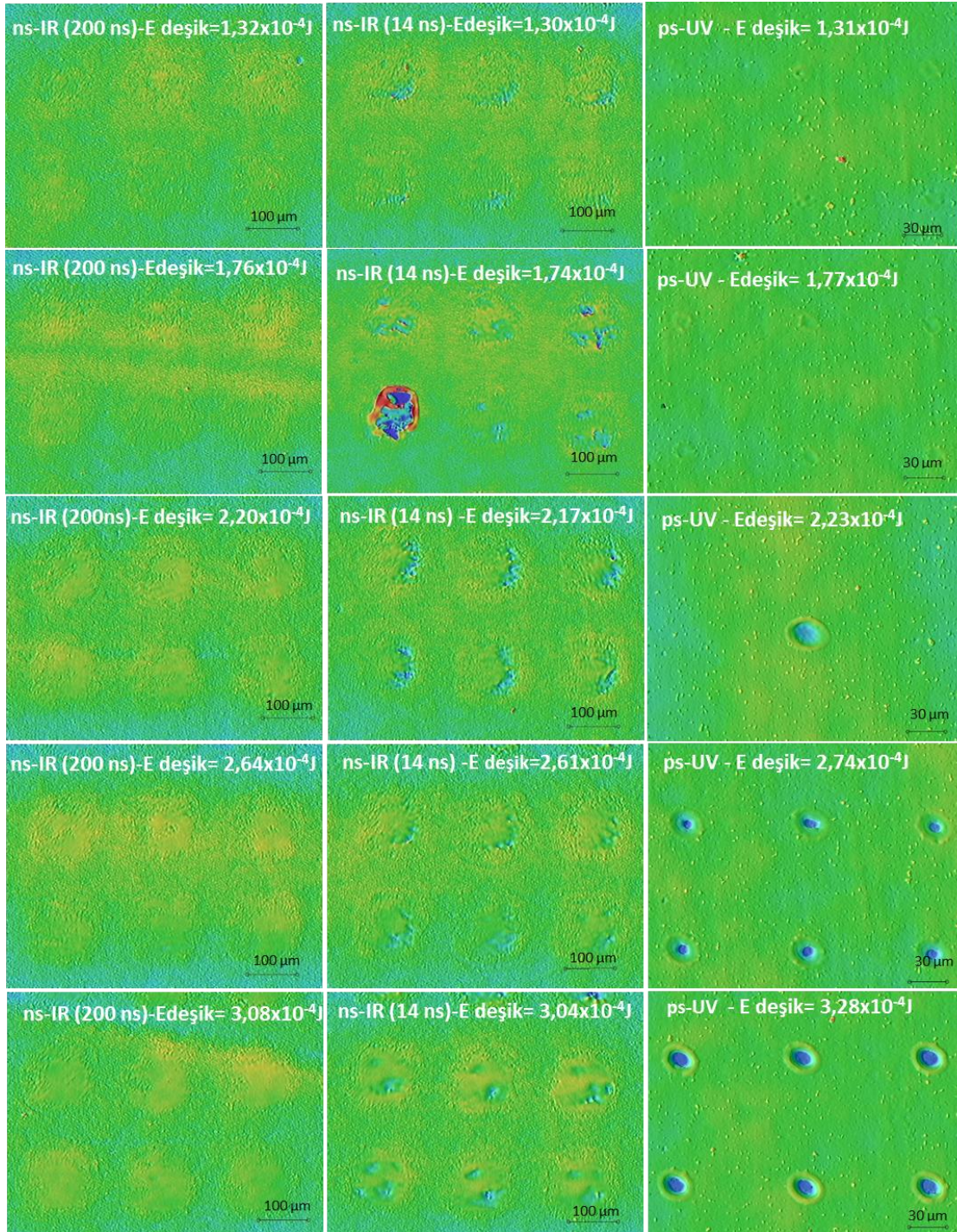
Eş. 4.1, Eş. 4.2 ve Eş. 4.3 kullanılarak hesaplanan enerji değerleri, ns-IR ve ps-UV lazer ile yapılan kusurların lazer parametreleri ve kusurların boyutsal ölçüleri Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4. ns-IR ve ps-UV lazer ile yapılan kusurlara ait parametreler ve hesaplanan enerji değerleri

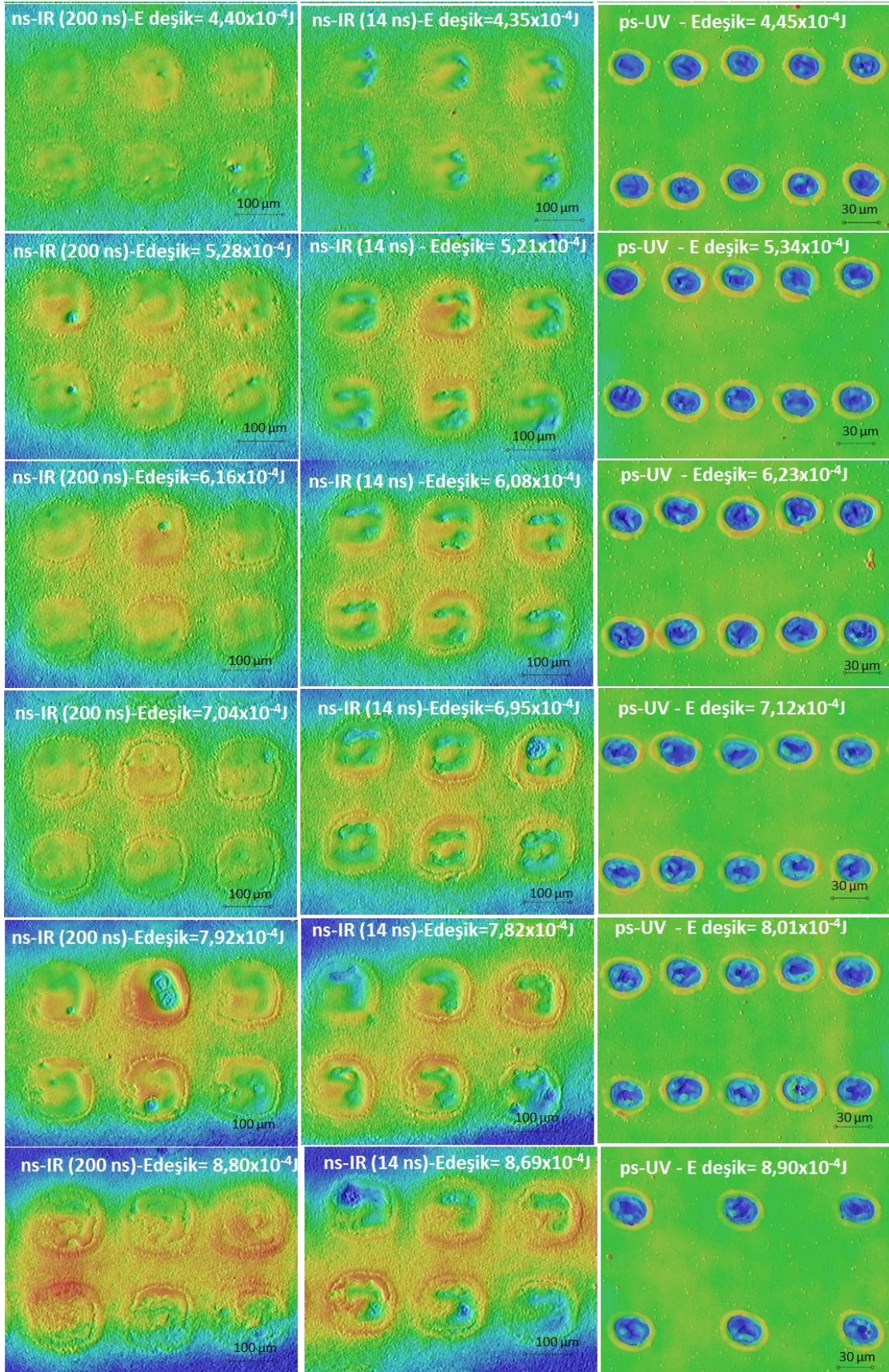
ns IR					ps UV (Atım Aralığı 300 ps)				
Atım Sayısı	Atım Aralığı ns	$\varepsilon_{atım}$ 10^{-5} J	$\sum \varepsilon_{deşik}$ 10^{-4} J	Deşik Çapı μm	Atım Sayısı	$\varepsilon_{atım}$ 10^{-6} J	$\sum \varepsilon_{deşik}$ 10^{-4} J	Deşik Derinliği μm	Deşik Çapı μm
3	14	4,35	1,30	126,99	100	1,31	1,31	0	0
	200	4,40	1,32	127,82					
4	14	4,35	1,74	127,82	50	3,54	1,77	0,098	10,8
	200	4,40	1,76	131,87					
5	14	4,35	2,17	135,29	44	5,08	2,23	1,152	23,2
	200	4,40	2,20	136,95					
6	14	4,35	2,61	138,61	150	1,83	2,74	1,637	17,9
	200	4,40	2,64	139,44					
7	14	4,35	3,04	136,95	250	1,31	3,28	1,314	18,6
	200	4,40	3,08	131,97					
10	14	4,35	4,35	136,12	125	3,56	4,45	2,183	24,9
	200	4,40	4,40	134,46					
12	14	4,35	5,21	136,95	150	3,56	5,34	2,046	26,3
	200	4,40	5,28	135,29					
14	14	4,35	6,08	136,12	175	3,56	6,23	2,475	28,7
	200	4,40	6,16	135,29					
16	14	4,35	6,95	137,78	200	3,56	7,12	3,058	27,5
	200	4,40	7,04	136,95					
18	14	4,35	7,82	136,12	225	3,56	8,01	3,473	28,2
	200	4,40	7,92	133,63					
20	14	4,35	8,69	141,93	250	3,56	8,90	2,716	28,1
	200	4,40	8,80	146,08					

ns-IR ve ps-UV lazerin atım enerjisi ve atım sayısı ile yüzeyde eşit enerjili kusurlar oluşturulmaya çalışılmıştır. Her iki lazerle $1,30 \times 10^{-4}$ - $8,80 \times 10^{-4}$ J/deşik enerji aralığında kusurlar yapılmıştır. ns-IR lazerle aynı enerji seviyesi için iki farklı atım aralığı seçilerek aynı atım sayısında ve enerji aralığında kusur oluşturulmuştur. 14 ns ve 200 ns atım aralığı ile oluşturulan kusurların ölçüleri incelendiğinde, kusur çapları 126-146 μm aralığında

ölçülmüş, yüzeyde düzgün deşik şeklinde kusur oluşturulamadığından derinlik ölçülememiştir. Ps-UV lazer ile yapılan kusurların çapları 0-28 μm aralığında ölçülmüştür. Aynı enerji değeri için ns-IR ve ps-UV lazer ile yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri Resim 4.10'da görülmektedir.

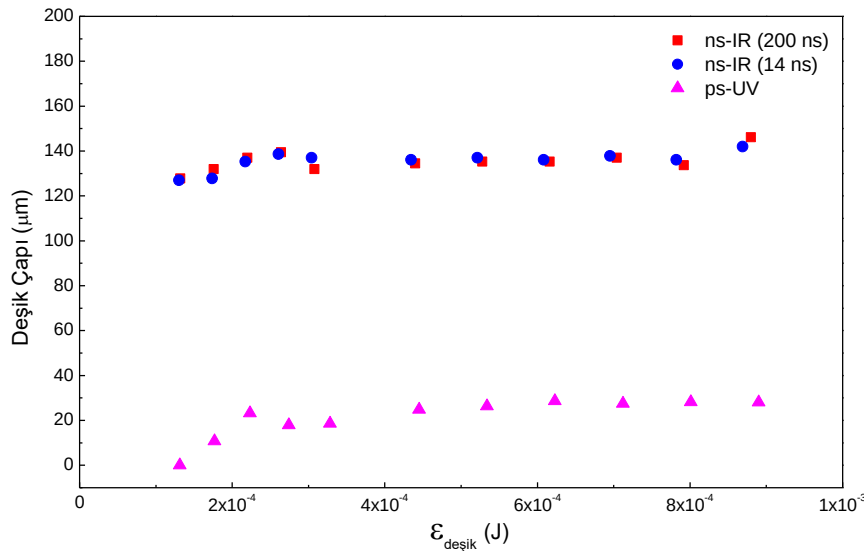


Resim 4.10. Aynı enerji değeri için ns-IR ve ps-UV lazer ile yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri



Resim 4.10. (devam) Aynı enerji değeri için ns-IR ve ps-UV lazer ile yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri

Resim 4.10’da ns-IR ve ps-UV lazer ile yapılan kusur görüntüleri yukarıdan aşağıya artan enerji sırası ile verilmiştir. ns-IR lazer için 14 ns, 200 ns ve ps-UV için 300 ps atım aralığı ile yapılan kusurlar incelendiğinde, atım aralığının azalmasıyla lazerin yüzeydeki etkisinin arttığı görülmektedir. Atım aralığı azaldığında aynı enerji daha kısa sürede yüzeye aktarıldığından lazer ışınının etkisi artmaktadır. Resim 4.10 incelendiğinde, ps-UV lazer ile $1,31 \times 10^{-4}$ J/deşik enerji değerinde, yüzeyde boyutları ölçülebilir kusur oluşmamış, $1,77 \times 10^{-4}$ J/deşik enerji değerinde yüzeyde derinliği ve genişliği ölçülebilen düzgün dağılımlı kusurlar oluşmuştur. ns-IR lazerle yapılan 14 ns ve 200 ns atım aralığına sahip kusurlarda, yüzeyde erime meydana gelmiş, enerjinin artmasıyla deşiklerde malzeme kaybı olmasına rağmen, düzgün dağılımlı kusurlar oluşmamıştır. Her iki lazer ile oluşturulan noktasal kusurların çapları ölçülerek, enerjiye karşı deşik çapı grafikleri Şekil 4.14’te verilmiştir.



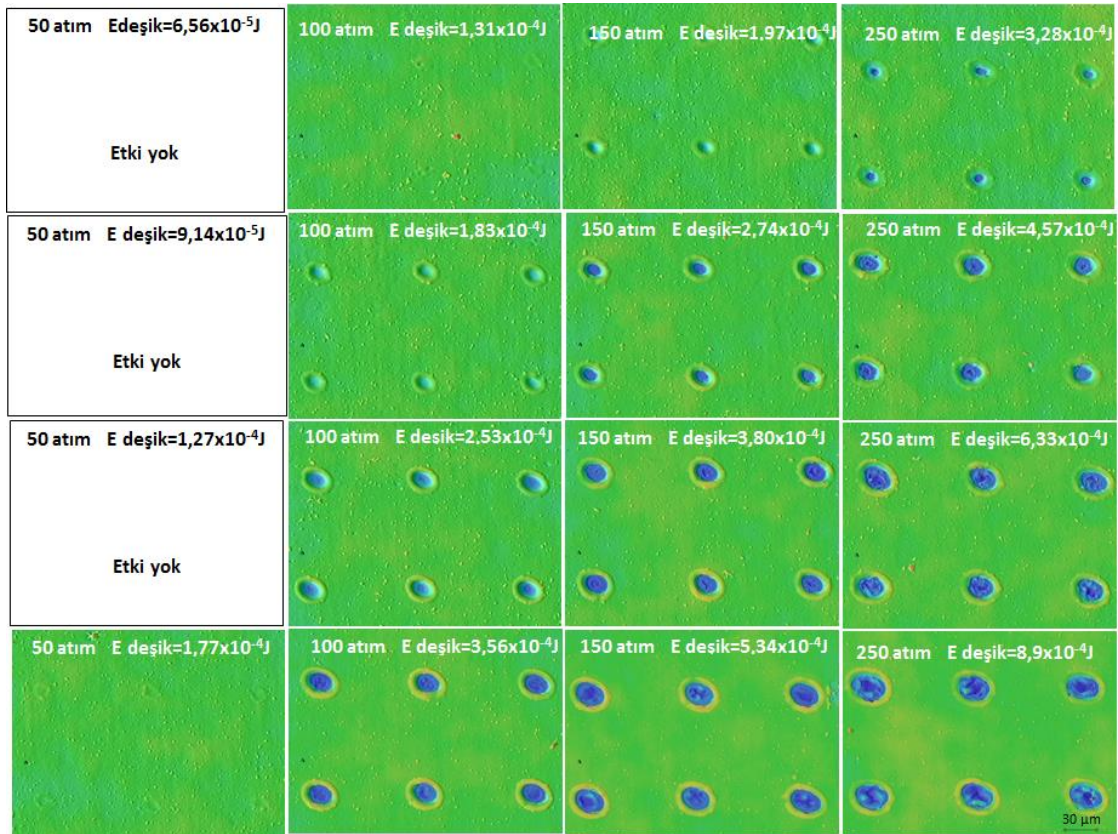
Şekil 4.14. ns-IR ve ps-UV lazer kullanılarak yapılan noktasal kusurlara ait enerjiye karşı deşik çapı grafiği

ns-IR lazer ile oluşturulan kusurların çapı 126 µm civarında olup, enerjinin artmasıyla çap 135-146 µm aralığına çıkmaktadır. 14 ns ve 200 ns atım aralığına sahip örneklerin deşik çapları değişimi aynı eğilimdedir. Enerjinin artmasıyla deşik çapının arttığı belli bir değerden sonra değişmediği görülmektedir. ps-UV lazer ile yapılan deşiklerin çapının enerjinin artmasıyla arttığı, 2×10^{-4} J/deşik seviyesinden sonra 25-30 µm aralığında olduğu görülmüştür. ns-IR lazer ile yapılan kusurlarda yüzeyde erime meydana gelmesi malzemede termal etkileşim olduğunu göstermektedir. Her iki lazer ile yüzeye verilen enerji aynı olmasına rağmen, malzeme ve lazer etkileşim süreleri farklı olduğundan lazerlerin

yüzeydeki etkileri farklı olmuştur. Atım aralığının azalmasıyla, yüzeyde sınırları belirli ve homojen kusur oluşturma oranı artmaktadır. ns-IR Lazer ile yüzeyde değişik şeklinde bir kusur oluşturulamamıştır. Ps-UV lazerle ise 10-30 μm çapında derinliği ölçülebilen düzgün dağılımlı kusurlar oluşturulabilmektedir. Bu nedenle kusur oluşturmak için ps-UV lazer kullanılmıştır. ps-UV Lazer ile noktasal, çizgisel ve dairesel olmak üzere üç farklı desende kusur oluşturabilmek mümkündür. Ps-UV lazer kullanılarak YBCO katmanda, çivileme merkezleri yerine geçebilecek düzenli kusurlar oluşturulmaya çalışılmıştır.

4.3.1. ps-UV lazer ile noktasal kusur oluşturma ve analizi

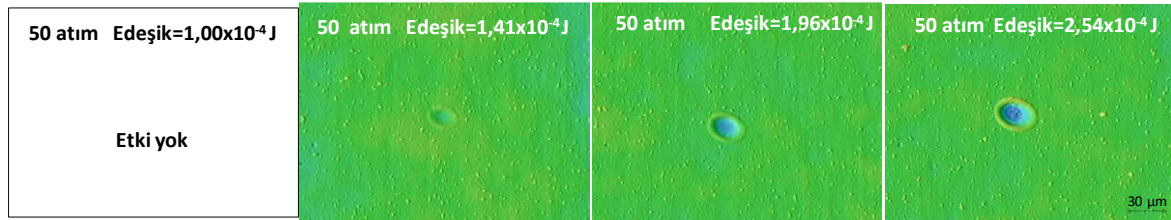
Noktasal kusur oluşturmak için kullanılan, lazere ait değişkenler; atım sayısı, akım, frekans ve oluşturulan delikler arası mesafedir. Bu değişkenler kullanılarak şerit üzerinde, farklı enerji değerleri için kusurlar oluşturulmuştur. Aynı akım değeri için değişen frekans ve atım sayısına göre yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri Resim 4.11’de verilmektedir.



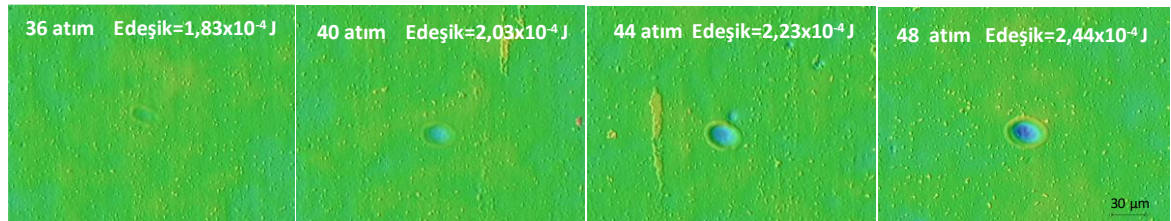
Resim 4.11. Aynı akım değeri için değişen frekans ve atım sayısına göre yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri

Yukarıdan aşağıya aynı atım sayısı için enerjinin arttığı (frekansın azaldığı), soldan sağa ise atım sayısının arttığı kusur görüntüleri yer almaktadır. Resim 4.11 incelendiğinde 100 atımlı, $1,31 \times 10^{-4}$ J enerji seviyesinden sonra yüzeyde boyutları ölçülebilir ve düzenli noktasal kusurlar olduğu görülmüştür. Atım sayısının artmasıyla deşik enerjisi artmakta ve deşiklerin boyutları değişmektedir. Frekans azaldığında deşiklerin enerjisi artmakta ve deşik boyutları artmaktadır.

Resim 4.12’de verilen aynı frekans ve atım sayısı ve değişen akım için yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri incelendiğinde, 50 atımlı $1,41 \times 10^{-4}$ J/deşik enerji değerinde yüzeyde belirgin kusur olduğu görülmektedir. Resim 4.13’te verilen aynı frekans ve akım için değişen atım sayısına göre yapılan noktasal kusur konfokal mikroskop görüntüleri incelendiğinde, 36 atımlı $1,83 \times 10^{-4}$ J/deşik değerinde yüzeyde belirgin kusur oluşmaktadır. Oluşturulan kusurların toplam enerjileri aynı olmasına rağmen, akım, frekans ve atım sayısı değişkenlerinin değiştirilmesi, yüzeyde farklı etkiler meydana getirmektedir. Yüzeye verilen enerji miktarı aynı olmasına rağmen etkilerinin farklı olması, malzeme lazer etkileşim süresine bağlı olduğundan farklı etkiler yaratmaktadır.

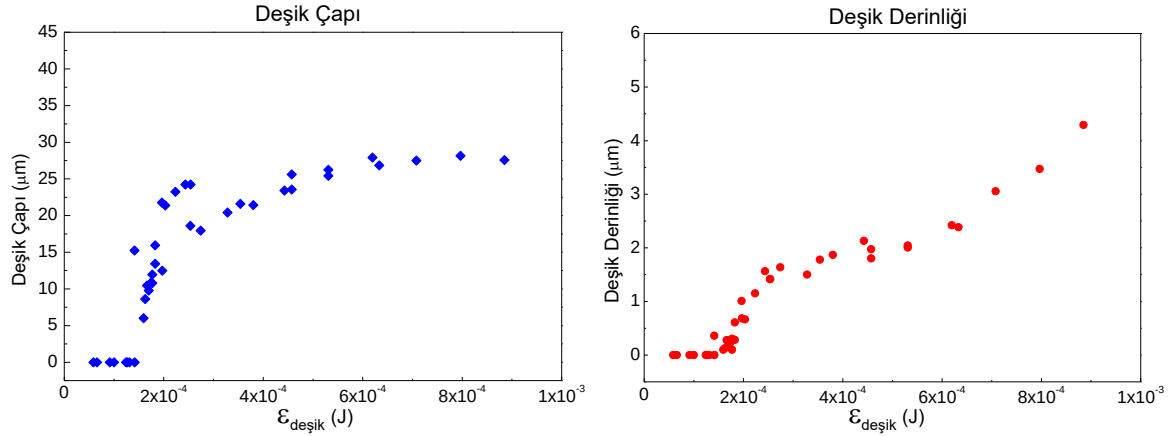


Resim 4.12. Aynı frekans ve atım sayısı için değişen akıma göre yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri



Resim 4.13. Aynı frekans ve akım için değişen atım sayısına göre yapılan noktasal kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri

Yapılan noktasal kusurlar için enerji değerleri hesaplanıp yüzeyde oluşan deşiklerin genişliği ve derinliği ölçülmüştür. Noktasal kusur için enerjiye karşı deşik çapı ve derinliği grafikleri Şekil 4.15'te görülmektedir.

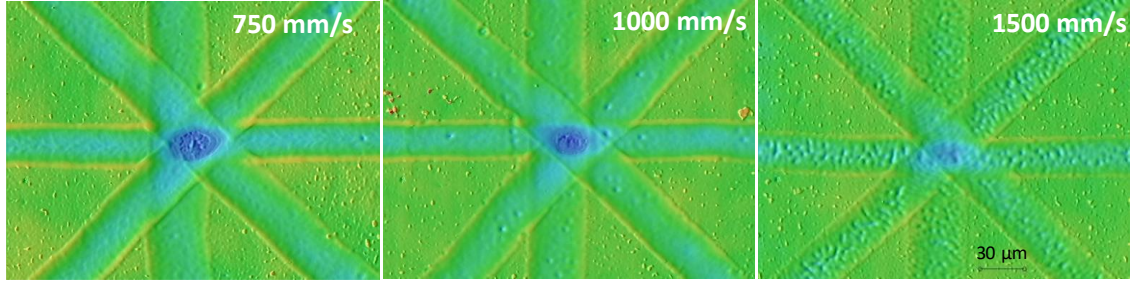


Şekil 4.15. Noktasal kusurlara ait enerjiye karşı deşik çapı ve derinliği grafikleri

Grafikler incelendiğinde $1,31 \times 10^{-4}$ J/deşik enerji değerine kadar herhangi bir fiziksel kusur oluşmamaktadır. Deşik boyutları enerjinin artmasıyla artmaktadır. 2×10^{-4} J/deşik enerji değerinin üstünde, deşik çapı 20-30 μm aralığına ulaşır, artış göstermemektedir. Deşik derinliği ise enerjinin artmasıyla artmakta, 1-2 μm aralığında grafikte bir düzlük oluşmaktadır. YBCO katmanın kalınlığı 1,5 μm olduğundan bu düzlüğün alt katmanlara geçişten kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar ışığında, YBCO katman sınırları içinde noktasal kusur yapmak için gerekli enerji aralığı, $1,31 \times 10^{-4}$ - 2×10^{-4} J/deşik olarak tespit edilmiştir.

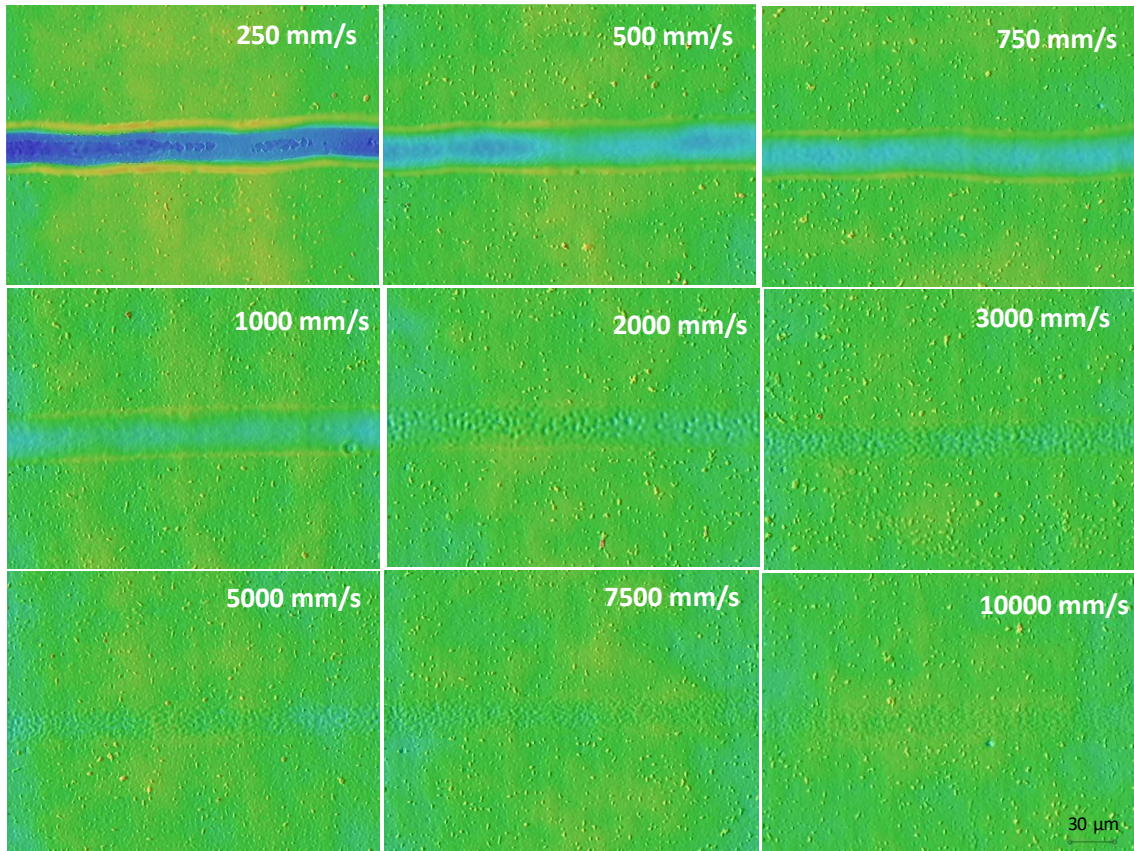
4.3.2. ps-UV lazer ile çizgisel kusur oluşturma ve analizi

ps-UV lazer ile istenilen yönde ve açıda, çizgi şeklinde kusur oluşturulabilmektedir. Yüzeyde çizgisel kusur oluşturmak için kullanılan değişkenler; akım, frekans, oluşturulan çizgiler arası mesafe ve yüzey tarama hızıdır. ps-UV lazerin odak ölçüsü eliptik olduğundan, tarama açısına göre çizgi genişliği değişmektedir. Bu modda farklı yönler ve farklı enerji değerleri için çizgisel kusurlar oluşturulmuştur. Tarama açısı x ekseninde 0° , 45° , 90° ve 135° olarak seçilmiş ve her enerji değerine karşılık gelen çizgisel kusurların genişliği ve derinliği ölçülmüştür. Resim 4.14'te aynı parametreler için 0° , 45° , 90° ve 135° açılarla yapılan çizgisel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri verilmektedir.



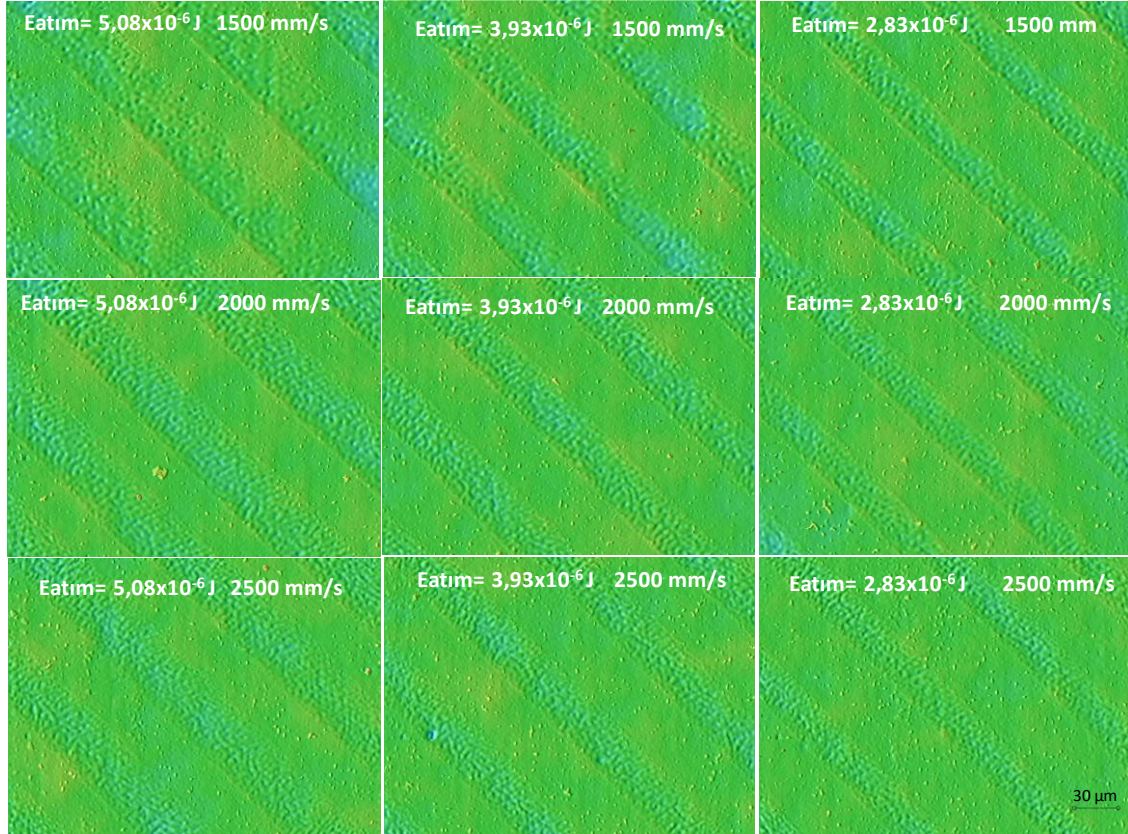
Resim 4.14. Farklı tarama hızı ile 0° , 45° , 90° ve 135° açılarla yapılan çizgisel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri

Resim 4.14 incelendiğinde, tarama açısına bağlı olarak, çizgilerin genişlik ve derinliklerinin farklı olduğu görülmektedir. X eksenine 0° açı yapılarak oluşturulan kusurlar, genişliği en az, derinliği en fazla olan kusurlardır. 45° ve 135° ile yapılan çizgisel kusurlar özdeştir. 90° ile yapılan kusurlar ise genişliği en fazla, derinliği en az olan çizgisel kusurdur. Resim 4.15'te verilen aynı parametreler için değişen tarama hızı ile yapılan çizgisel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri görülmektedir.



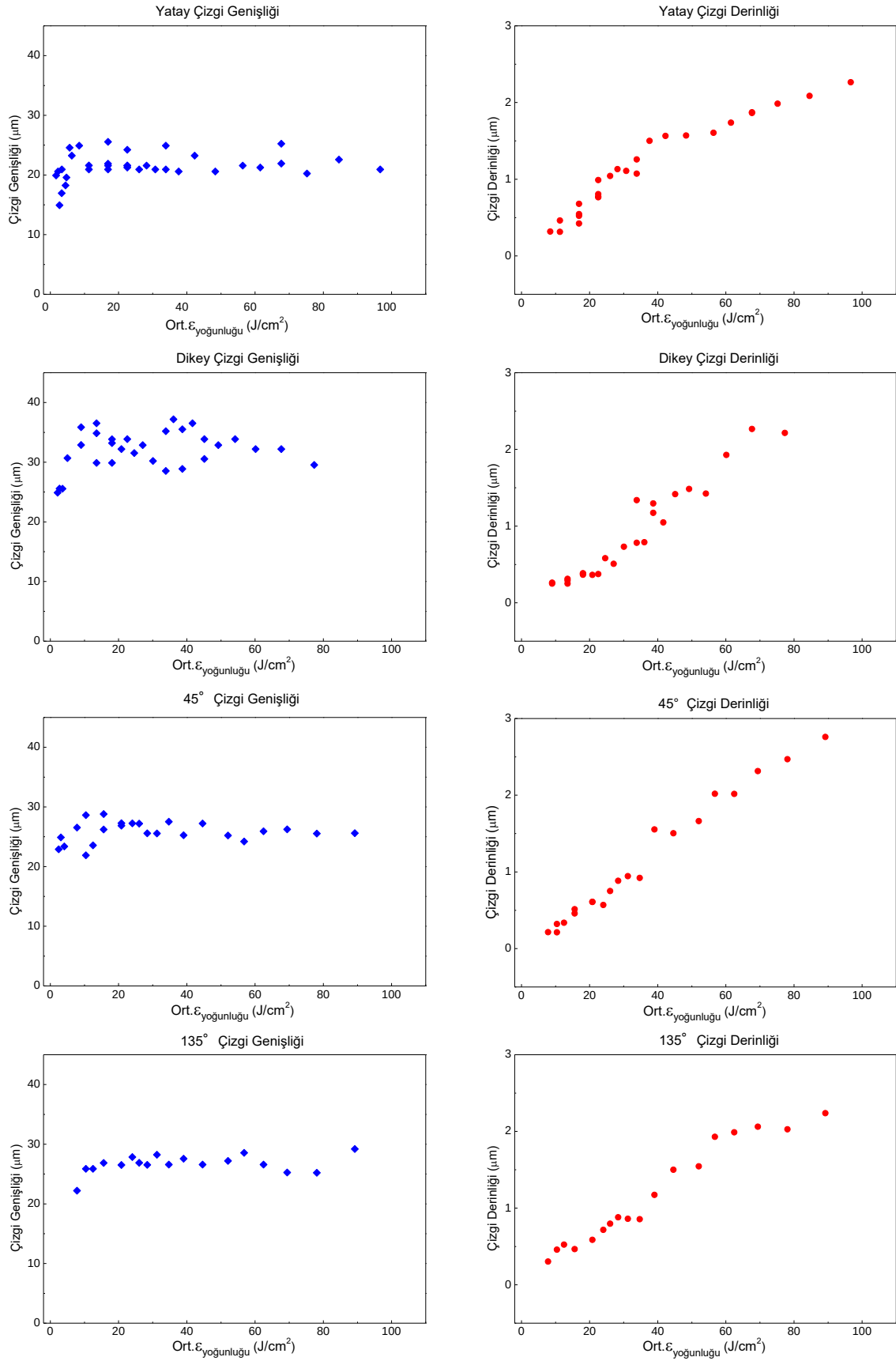
Resim 4.15. Aynı parametreler için değişen tarama hızı ile yapılan çizgisel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri

Resim 4.15 incelendiğinde 1000 mm/s üstündeki tarama hızlarında kusur bölgesinde 500 nm altında boyutlarda noktasal kusurlar olduğu görülmektedir. Resim 4.16’da ise üç farklı enerji değerine karşılık, aynı tarama hızları ile yapılan kusurlar görülmektedir. Aynı parametreler için tarama hızının artmasıyla deşik genişlikleri azalmıştır. Aynı tarama hızında atım enerjisinin azalmasıyla, kusurların genişlikleri azalmaktadır.



Resim 4.16. Aynı tarama hızı için değişen atım enerjisine göre yapılan çizgisel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri

X ekseniiyle 0°, 45°, 90° ve 135° açılarla yapılan çizgisel kusurların enerji değerlerine karşılık gelen kusur boyutları ölçülerek Şekil 4.16’da verilmiştir. Tarama açısına göre alınan grafikler incelendiğinde, enerjinin artmasıyla çizgilerin derinliği doğrusal olarak değişmektedir. Çizgisel kusurların genişliği; 0° için 15-25 µm, 90° için 25-35 µm, 45° ve 135° için ise 20-30 µm aralığındadır. Çizgilerin açısına göre genişliğin azalmasıyla derinliğin arttığı görülmektedir. Enerjinin artmasıyla çizgilerin genişlikleri belirlenen aralıkta kalırken, derinlikleri artmaktadır.

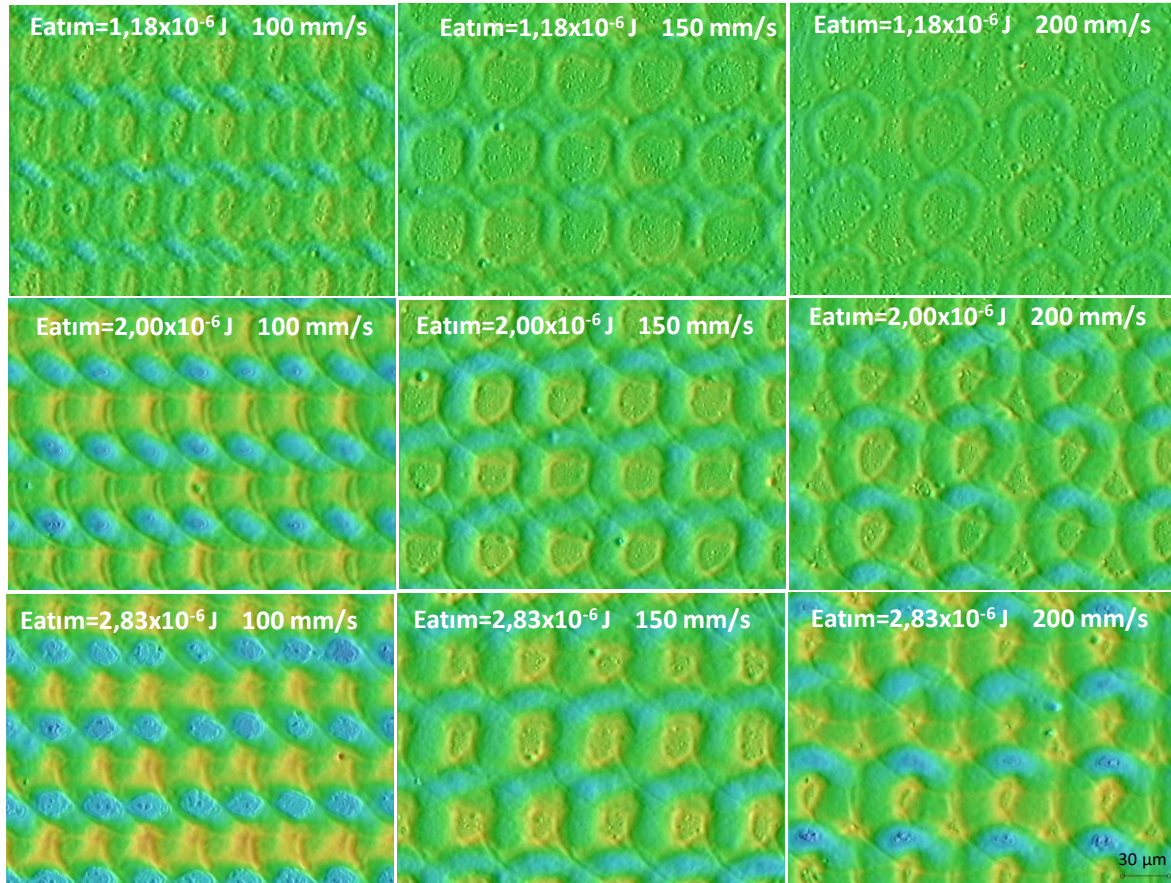


Şekil 4.16. X eksenine 0°, 45°, 90° ve 135° açılarla yapılan çizgisel kusurlara ait enerjiye karşı derinlik ve genişlik grafikleri

Yüzeyde düzgün dağılımlı kusurlar elde etmek için etkileri özdeş olduğundan 45° ve 135° tarama açıları kullanılarak kusurlar oluşturulmuştur. Bu sonuçlar ışığında, YBCO katman sınırları içinde çizgisel kusur yapmak için gerekli enerji aralığı, $1\text{-}20\text{ J/cm}^2$ olarak tespit edilmiştir.

4.3.3. ps-UV lazer ile dairesel kusur oluşturma ve analizi

Dairesel kusur ile tüm yüzeyde, düzgün dağılımlı desenler oluşturulabilmektedir. Dairesel kusur oluşturmak için kullanılan değişkenler; akım, frekans, tarama hızı, kusur çapı ve x-y eksenindeki uzaklıklardır. Farklı enerji değerlerine sahip kusurlar yapılarak çatlaksız düzgün dağılımlı kusurlar elde edilmeye çalışılmıştır. Dairesel olarak elde edilen kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri Resim 4.17’de verilmektedir.



Resim 4.17. Farklı atım enerjisi için aynı tarama hızları ile yapılan dairesel kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri

Resim 4.17 incelendiğinde, uygun parametreler seçilerek yüzeyde düzgün dağılımlı kusurlar

oluşturulabileceği görülmektedir. Lazer-yüzey etkileşim süresi ve tarama alanı büyük olduğundan, en fazla enerjiye sahip kusur şekli dairesel kusurdur.

Lazerle elde edilen noktasal, çizgisel ve dairesel kusurlar incelendiğinde; ps-UV lazer ile YBCO şerit üzerinde uygun parametreler seçilerek, kontrollü kusurlar oluşturulabileceği görülmüştür. Yüzeyde çivileme merkezi yerine geçebilecek kusurların oluşturabilmesi için gerekli lazer parametreleri tespit edilmiştir. Bu parametreler kullanılarak manyetizasyon ölçümleri için örnekler hazırlanmıştır.

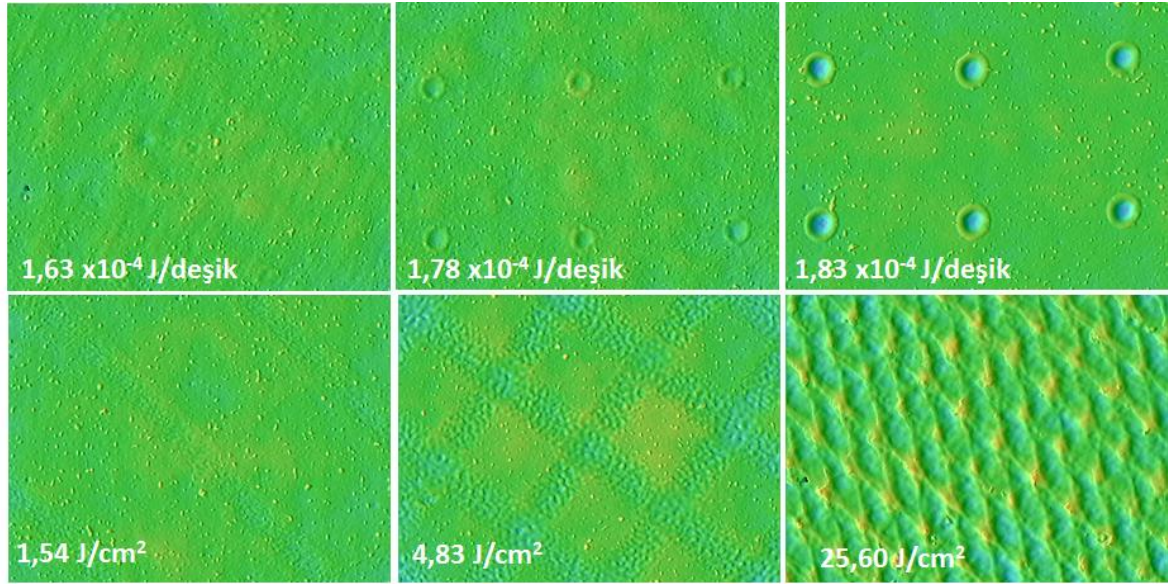
4.4. Manyetik Ölçüm Sonuçları

Lazer ile oluşturulan düzenli kusurların kritik akım yoğunluğu üzerindeki etkisini görmek amacıyla, noktasal, çizgisel ve dairesel olmak üzere üç farklı şekilde kusur oluşturulan örnekler hazırlanmıştır. Noktasal kusur; $1,83 \times 10^{-4}$, $1,78 \times 10^{-4}$, $1,63 \times 10^{-4}$ J/deşik olmak üzere üç farklı enerji ile, çizgisel kusur; $1,54 \text{ J/cm}^2$ ve $4,83 \text{ J/cm}^2$ olmak üzere iki farklı enerji ile oluşturulmuştur. Dairesel kusur enerji değeri ise $25,60 \text{ J/cm}^2$ dir. Hazırlanan örneklere ait isimlendirme ve kusur parametreleri Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.5. Manyetizasyon ölçümü için hazırlanan örneklere ait parametreler

Örnek Adı	Kusur Şekli	Atım sayısı	Yatay Uzaklık mm	Dikey Uzaklık mm	Eatım (10^{-6} J)	Ort $E_{\text{yoğunluğu}}$ (J/cm^2)	$\sum E_{\text{deşik}}$ (10^{-4} J)	Yüzeydeki kusur Oranı
R-1	Referans Örnek	-	-	-	-	-	-	-
C-1	Çizgisel (45°)	-	0,07	0,07	3,93	4,83	-	%64
	Çizgisel (135°)	-	0,07	0,07	3,93	4,83	-	
D-1	Dairesel	-	0,025	0,025	1,60	25,60	-	%100
R-2	Referans Örnek	-	-	-	-	-	-	-
C-2	Çizgisel (135°)	-	0,1	-	2,00	1,54	-	%28
N-1	Noktasal	100	0,1	0,1	1,83	-	1,83	100deşik/ mm^2
N-2	Noktasal	50	0,1	0,1	3,56	-	1,78	100deşik/ mm^2
N-3	Noktasal	50	0,05	0,05	3,56	-	1,78	400deşik/ mm^2
N-4	Noktasal	50	0,1	0,1	3,56	-	1,78	100deşik/ mm^2
R-3	Referans Örnek	-	-	-	-	-	-	-
N-5	Noktasal	46	0,026	0,03	3,56	-	1,63	1282deşik/ mm^2
N-6	Noktasal	46	0,086	0,1	3,56	-	1,63	116deşik/ mm^2
N-7	Noktasal	46	0,03	0,03	3,56	-	1,63	1111deşik/ mm^2
N-8	Noktasal	46	0,1	0,1	3,56	-	1,63	100deşik/ mm^2

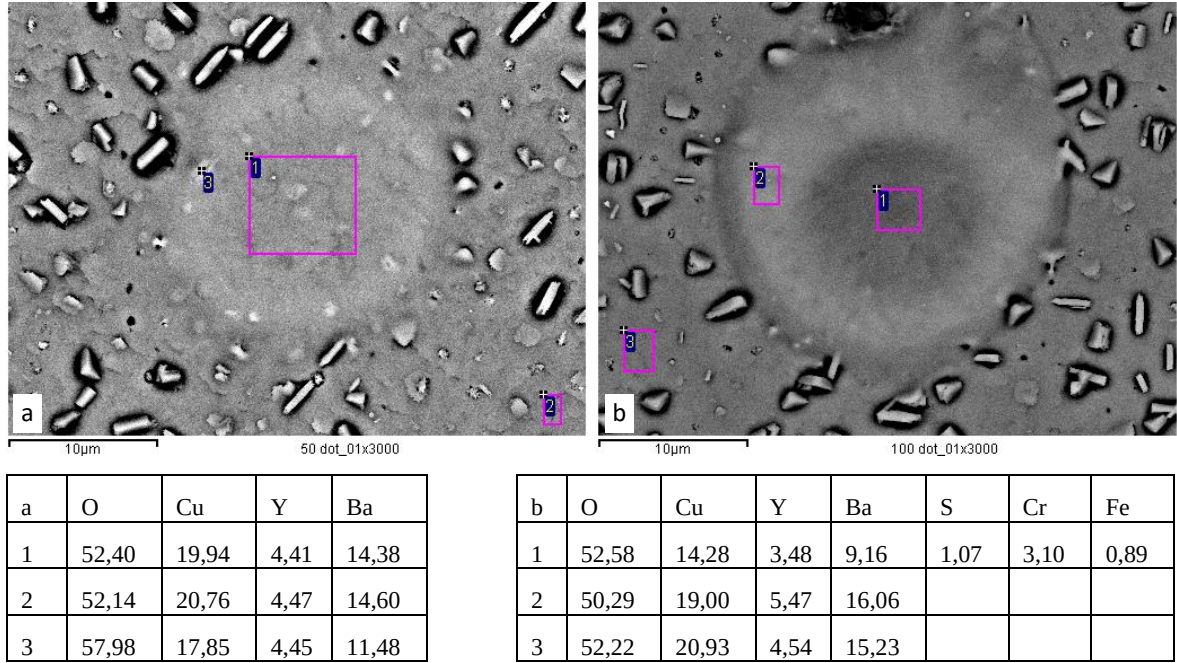
Örnekler hazırlanırken her bir örnek grubu için referans örnek hazırlanarak, yüzeyde olabilecek herhangi bir homojensizlik bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Hazırlanan örneklerin kusur boyutları konfokal mikroskop ile analiz edilerek, kusurlara ait konfokal mikroskop görüntüleri Resim 4.18’de verilmiştir.



Resim 4.18. Kullanılan enerji değerlerine göre kusurlu örnekler için konfokal mikroskop görüntüleri

$1,63 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjili noktasal kusur oluşturulan örneklerde yüzeydeki kusurlar sadece iz şeklindedir. Enerji $1,78 \times 10^{-4}$ J/deşik olarak seçildiğinde boyutları belirlenebilen noktasal kusurlar oluşmuştur. Bu kusurların çapı 13-14 μm , derinliği ise 250-300 nm aralığındadır. $1,83 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjili noktasal kusurların çapı ise 22-24 μm , derinliği 700-800 nm aralığındadır. $1,54 \text{ J/cm}^2$ enerjili olarak yapılan çizgisel kusurların genişliği 24 μm olup oluşan iz yüzeyseldir ve belli bir derinliğe sahip değildir. $4,83 \text{ J/cm}^2$ enerjili 45° ve 135° ile oluşturulan çizgisel kusurların genişlikleri 24 μm olup, yüzeyde oluşan çizgisel izler 100 nm derinliğindedir. Çizgilerin düğüm noktaları ise 200-250 nm derinliktedir. $25,60 \text{ J/cm}^2$ enerji ile oluşturulan dairesel kusurda ise yüzey tamamen tarandığı için boyut analizi yapılamamıştır.

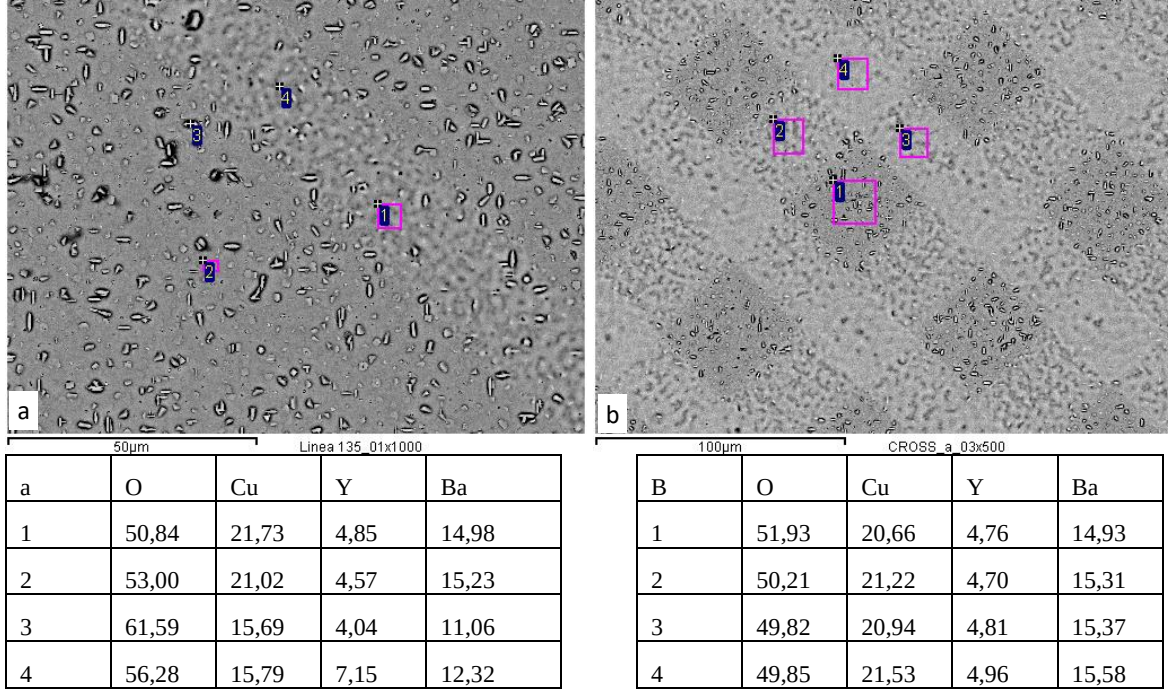
Hazırlanan örneklerin SEM görüntüleri ve EDS ile yüzey analizleri yapılmıştır. Resim 4.19 ve Resim 4.20’de noktasal ve çizgisel kusurlu örnekler için EDS sonuçları görülmektedir.



Resim 4.19. Noktasal kusur oluşturulan örneklerin EDS analizi, (a) $1,78 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjiye sahip örnek, (b) $1,83 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjiye sahip örnek

EDS sonuçlarında YBCO'yu oluşturan elementlerin oranları verilmektedir. Resim 4.19 (a)'da verilen $1,78 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjili örneğe ait EDS sonuçları incelendiğinde, kusur bölgesi olarak işaretlenen 1 bölgesi ve işlem görmemiş 2 bölgesi için yapılan analizde YBCO'ya ait element oranlarında değişim olmamıştır. Ancak deşik bölgesinde görülen beyaz noktasal bölgelerde Ba ve Cu oranı azalırken O miktarında artma olmuştur. Resim 4.19 (b)'de verilen $1,83 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjili örneğe ait EDS sonuçları incelendiğinde ise, kusur bölgesi olarak işaretlenen 1 bölgesinde Cu, Y ve Ba oranı azalmıştır. Bu bölgede S, Cr, Fe olması deşik derinliğinin, YBCO kalınlığı olan $1,5 \mu\text{m}$ 'den az olmasına rağmen, lazerin etkisiyle altlık veya tampon katmandan malzeme geçişi olduğunu düşündürmektedir. Deşiğin kenar bölgesinde bulunan 2 bölgesi, kusur olmayan 3 bölgesi ile kıyaslandığında O ve Cu oranlarında az da olsa bir azalma, Y ve Ba'da artma görülmektedir. YBCO yüzeyinde bulunan çubuk şeklindeki beyaz tanecikler (Cu-O miktarı fazla) kusurlu bölgede görülmemektedir.

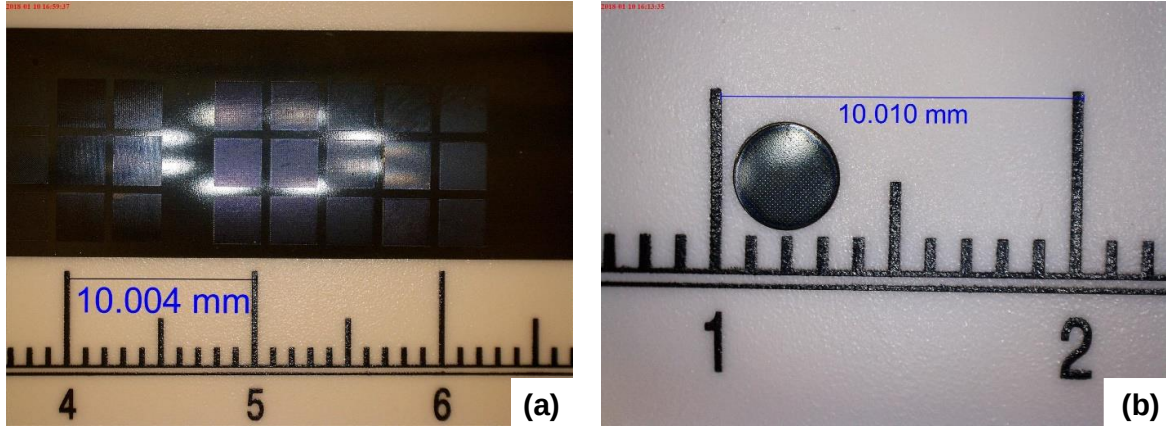
$1,54 \text{ J/cm}^2$ ve $4,83 \text{ J/cm}^2$ lazer enerjisi ile çizgisel kusur oluşturulan örneklerle ait EDS analiz sonuçları Resim 4.20'de verilmiştir.



Resim 4.20. Çizgisel kusur oluşturulan örnekler için EDS analizi, (a) 1,54 J/cm² enerjiye sahip örnek, (b) 4,83 J/cm² enerjiye sahip örnek

Resim 4.20 (a)'da verilen 1,54 J/cm² enerjili örneğe ait 1 ve 4 bölgesinden yapılan analizlerde element miktarları farklılık göstermektedir. Bu farklılık kusurlu bölgede meydana gelen beyaz noktalardan kaynaklanmaktadır. Yüzey görüntülerinde görülen beyaz bölgelerde O miktarı artarken Cu ve Ba miktarı azalmaktadır. Resim 4.20 (b)'de verilen 4,83 J/cm² enerjili çizgisel kusur bölgeleri ve işlem görmemiş bölge element oranları paralellik göstermektedir. Lazer etkisiyle oluşan kusurların element oranları, $1,83 \times 10^{-4}$ J/deşik enerjili noktasal kusurlu örnek haricinde belirgin farklılıklar göstermemektedir.

Bu enerji değerleri ile hazırlanan lazer uygulamalarının, manyetik özelliklere etkisini araştırmak için Resim 4.21 (b)'de gösterildiği gibi örnekler hazırlanarak MPMS de manyetik özellikleri incelendi. MPMS için hazırlanan örnekler, 3 mm çapında olacak şekilde lazer ile kesilerek hazırlandı. Hazırlanan bu örnekler 0 manyetik alanda soğutulup, 15 K'de 0-5T arası yüzeye dik manyetik alan uygulanarak MPMS manyetometre (Quantum Design MPMS XL5) ile manyetizasyon ölçümleri alındı.

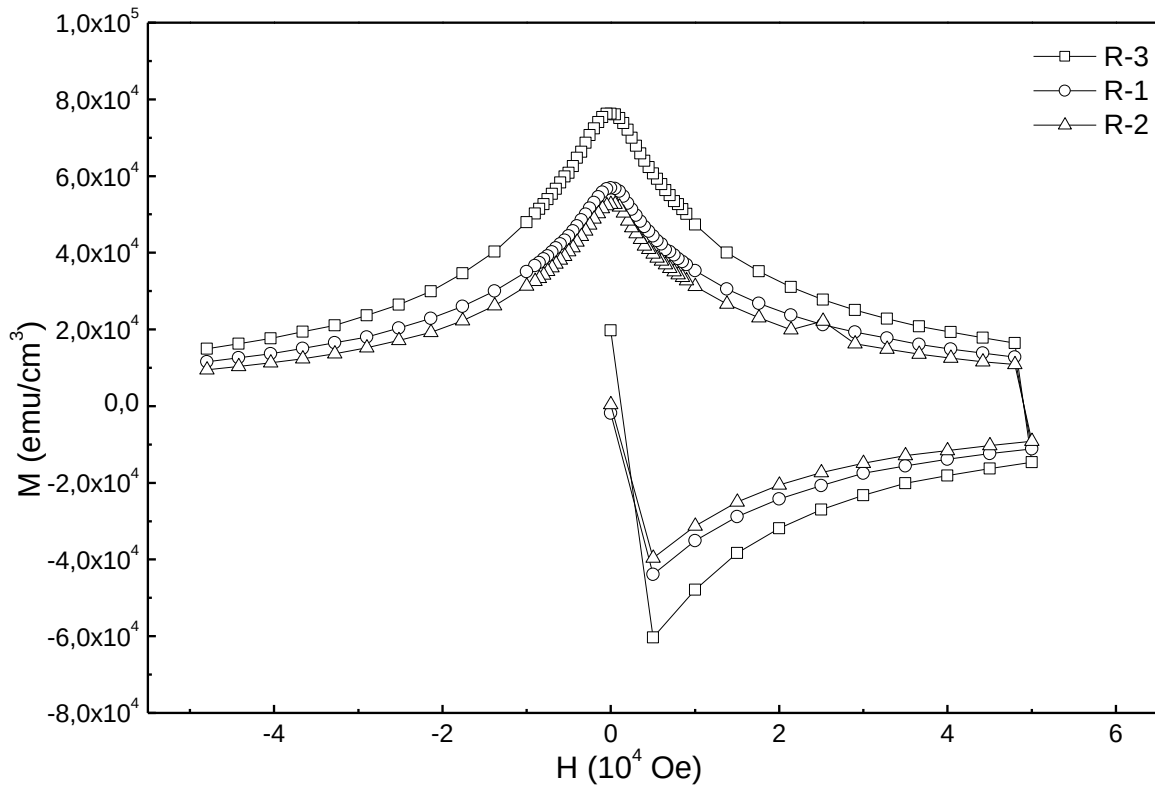


Resim 4.21. a) Üzerinde kusur oluşturulmuş şerit, b) Manyetizasyon ölçümü için hazırlanan örnek

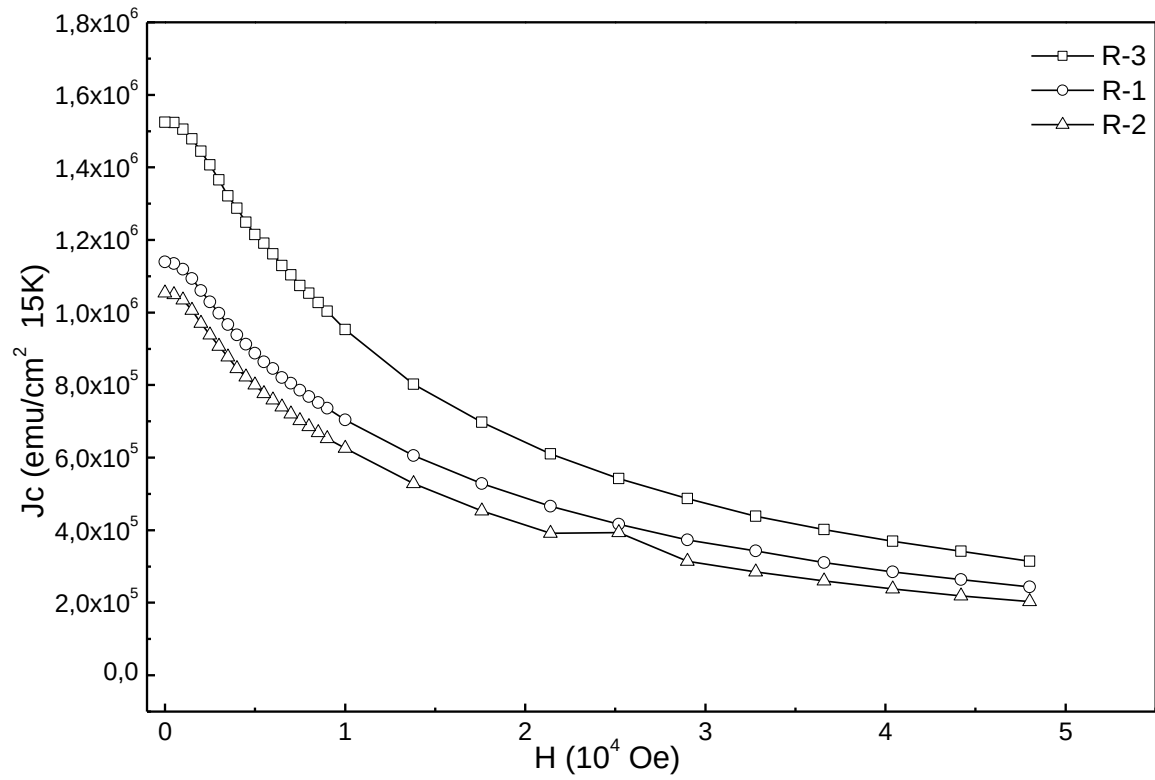
Elde edilen M-H döngülerinden yararlanarak kritik durum modeli referans alınarak R; örneklerin çapı, ΔM ; M-H döngüsünden elde edilen pozitif ve negatif momentlerin farkı olmak üzere Eş. 4.4 kullanılarak J_C değerleri hesaplanmıştır.

$$J_c(H) = \frac{3 \Delta M(H)}{2R} \quad (4.4)$$

Referans R-1, R-2 ve R-3 örneklerine ait M-H döngüleri Şekil 4.17’de, M-H döngüleri kullanılarak hesaplanan J_C grafiği Şekil 4.18’de verilmektedir.

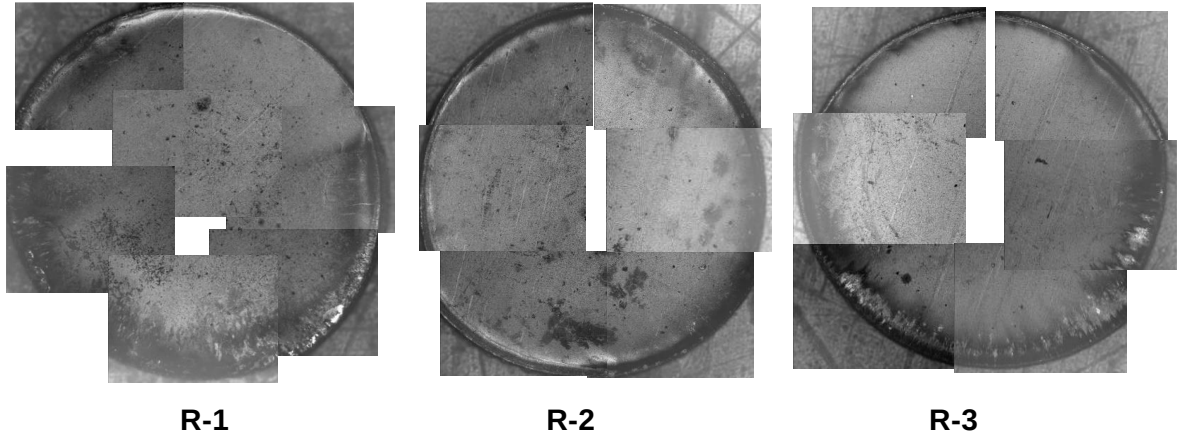


Şekil 4.17. Referans R-1, R-2 ve R-3 örneklerine ait M-H döngüleri



Şekil 4.18. Referans R-1, R-2 ve R-3 örneklerine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_c değerleri

Manyetizasyon ölçüm sonuçları incelendiğinde; referans örneklerin ölçüm sonuçlarında farklılıklar gözlenmiştir. Örnekler standart üretilip homojen olduğu varsayılmasına rağmen, ölçüm sonuçlarındaki farklılıkların; uzun şeritlerde bölgesel farklılıklar olabileceği ve kesme sırasında kenar bölgelerde meydana gelen kristal kusurlarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

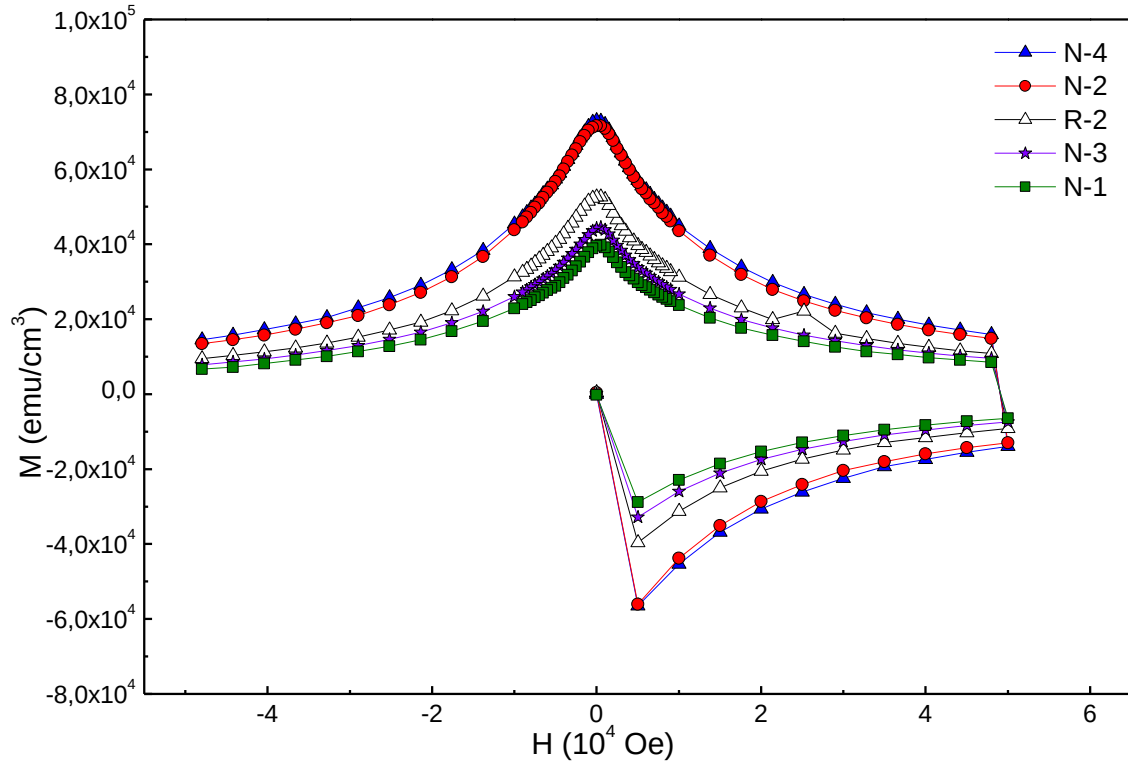


Resim 4.22. Referans R-1, R-2 ve R-3 örneklerine ait konfokal mikroskop görüntüleri

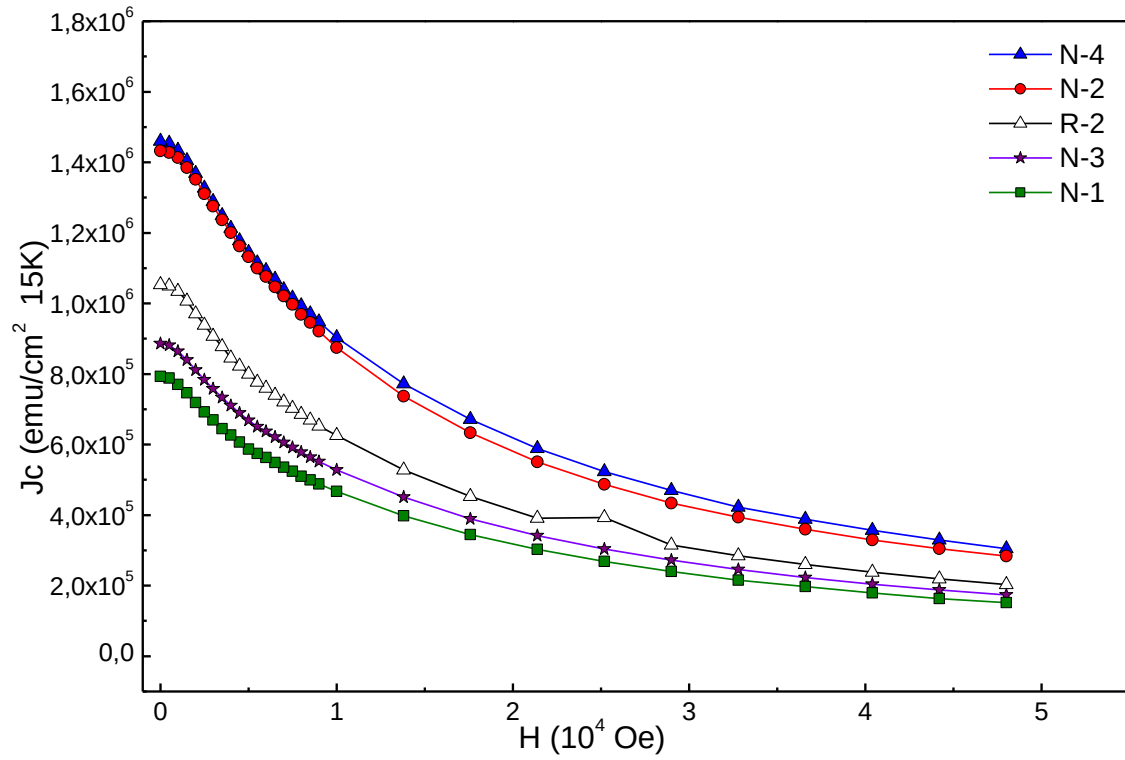
Resim 4.22’de verilen konfokal mikroskop görüntüleri incelendiğinde, aynı kesme parametreleri kullanılmasına rağmen yüzeyde kesme kaynaklı hasarlar olduğu görülmektedir. Bu kusurlar, M-H döngülerinden J_C değerleri hesaplanırken göz ardı edilmiştir. M-H döngüleri süperiletken malzemenin miktarına bağlı olduğundan, M-H döngülerindeki farklılığın kesme sırasında meydana gelen hasar kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Referans örnekler, lazer uygulaması yapılan örneklerle en yakın bölgeden, aynı kesme parametreler ile kesilerek, ortamdan kaynaklanan etkiler azaltılmaya çalışılmıştır.

4.4.1. Noktasal kusur ölçüm sonuçları

Noktasal kusurlu N-1, N-2, N-3, N-4 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngüleri Şekil 4.19, M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir. N-1, N-2, N-4 örneklerinde, x ve y ekseninde 100 μm aralıklarla, N-3 örneğinde ise 50 μm aralıklarla kusur oluşturulmuştur. N-1 örneğinin deşik enerjisi $1,83 \times 10^{-4}$ J, N-2, N-3, N-4 örneklerinin deşik enerjileri $1,78 \times 10^{-4}$ J’dir.

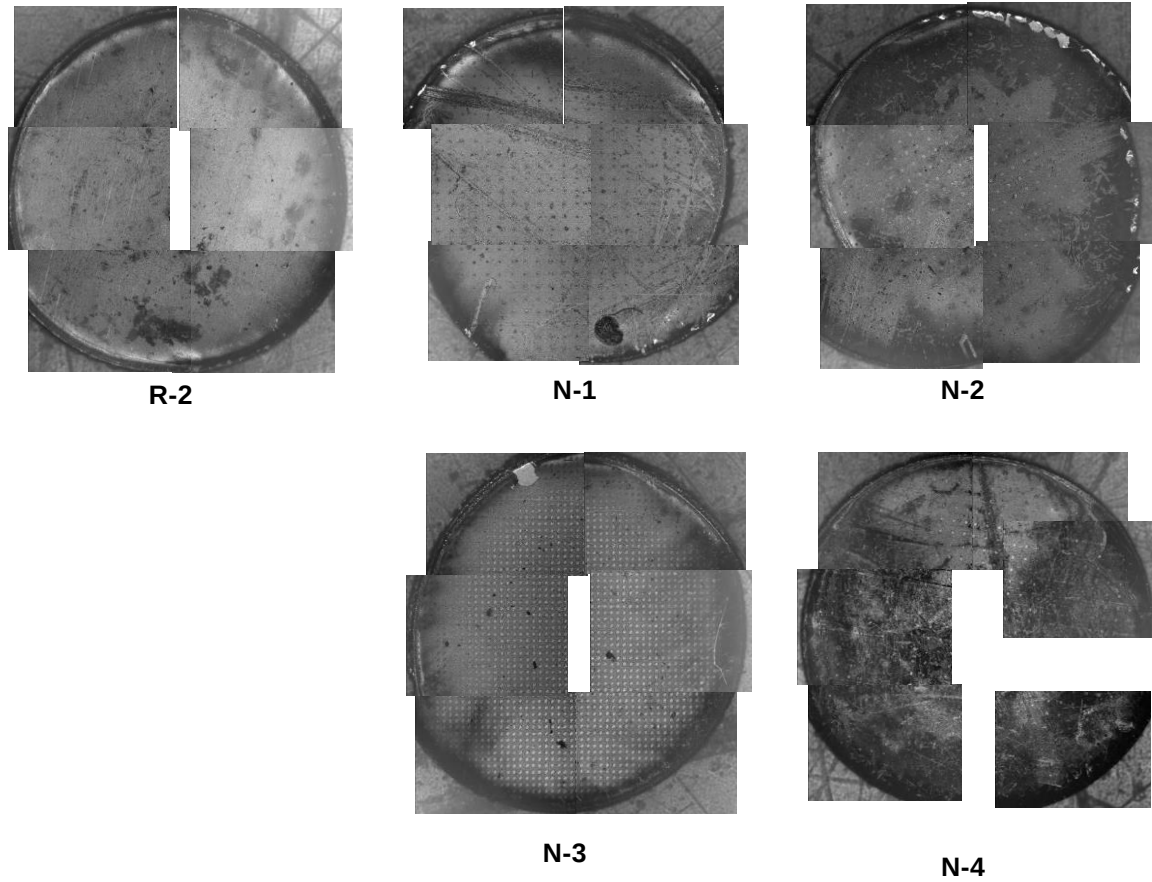


Şekil 4.19. Noktasal kusurlu N-1, N-2, N-3, N-4 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngüleri



Şekil 4.20. Noktasal kusurlu N-1, N-2, N-3, N-4 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_c değerleri

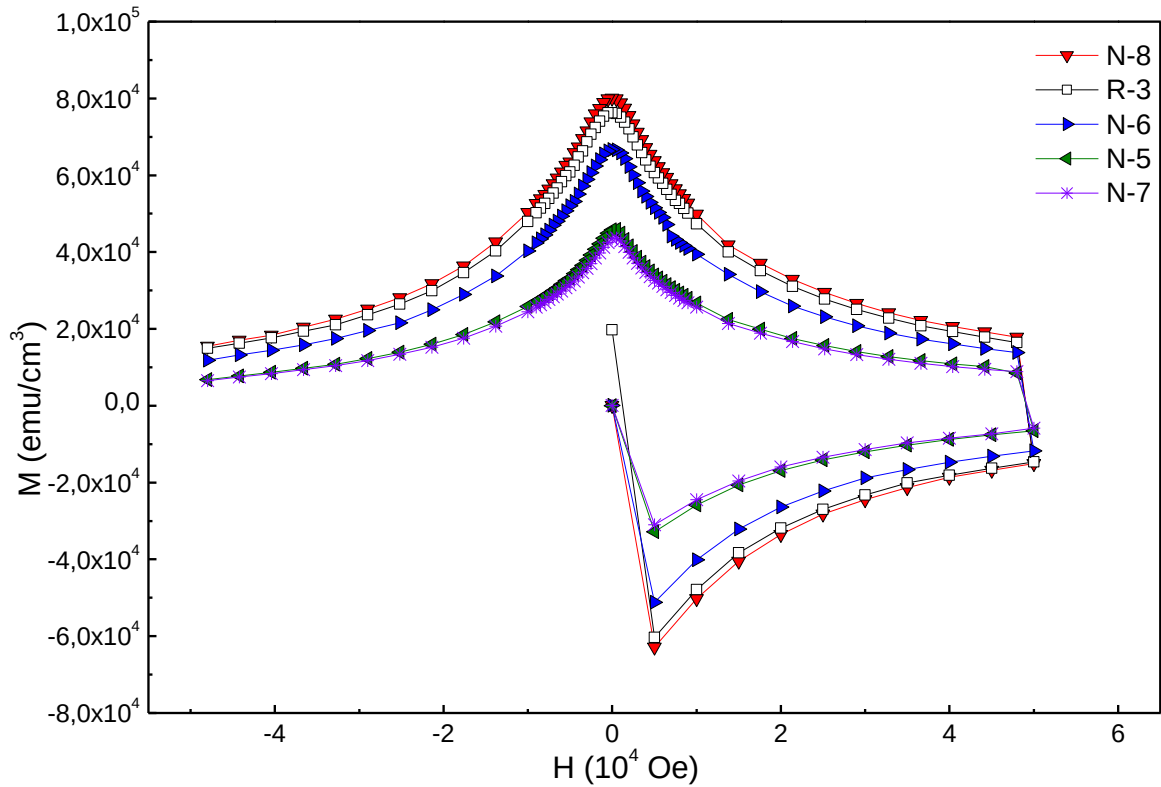
Şekil 4.19 incelendiğinde, N-2 ve N-4 örneğinin M-H döngülerinin referans R-2 örneğine kıyasla genişlediği, N-1 ve N-3 örneğinin M-H döngülerinin ise daraldığı görülmektedir. Şekil 4.20'deki, M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri grafiği incelendiğinde, en düşük J_C değerlerine sahip örneğin, $1,83 \times 10^{-4}$ J ile en yüksek deşik enerjisine sahip N-1 örneği olduğu görülmektedir. Deşik enerjisi $1,78 \times 10^{-4}$ J'ye düşürülerek hazırlanan N-2 örneği ile en yüksek J_C değerleri elde edilmiştir. Deşik enerjisi N-2 örneğiyle aynı fakat kusurlar arası mesafe $50 \mu\text{m}$ olarak hazırlanan N-3 örneğinin J_C değerlerinde referans R-2 örneğine oranla azalma olmuştur. N-2 örneğinin J_C değerlerinde görülen iyileşmenin doğrulanması amacıyla N-2 örneğiyle aynı parametrelere sahip N-4 örneği hazırlanarak ölçüm alınmıştır. N-4 örneğinin J_C değerleri N-2 örneği ile paralellik göstermekte ve birbirine çok yakındır. Referans örnek sonuçlarındaki farklılıklar dikkate alınarak, Resim 4.23'te verilen N-1, N-2, N-3, N-4 ve referans R-2 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri incelendiğinde, kesme kaynaklı kusurların en fazla N-2 ve N-4 örneklerinde olduğu görülmektedir.



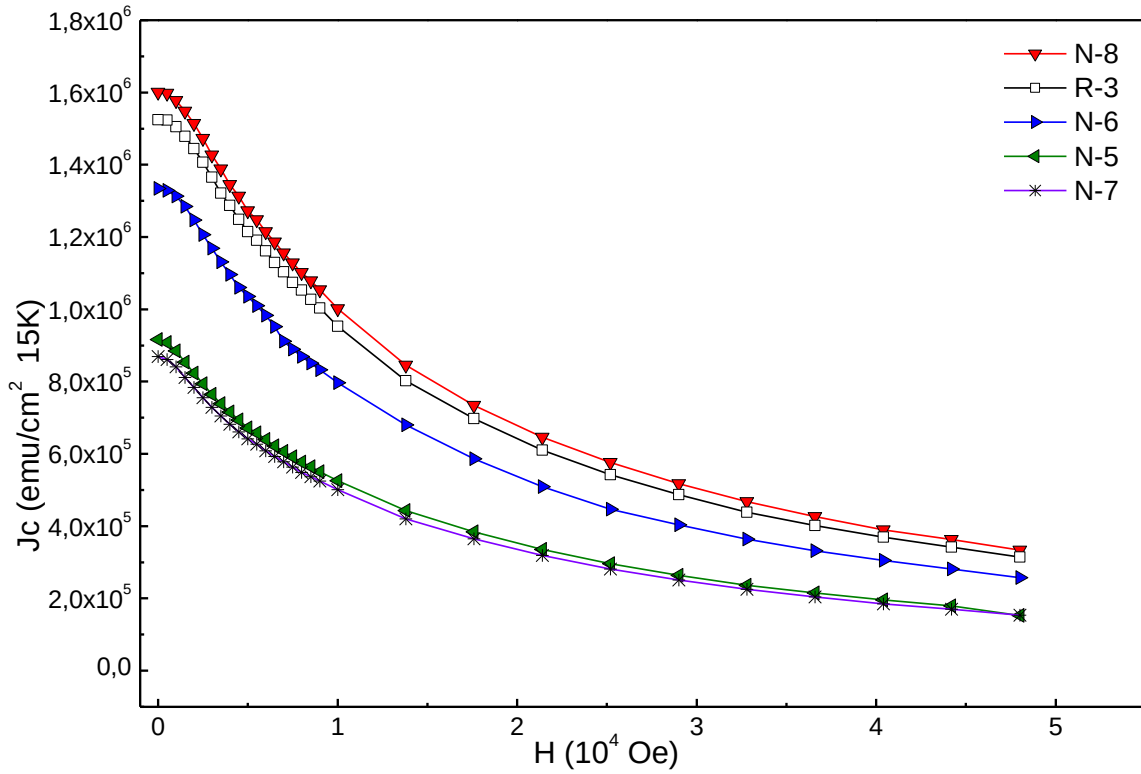
Resim 4.23. Noktasal kusurlu N-1, N-2, N-3, N-4 ve referans R-2 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri

M-H ölçümleri, yüzeydeki süperiletken malzeme miktarına bağlıdır. Hesaplamalar yapılırken kesme kaynaklı oluşan hasarlar hesaba katılmamasına rağmen N-2 ve N-4 örneği J_C değerlerinde referans örneğe oranla iyileşme olduğu görülmektedir. Kesme kaynaklı istenmeyen kusurlar hesaba katıldığında, J_C değerleri mevcut değerlerden daha yüksek olacaktır.

N-2 örneğinin parametreleri referans alınarak, enerjisi $1,63 \times 10^{-4}$ J/deşik olan kare ve altıgen örgülü N-5, N-6, N-7, N-8 örnekleri hazırlanmıştır. Altıgen örgülü N-5 örneğinde kusurlar arası uzaklık 30 μm , N-6 örneğinde ise kusurlar arası uzaklık 100 μm olarak seçilmiştir. Kare örgülü N-7 örneği için x ve y ekseninde kusurlar arası uzaklık 30 μm , N-8 örneğinde ise 100 μm olacak şekilde seçilmiştir. N-5, N-6, N-7, N-8 ve bu örneklerle beraber hazırlanan referans R-3 örneğine ait M-H döngüleri Şekil 4.21, M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri Şekil 4.22’de verilmektedir. Oluşturulan deşiklerin enerjisi eşit olup aralarındaki mesafe değişmektedir.



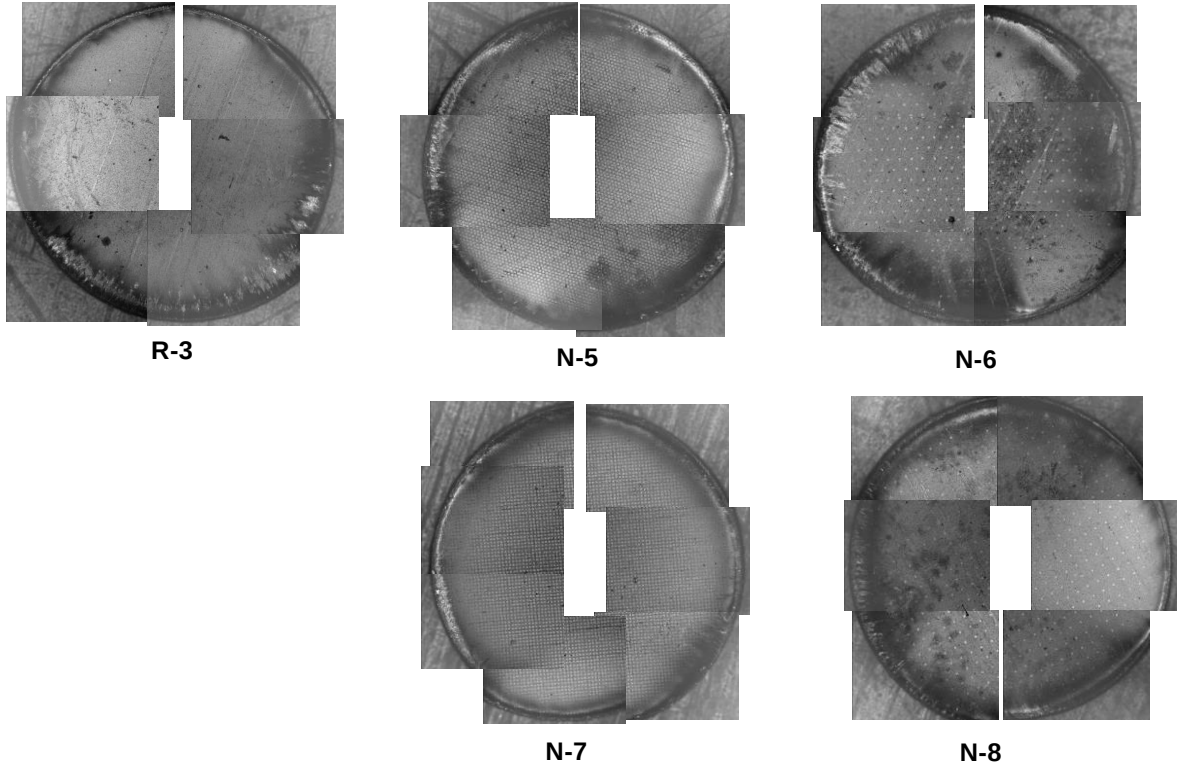
Şekil 4.21. Noktasal kusurlu N-5, N-6, N-7, N-8 ve referans R-3 örneğine ait M-H döngüleri



Şekil 4.22. Noktasal kusurlu N-5, N-6, N-7, N-8 ve referans R-3 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilen grafikler incelendiğinde, N-8 örneğinin M-H döngüsünün referans R-3 örneğine kıyasla genişlediği, N-5, N-6 ve N-7 örneğinin M-H döngülerinin ise daraldığı görülmektedir. 100 μm aralıklı kare örgülü N-8 örneğinin kritik akım yoğunluğu değerlerinin, referans R-3 ve diğer örneklerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kusurlar arası mesafenin 30 μm ’ye düşürüldüğü kare örgülü N-7 örneğinin J_C değerleri, referans örneğe göre azalmıştır. Altıgen örgülü kusurlar oluşturulan N-5 ve N-6 örneklerinde iyileşme görülememiştir. N-5, N-6, N-7, N-8 örnekleri aynı deşik enerjisi kullanılarak hazırlanmış olmasına rağmen M-H döngülerinin farklılık göstermesi kusurlar arası mesafenin önemli olduğunu göstermektedir.

N-5, N-6, N-7, N-8 ve referans R-3 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri Resim 4.24’te görülmektedir. Konfokal mikroskop görüntüleri göz önüne alınarak, kesmeye bağlı hasarın en az olduğu N-5 ve N-7 örneklerinin J_C sonuçlarının daha yüksek olması beklenirken, J_C değerleri referans örneğe göre daha düşüktür. En fazla kesme kaynaklı hasar oluşan örnekler N-6 ve N-8 dir. N-8 örneği, referans R-3 örneğine kıyasla daha fazla kesme kaynaklı hasara sahip olmasına rağmen, J_C değerleri en yüksek olan örnektir.

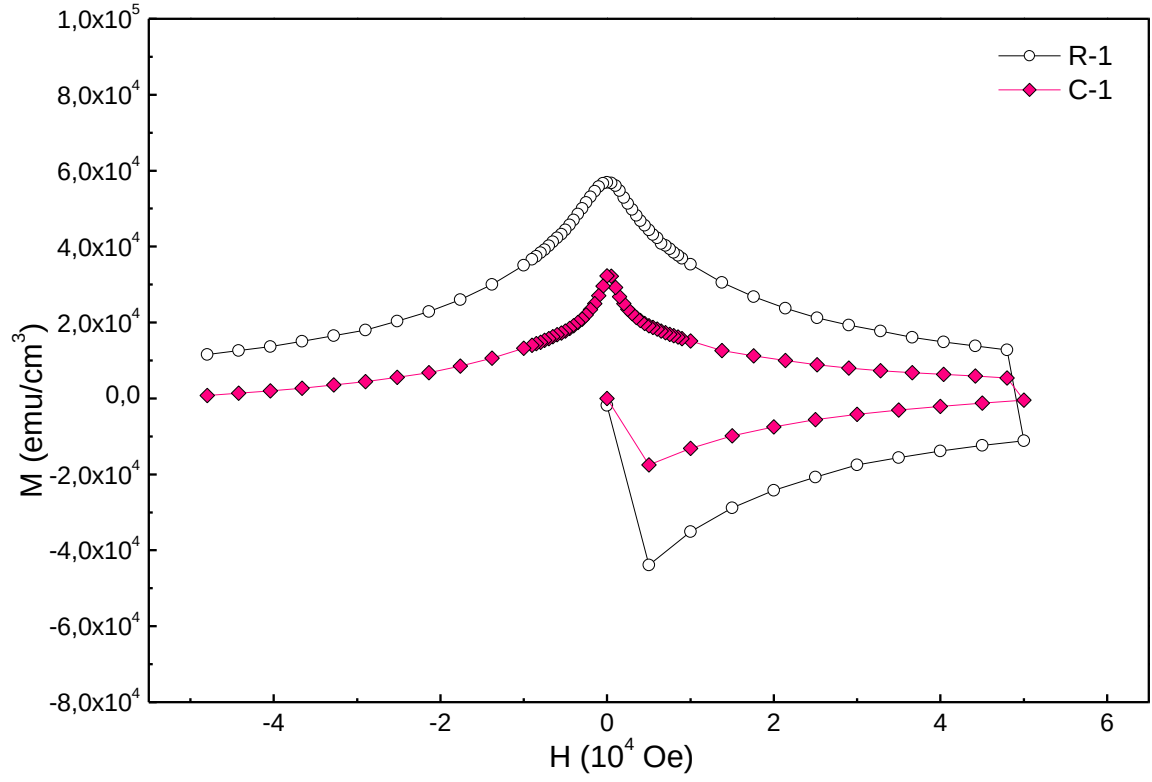


Resim 4.24. Noktasal kusurlu N-5, N-6, N-7, N-8 ve referans R-3 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri

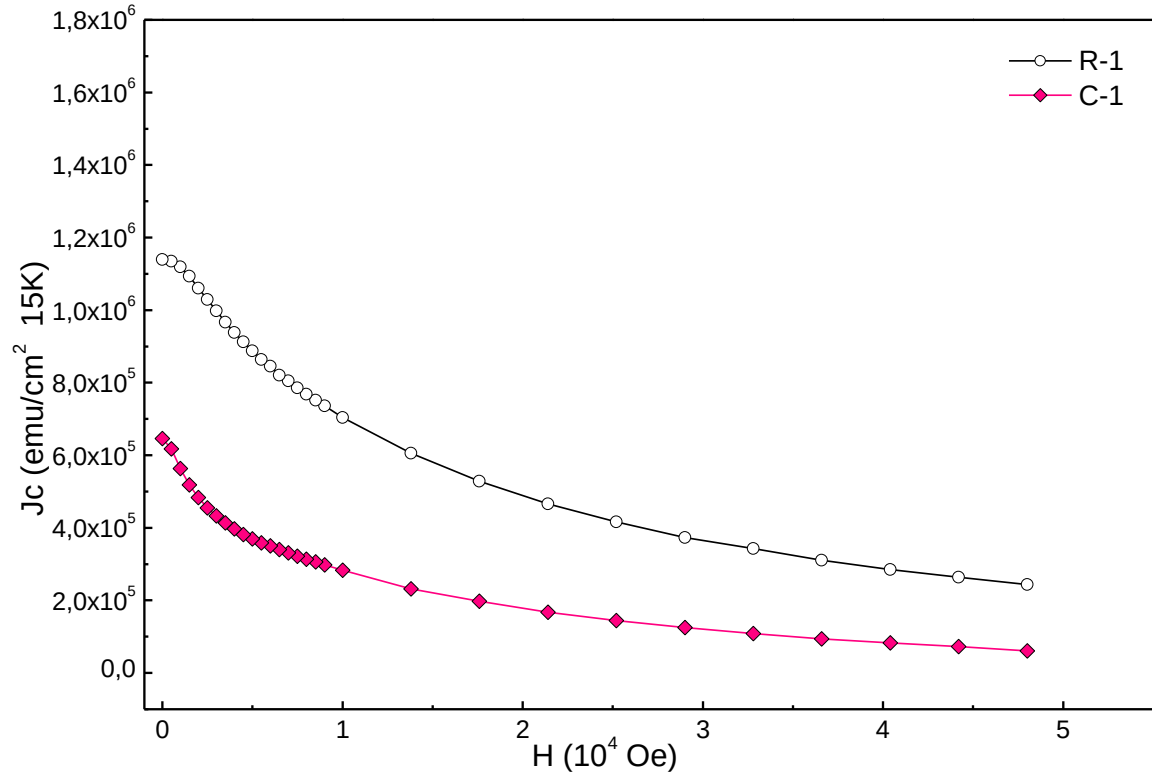
Elde edilen sonuçlar, noktasal kusurlu bütün örneklerin kesme kaynaklı kenar kusurlarına sahip olduğunu göstermiştir. N-8, N-2 ve N-4 örneklerinin manyetizasyon ölçümlerinde referans örneklere kıyasla iyileşme olduğu, aynı zamanda kenar bölgelerinde kesme kaynaklı kusurlarında daha fazla olduğu görülmektedir. M-H döngülerinden J_C hesaplanırken kesme kaynaklı kenar kusurları hesaba katılmadığından, J_C değerlerinin hesaplanandan daha da yüksek olabileceği görülmektedir.

4.4.2. Çizgisel kusur ölçüm sonuçları

C-1 ve C-2 olmak üzere çizgisel kusurlu iki örnek hazırlanmıştır. C-1 örneğinde; $4,83 \text{ J/cm}^2$ enerjiye sahip, çizgiler arası mesafe $70 \text{ }\mu\text{m}$ olan, x eksenine 45° açılı ve aynı parametrelerle x eksenine 135° açılı çizgisel kusurlar oluşturulmuştur. Çizgisel kusurlu C-1 örneği ve referans R-1 örneğine ait M-H döngüleri Şekil 4.23, M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri ise Şekil 4.24'te görülmektedir.

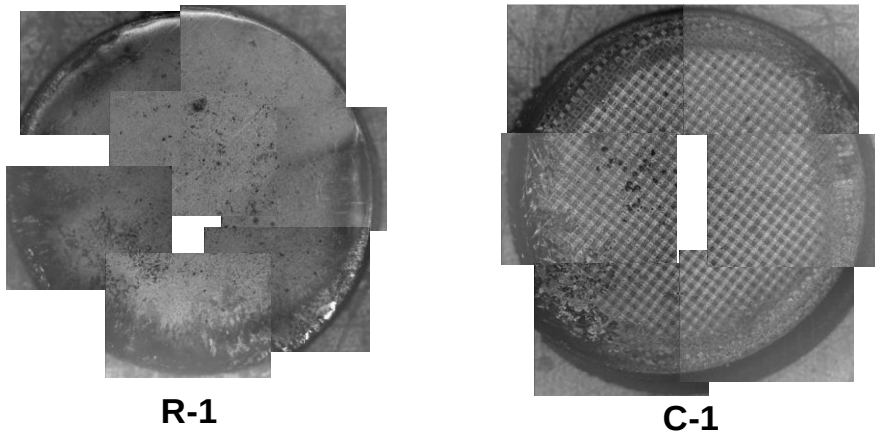


Şekil 4.23. Çizgisel kusurlu C-1 ve referans R-1 örneğine ait M-H döngüleri



Şekil 4.24. Çizgisel kusurlu C-1 ve referans R-1 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_c değerleri

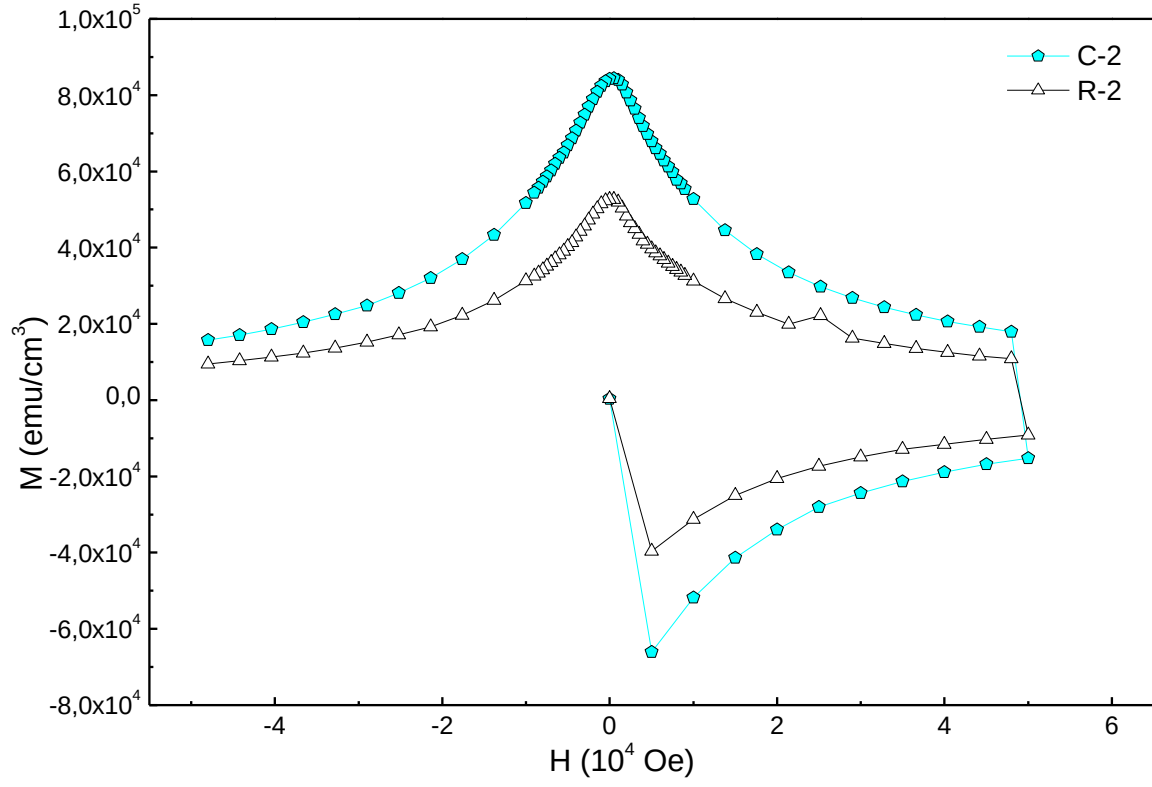
Şekil 4.23 ve Şekil 2.24 incelendiğinde C-1 örneğine ait M-H döngüsünde referans R-1 örneğine kıyasla daralma olduğu görülmektedir. Buna paralel olarak C-1 örneğinin M-H döngüsünden hesaplanan J_C değerlerinde de referans örneğe kıyasla düşüş olmuştur. J_C değerlerindeki düşüş 0-1,5 T arasında daha fazladır. Referans R-1 ve çizgisel kusurlu C-1 örneğine ait Resim 4.25’te verilen konfokal mikroskop görüntülerinde, C-1 örneğinde kesme kaynaklı hasar oranının referans R-1 örneğine kıyasla çok fazla olduğu görülmektedir.



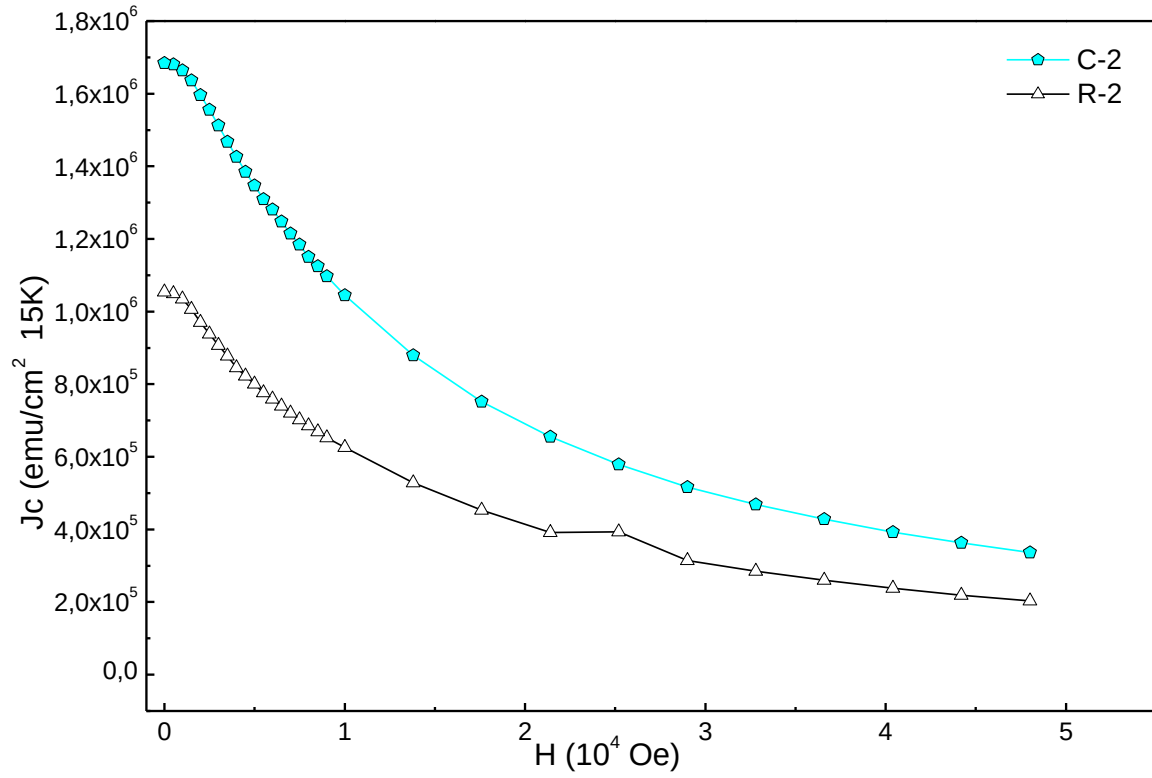
Resim 4.25. Çizgisel kusurlu C-1 ve referans R-1 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri

Kusur oranı azaltılarak ve enerji değeri düşürülerek, çizgisel kusurlu C-2 örneği hazırlanmıştır. C-2 örneğinde; $1,54 \text{ J/cm}^2$ enerjiye sahip, çizgiler arası uzaklık $100 \mu\text{m}$ olan, 135° açılı çizgisel kusur oluşturulmuştur. C-2 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngüleri ve M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da görülmektedir.

Şekil 4.25 ve Şekil 2.26 incelendiğinde M-H döngüsünde referans R-2 örneğine kıyasla genişleme olduğu görülmektedir. Buna paralel olarak C-2 örneğinin M-H döngüsünden hesaplanan J_C değerlerinde de referans örneğe kıyasla artış olmuştur. J_C değerlerindeki artış 0-2 T aralığında daha fazladır.

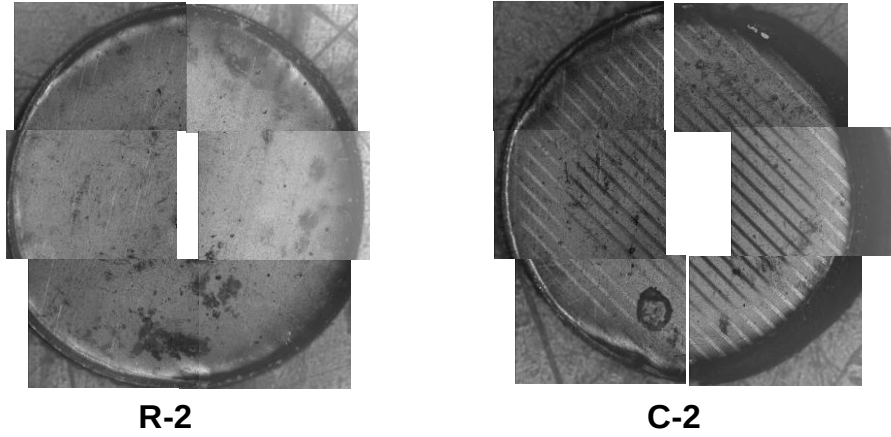


Şekil 4.25. Çizgisel kusurlu C-2 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngüleri



Şekil 4.26. Çizgisel kusurlu C-2 ve referans R-2 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_c değerleri

Resim 4.26'da C-2 ve referans R-2 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri verilmektedir. Referans R-2 ve çizgisel kusurlu C-2 örneğine ait konfokal mikroskop görüntülerinde, C-2 örneğinde kesme kaynaklı hasar oranının referans R-2 örneğine kıyasla çok fazla olduğu görülmektedir.

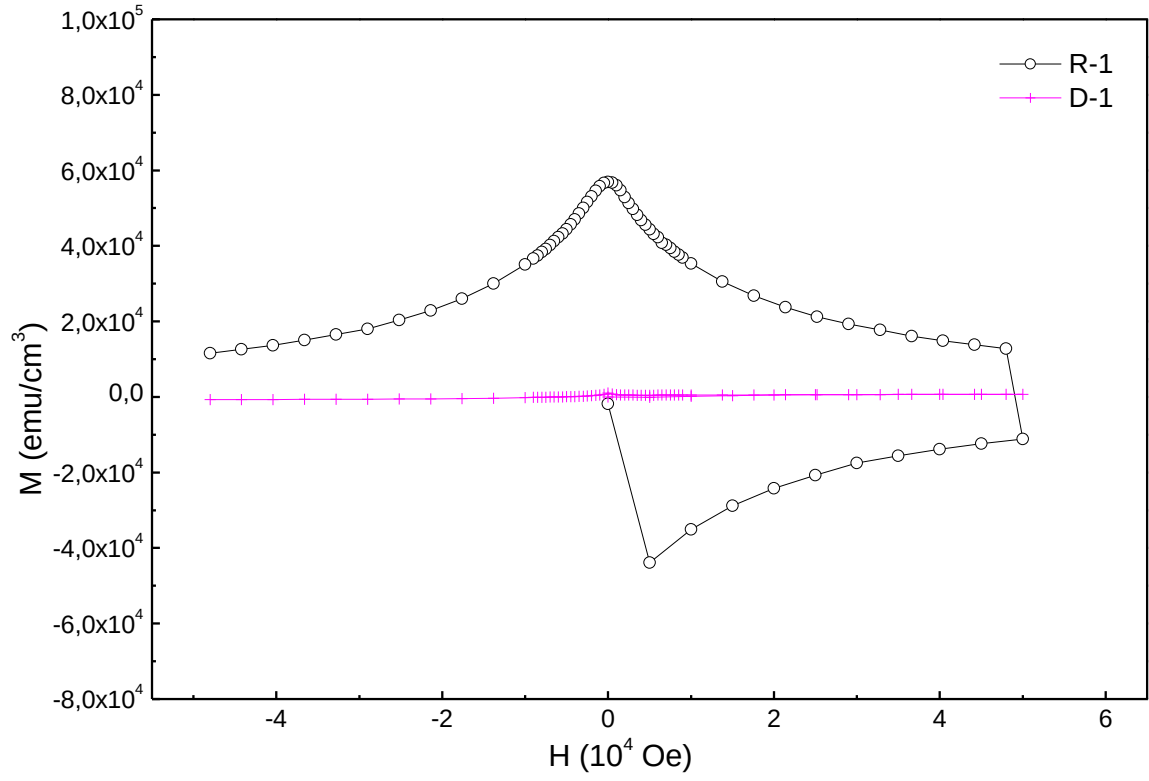


Resim 4.26. Çizgisel kusurlu C-2 ve referans R-2 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri

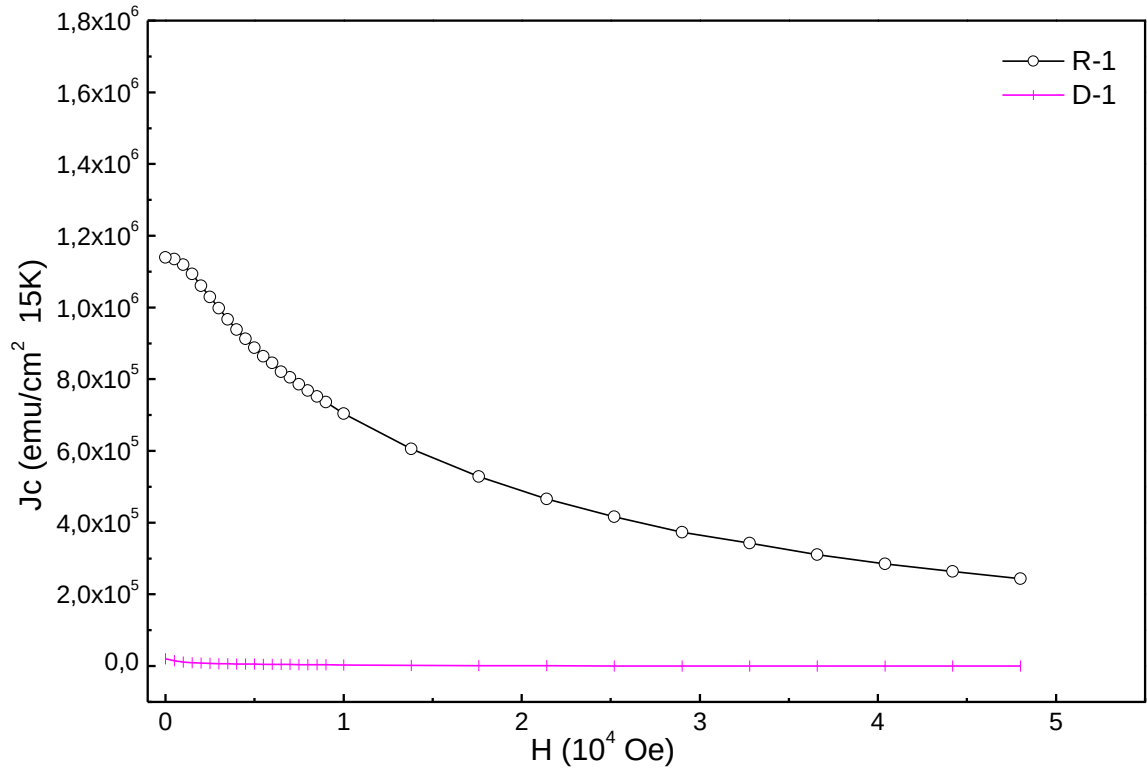
Elde edilen sonuçlar, çizgisel kusurlu bütün örneklerin kesme kaynaklı kenar kusurlarına sahip olduğunu göstermiştir. C-1 örneği manyetizasyon ölçümlerinde referans R-1 örneğine kıyasla iyileşme olmamıştır. C-2 örneğinin manyetizasyon ölçümlerinde ise referans R-2 örneğine kıyasla iyileşme olduğu aynı zamanda kenar bölgelerinde kesme kaynaklı kusurlarında daha fazla olduğu görülmektedir. M-H döngülerinden J_C hesaplanırken kesme kaynaklı kenar kusurları hesaba katılmadığından, J_C değerlerinin hesaplanandan daha da yüksek olabileceğini düşünülmektedir.

4.4.3. Dairesel kusur ölçüm sonuçları

Dairesel kusurlu olarak D-1 örneği hazırlanmıştır. D-1 örneğinde; 100 μm çapında, x ve y ekseninde birbirinden 25 μm uzaklıkta iç içe geçmiş daireler kusurlar oluşturulmuştur. Dairesel kusurlu D-1 ve referans R-1 örneğine ait M-H döngüleri Şekil 4.27'de, M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri ise Şekil 4.28'de verilmektedir.

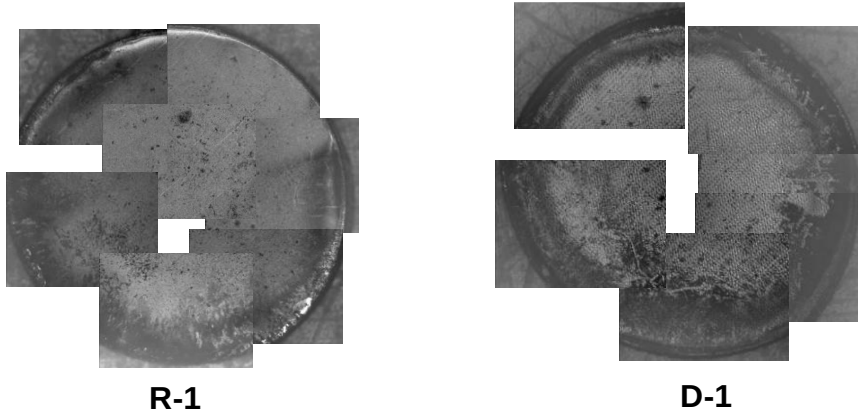


Şekil 4.27. Dairesel kusurlu D-1 örneği ve R-1 örneğine ait M-H döngüleri



Şekil 4.28. Dairesel kusurlu D-1 ve referans R-1 örneğine ait M-H döngülerinden hesaplanan J_c değerleri

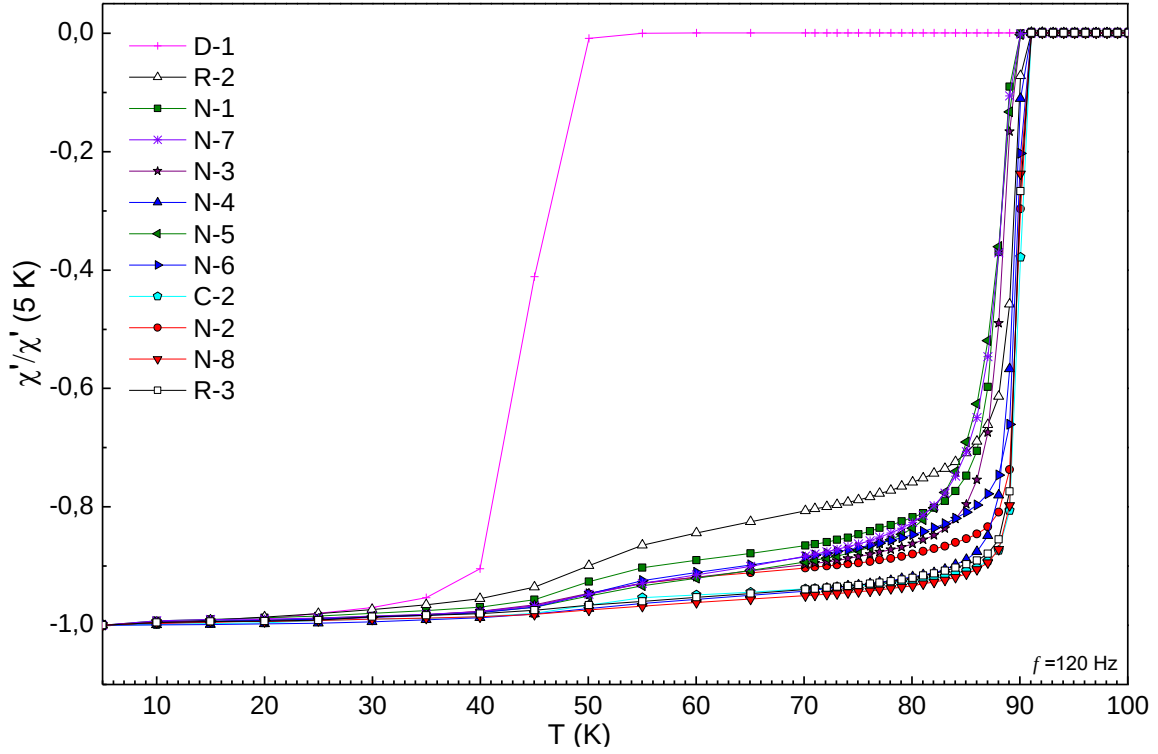
Manyetizasyon ölçüm sonuçları incelendiğinde dairesel kusurun YBCO süperiletken kristalleri büyük oranda bozduğu ve J_C değerini çok düşürdüğü tespit edilmiştir. Dairesel kusur oluşturulan D-1 ve referans R-1 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri Resim 4.27’de görülmektedir. D-1 örneğinde oluşan hasar R-1 örneğinde oluşan hasardan daha fazladır.



Resim 4.27. Dairesel kusurlu D-1 ve referans R-1 örneğine ait konfokal mikroskop görüntüleri

Elde edilen sonuç, yüzeyde düzgün dağılımlı dairesel kusur oluşturulduğunda yüzeyde kusur oranının yüksek olduğunu ve bunun J_C üzerinde olumsuz etki yarattığını göstermiştir.

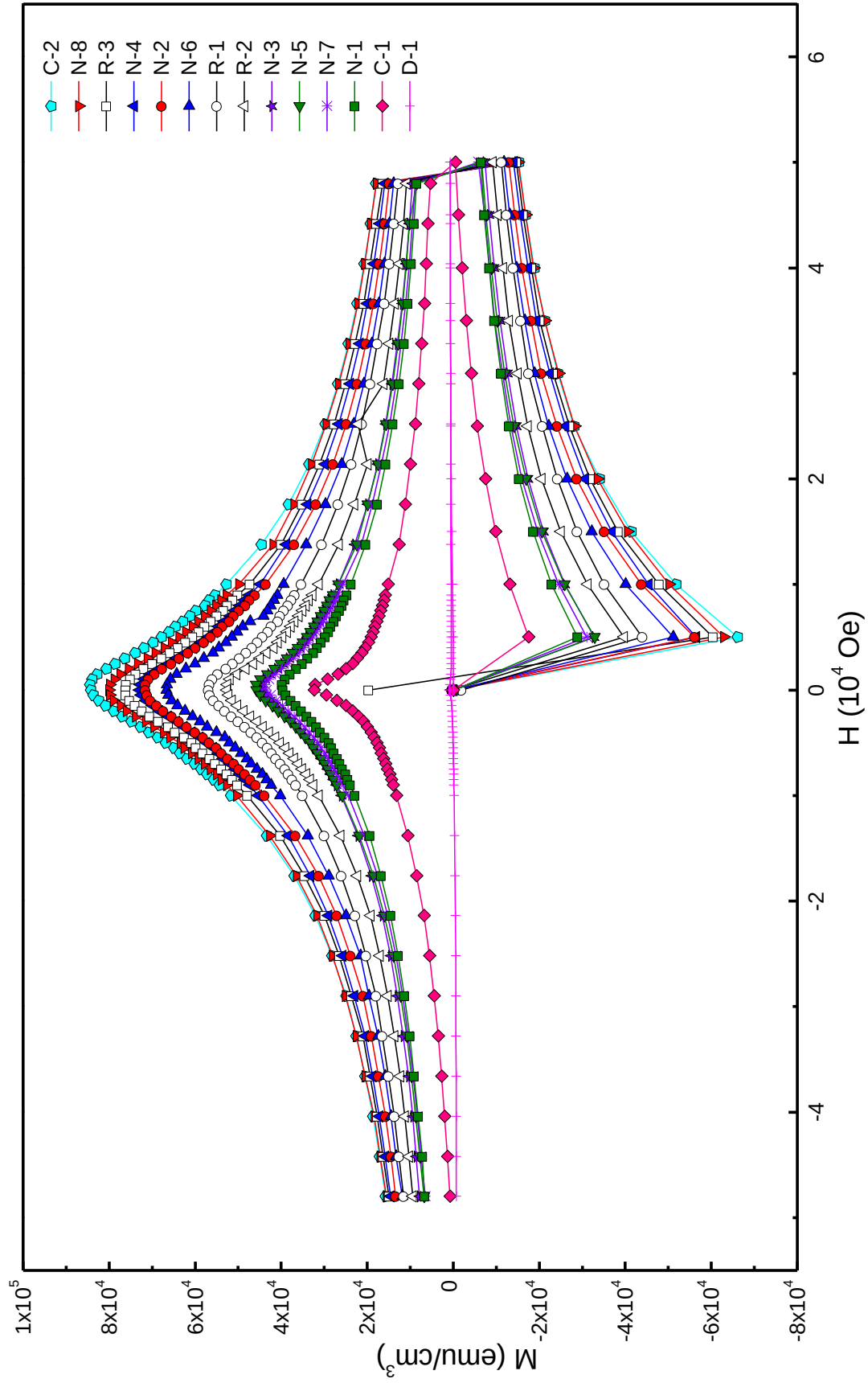
Örnekler üzerindeki kusurların süperiletkenlik geçiş sıcaklığı üzerindeki etkisini görebilmek için hazırlanan örneklerden 5-100 K aralığında sıcaklığa bağlı manyetizasyon ölçümleri alınmıştır. Manyetik alınganlık (χ), kritik sıcaklığı ölçmek için kullanılan, süperiletkenlerin diamanyetik özelliğini belirleyen standart bir araçtır. Kritik sıcaklığın üstünde, süperiletkenler küçük bir duyarlılığa sahiptir. Süperiletken durumda, örnek mükemmel bir diamagnettir ve $-1 \leq \chi < 0$ dir. Sıfır olmayan χ' başlangıcı, süperiletken geçiş sıcaklığı olarak alınır. Örneklere ait M-T grafiği Şekil 4.29’da verilmiştir.



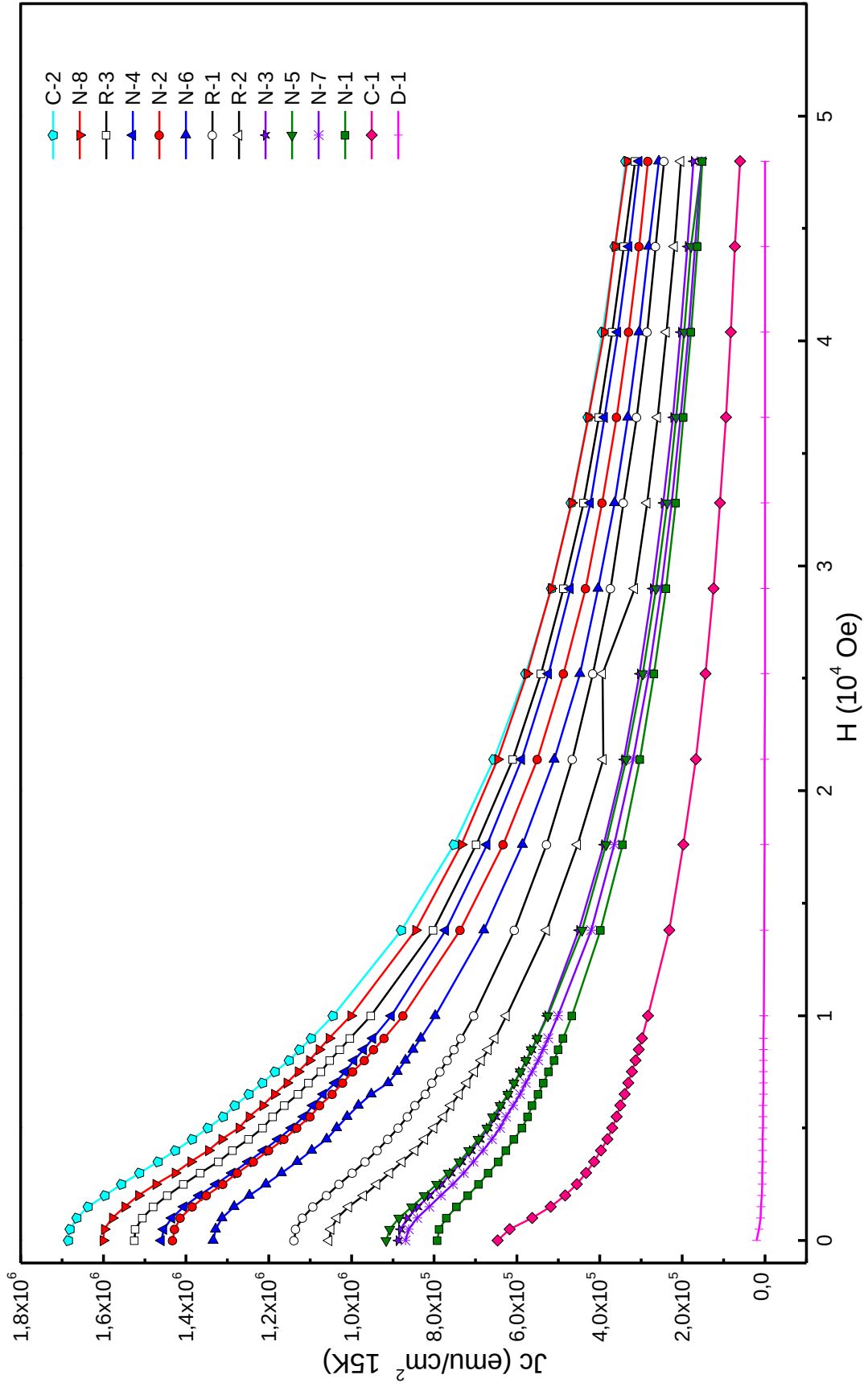
Şekil 4.29. Örneklere ait sıcaklığa bağlı alınganlık ölçüm sonuçları

Şekil 4.29 incelendiğinde, D-1 örneğinin yüzeyi lazerle tamamen tarandığı için süperiletken yapı bozulmuştur. Bu nedenle geçiş sıcaklığı 50 K'e düşmüştür. N-1, N-3, N-5 ve N7 örneğinin geçiş sıcaklığı 90 K, R-2, R-3, N-2, N-4, N-8, N-6 ve C-2 örneklerinin geçiş sıcaklığı 91 K olarak bulunmuştur.

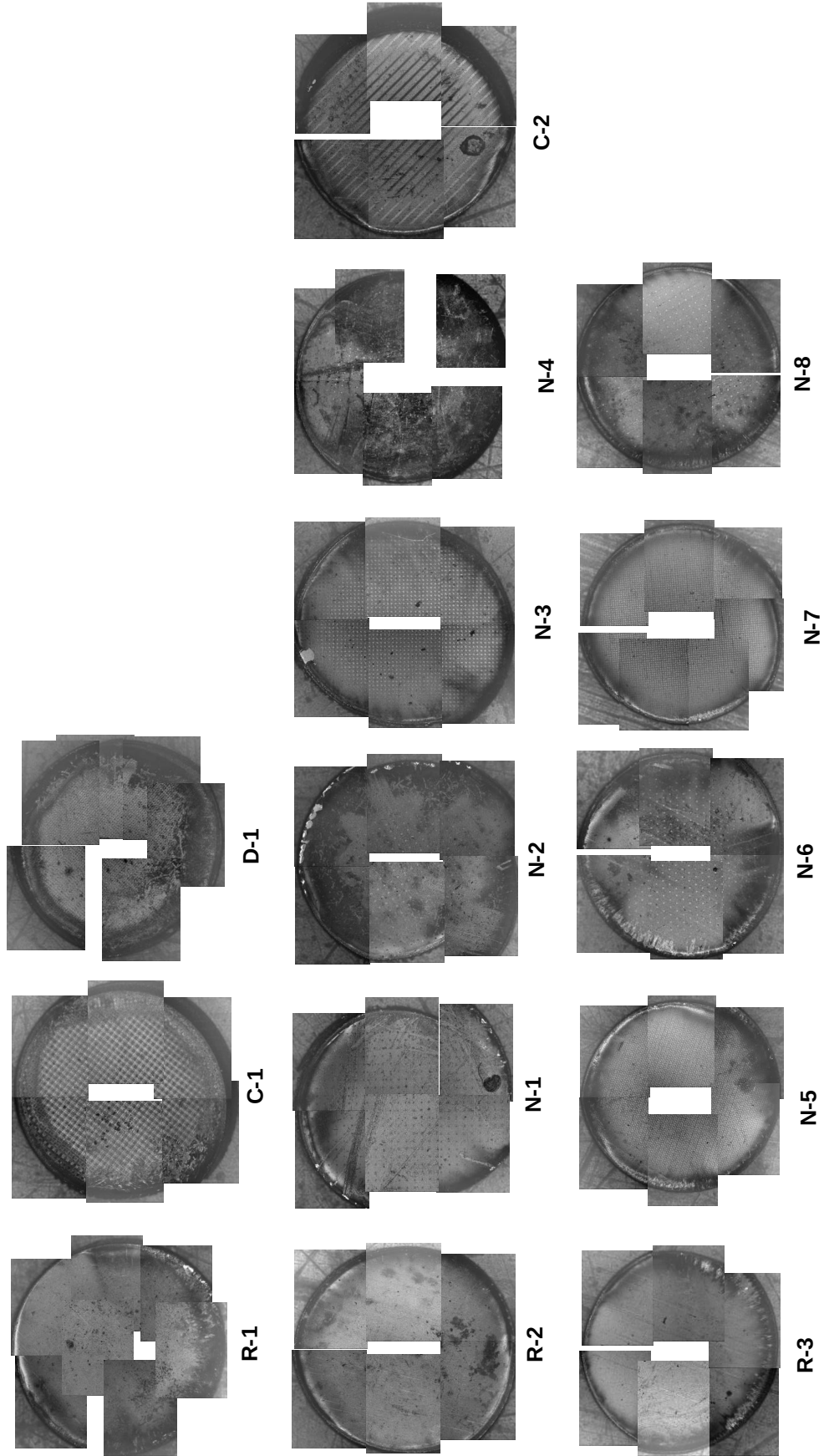
Şekil 4.30'da örneklere ait M-H döngüleri, Şekil 4.31'de M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri beraber verilmektedir. En yüksek J_C değerlerine sahip örnek çizgisel kusurlu C-2 ve noktasal kusurlu N-8 örneğidir. Resim 4.28'de verilen tüm örneklere ait yüzey görüntüleri incelendiğinde C-1, C-2, N-2, N-4, N-6, N-8 ve D-1 örneklerinde kesme kaynaklı yüzey kusurlarının daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.30. Manyetizasyon ölçümü yapılan örnekler için M-H döngüleri



Şekil 4.31. M-H eğrilerinden hesaplanan J_c değerleri



Resim 4.28. Manyetizasyon ölçümü için hazırlanan örneklere ait konfokal mikroskop görüntüleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ni-%5W şerit üzerinde, vakumsuz ortamda sol-jel ve dardırmalı kaplama tekniği kullanılarak YBCO 2. Nesil süperiletken oluşturulmaya çalışılmıştır. Bulunan en uygun ısıl işlem, çözelti oranları ve kaplama şartlarına göre YBCO için homojen, çatlaksız, kristalografik yönlendirilmesi bozulmamış, Ni-%5W şeritte oksitlenmeyi azaltan, Ni-%5W şeritte oluşan kristalografik yönlenmeyi YBCO süperiletken şeride taşıyan ve YBCO ile %100 örgü uyumlu $(Gd_{0,9}Ho_{0,1})_2O_3$ tampon katmanlar üretilmiştir. Kaplanan tampon katman vakum ortamı gerektirmeyen sol-jel ve dardırma tekniği kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen tampon katman üzerine YBCO katman, bulunan en uygun ısıl işlem, çözelti oranları ve kaplama şartlarına göre homojen, çatlaksız, kristalografik olarak yönlendirilek kaplanmıştır. YBCO katman yine vakum gerektirmeyen sol-jel ve dardırmalı kaplama tekniğiyle kaplanmıştır. SEM ve X ışını kırınım deseni analizlerinden YBCO yapının oluştuğu ve yönlenmenin gerçekleştiği görülmesine rağmen manyetizasyon ölçümünde süperiletkenlik özellikleri gözlemlenememiştir. Ni-W alaşım altlık manyetik bir malzeme olduğundan M-H döngüsünde ferromanyetik özellik baskın görünmektedir.

Bu çalışmada YBCO şerit üzerinde lazer ile kontrollü ve düzgün dağılımlı olarak oluşturulan kusurların, kritik akım yoğunluğuna etkisinin araştırılması amaçlandığından, üretilen YBCO şeritlerin lazer etkileri konusunda belirsizlik yaratabileceği düşüncesiyle ticarileşen standart YBCO şeritler temin edilmiştir. Ticarileşen süperiletken şeritlerde dengeleyici olarak en dışta Ag katman bulunmaktadır. YBCO yüzeyinde kusur oluşturabilmek için yüzeyden Ag katman arındırılarak YBCO şeritler X ışını kırınım analizi ve SEM görüntüleri ile karakterize edilmiştir.

YBCO şeritlerin lazer etkileşimi literatürde daha önce çalışılmadığından, ns-IR ve ps-UV lazer olmak üzere iki farklı lazer ile yüzeyde kusurlar oluşturulmaya çalışılarak kusur oluşturabilecek enerji aralığı ve parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. YBCO katmanda derinliği nanometre, genişliği mikrometre mertebesinde kusurlar ps-UV lazer ile oluşturulabilmektedir. Kusurların YBCO katman sınırları içinde ($1,5 \mu m$) oluşturulmak istenmesi nedeniyle kullanılacak enerji aralığı tespit edilmiştir. Tespit edilen enerji aralığını için lazerin tarama hızı, akım, frekans ve atım sayısı olmak üzere farklı değişkenler bulunmaktadır. Bu değişkenlerin kendi içerisinde değişimi, kusur enerjilerinin aynı olmasına

rağmen etkilerinde farklılık yaratmaktadır. Bu nedenle pek çok deneme yapılarak yüzeyde parametreleri ve özellikleri iyi tanımlanmış kusurlar oluşturulmaya çalışılmıştır. Yüzeyde noktasal, çizgisel, dairesel olmak üzere üç farklı şekilde kusur oluşturulmuş, oluşan kusurların boyut ve yüzey analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizler sonucu yüzeyde oluşan noktasal kusurların çapı minimum $13\ \mu\text{m}$ 'dir. Enerjinin artmasıyla derinlikte olan değişim doğrusal değildir. Bu nedenle çalışılabilecek enerji aralığı daralmaktadır. Noktasal kusur oluşturmak için enerji aralığı $1,31 \times 10^{-4}$ - $2,0 \times 10^{-4}$ J/deşik, çizgisel kusur için en çok $20\ \text{J}/\text{cm}^2$ olarak belirlenmiştir.

Kusurların, süperiletkenlik özelliklerine etkisini araştırmak için, parametreleri iyi tanımlanmış, düzenli, noktasal, çizgisel ve dairesel kusur oluşturulmuş örnek setleri hazırlanmıştır. Örnekler hazırlanırken her bir grup için referans örnek hazırlanarak şeritte olabilecek homojensizlikler bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Bu örneklerden M-H ölçümleri alınarak Bean modeline göre J_C değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de yer alan M-H döngüleri ve M-H döngülerinden hesaplanan J_C değerleri incelendiğinde, çizgisel kusurlu C-2 örneğinin en yüksek J_C değerine sahip olduğu görülmektedir. Noktasal kusurlu N-2, N-4 ve N-8 örneklerinin J_C değerlerinde de kendi referans örneklerine kıyasla iyileşme vardır. Dairesel kusur oluşturulan örnekte yüzeyin tamamı lazerle tarandığı için süperiletken yapı bozulmuştur.

İyileşme sağlanan örneklerin özellikleri gözden geçirilecek olursa, C-2 örneği $1,54\ \text{J}/\text{cm}^2$ enerji yoğunluğuna sahip ışın demeti ile $100\ \mu\text{m}$ aralıklarla taranmıştır. N-2 ve N-4 örnekleri $1,78 \times 10^{-4}$ J/deşik ile $100\ \mu\text{m}$ aralıklarla kusur oluşturulmuş örneklerdir. N-8 ise $1,63 \times 10^{-4}$ J/deşik ile $100\ \mu\text{m}$ aralıklarla kusur oluşturulmuş örnektir. N-2 ve N-4 örnekleri ile aynı enerji değerine sahip $50\ \mu\text{m}$ aralıklarla kusur oluşturulduğunda J_C değerleri azalmıştır. İyileşme görülen bu örneklerin ortak özelliği $100\ \mu\text{m}$ aralıklarla kusur oluşturulmuş olmasıdır.

Örneklerin 0 T, 1 T, 2 T, 3 T, 4 T ve 5 T için hesaplanan J_C değerleri Çizelge 5.1'de iyileşmenin sayısal oranını görebilmek için verilmiştir.

Çizelge 5.1. Lazer ile kusur oluşturulan örneklerle ait M-H döngüsünden hesaplanan J_C değerleri

Örnek Adı	Kusur Şekli	Yüzeydeki Kusur Oranı	J_C (B/c 15K) $A\ cm^{-2}$					
			0 T	1 T	2 T	3 T	4 T	5 T
R-1	Referans Örnek	-	$1,14 \times 10^6$	$7,04 \times 10^5$	$4,66 \times 10^5$	$3,73 \times 10^5$	$2,85 \times 10^5$	$2,44 \times 10^5$
C-1	Çizgisel (45°)	%64	$6,46 \times 10^5$	$2,83 \times 10^5$	$1,68 \times 10^5$	$1,25 \times 10^5$	$8,28 \times 10^4$	$6,09 \times 10^4$
	Çizgisel (135°)							
D-1	Dairesel	%100	$2,06 \times 10^4$	$3,30 \times 10^3$	$7,65 \times 10^2$	$9,78 \times 10^1$	$2,24 \times 10^1$	$1,97 \times 10^1$
R-2	Referans Örnek	-	$1,05 \times 10^6$	$6,25 \times 10^5$	$3,91 \times 10^5$	$3,15 \times 10^5$	$2,38 \times 10^5$	$2,03 \times 10^5$
C-2	Çizgisel (135°)	%28	$1,68 \times 10^6$	$1,04 \times 10^6$	$6,55 \times 10^5$	$5,16 \times 10^5$	$3,93 \times 10^5$	$3,37 \times 10^5$
N-1	Noktasal	100 deşik/mm ²	$7,93 \times 10^5$	$4,67 \times 10^5$	$3,03 \times 10^5$	$2,40 \times 10^5$	$1,80 \times 10^5$	$1,52 \times 10^5$
N-2	Noktasal	100 deşik/mm ²	$1,43 \times 10^6$	$8,75 \times 10^5$	$5,51 \times 10^5$	$4,34 \times 10^5$	$3,29 \times 10^5$	$2,83 \times 10^5$
N-3	Noktasal	100 deşik/mm ²	$8,87 \times 10^5$	$5,28 \times 10^5$	$3,42 \times 10^5$	$2,72 \times 10^5$	$2,04 \times 10^5$	$1,74 \times 10^5$
N-4	Noktasal	100 deşik/mm ²	$1,46 \times 10^6$	$9,03 \times 10^5$	$5,89 \times 10^5$	$4,70 \times 10^5$	$3,56 \times 10^6$	$3,04 \times 10^5$
R-3	Referans Örnek	-	$1,52 \times 10^6$	$9,53 \times 10^5$	$6,10 \times 10^5$	$4,87 \times 10^5$	$3,70 \times 10^5$	$3,14 \times 10^5$
N-5	Noktasal	1282 deşik/mm ²	$9,16 \times 10^5$	$5,25 \times 10^5$	$3,35 \times 10^5$	$2,64 \times 10^5$	$1,95 \times 10^5$	$1,53 \times 10^5$
N-6	Noktasal	116 deşik/mm ²	$1,33 \times 10^6$	$7,97 \times 10^5$	$5,09 \times 10^5$	$4,04 \times 10^5$	$3,05 \times 10^5$	$2,57 \times 10^5$
N-7	Noktasal	1111 deşik/mm ²	$8,69 \times 10^5$	$5,01 \times 10^5$	$3,19 \times 10^5$	$2,51 \times 10^5$	$1,85 \times 10^5$	$1,54 \times 10^5$
N-8	Noktasal	100 deşik/mm ²	$1,60 \times 10^6$	$1,00 \times 10^6$	$6,46 \times 10^5$	$5,17 \times 10^5$	$3,90 \times 10^5$	$3,34 \times 10^5$

Çizelge 5.1 incelendiğinde en yüksek J_C değerlerine sahip örnekler, çizgisel kusurlu C-2 ve noktasal kusurlu N-8 örnekleridir. 0 T’da referans R-2 örneğinin J_C değeri $1,05 \times 10^6\ A/cm^2$ iken C-2 örneğinin J_C değeri $1,68 \times 10^6\ A/cm^2$ ’ye, noktasal kusurlu N-2 örneğinde $1,43 \times 10^6\ A/cm^2$, N-4 örneğinde ise $1,43 \times 10^6\ A/cm^2$ değerine yükselmiştir. 15 K, 2 T’da ise R-2 örneğinin J_C değeri $3,91 \times 10^5\ A/cm^2$ iken, C-2 örneğinde $6,55 \times 10^5\ A/cm^2$, N-2 örneğinde $5,51 \times 10^5\ A/cm^2$, N-4 örneğinde ise $5,89 \times 10^5\ A/cm^2$ değerine yükselmiştir. J_C değerlerindeki artışı gösteren grafikler genel olarak incelendiğinde C-2 ve N-8 örneğinde 0-2 T aralığında dış manyetik alan altında kritik akım değerlerinin daha fazla arttığı gözlenmiştir. En düşük J_C değerlerine sahip örnek kusur oranı en fazla olan dairesel kusurlu D-1 örneğidir.

Manyetizasyon ölçümleri madde miktarına bağlılık göstermektedir. Örneklerde kesim kaynaklı hasarlar olmasına rağmen hesaplamalar yapılırken bu hasarlar dikkate alınmamıştır. Örneklerle ait yüzey görüntülerinin bulunduğu Resim 4.28 incelendiğinde bütün örneklerde kesme kaynaklı hasarlar mevcuttur. J_C değerlerinde iyileşme görülen N-2, N-4, N-8 ve C-2 örneklerinin yüzeylerinde, referans örneklerine kıyasla daha fazla kesme

kaynaklı hasar olduğu görülmektedir. Yapılan J_C hesaplamaları bu kusurlar dikkate alınmadan yapılmıştır. Eğer bu kusurlar dikkate alınsaydı hesaplanan J_C değerleri daha yüksek elde edilebilirdi.

Yapılan kusurların geçiş sıcaklığına etkisini görebilmek amacıyla alınganlık ölçümleri yapılmıştır. D-1 örneğinde kritik sıcaklık değeri 50 K'dir. D-1 örneğinin tüm yüzeyi lazerle tamamen taranmış ve süperiletken yapı büyük oranda bozulmuştur. Bu nedenle geçiş sıcaklığı düşmüştür. N-1, N-3, N-5, N-7 örneklerinin kritik sıcaklık değeri 90 K, R-2, R-3, N-2, N-4, N-6, N-8 ve C-2 örneklerinin geçiş sıcaklığı ise 91 K'dir. Örneklerde oluşturulan kusurların kritik sıcaklık değeri üzerinde büyük bir değişime sebep olmadığı görülmüştür.

Literatür incelenerek J_C 'nin arttığı gözlenen çalışmalar Çizelge 5.2'de verilmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde J_C değerinin uygulanan manyetik alan değerlerinin tümünde artış göstermediği sonucuna varılır. Aşağıdaki tabloda artışın en fazla olduğu bölgelerdeki sayısal değerler bulunmaktadır.

Çizelge 5.2. Literatürde yer alan yapay çivileme merkezi oluşturulmuş bazı çalışmaların referans ve işlem görmüş örneklerine ait J_C değerleri

Referans Örnek $10^6 \text{ A cm}^{-2} (\text{B//c})$	İşlem Gören Örnek $10^6 \text{ A cm}^{-2} (\text{B//c})$	Kaynak
0,12 (77 K, 5 T)	0,30 (77 K, 5 T)	[54]
1,7 (77 K, 0 T)	2,1 (77K, 0 T)	[55]
0,18 (77 K, 3 T)	0,30 (77K, 3 T)	
0,0364 (77 K, 4 T)	0,144 (77 K, 4 T)	[56]
2,9 (77 K, 0 T)	3,59 (77K, 0 T)	[57]
2,9 (77 K, 0 T)	6,4 (77K, 0 T)	[58]
0,41 (77 K, 1 T)	0,57 (77K, 1 T)	
190 (77 K, 0 T)	350 (77 K, 0 T)	[59]
3 (77,2 K, 0 T)	5 (77,2 K, 0 T)	[60]
4.89 (77 K, 0 T)	8,42 (77 K, 0 T)	[62]
1,05 (15 K, 0 T)	1,68 (15 K, 0 T)	Bu çalışma
	1,46 (15 K, 0 T)	

Literatüre göre J_C değerini artırmak için yapılan bütün çalışmalar, dışarıdan katkı etkisi, ek işlemler ve buna bağlı olarak ek üretim maliyetleri getirmektedir. Ayrıca bu katkılama işlemleri ile şeritlerin endüstriyel olarak sınırsız boyutta üretilmesi oldukça zordur. Nano seviyede yapılan katkılama etkisinin bazı manyetik alan altındaki J_C değerlerine oldukça

yüksek artışlara neden olmasına rağmen düşük manyetik alanlarda ise aynı etkiyi göstermediği görülmektedir. Bu çalışmada sunulan yöntem ise, ek malzeme ve işlem gerektirmeksizin, yapı üzerinde sonsuz uzunlukta kullanılabilir endüstriyel bir yöntemdir. Bu veriler ışığında, bu yeni yöntemle kritik akım yoğunluğunun artırılabilceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Onnes, H. K. (1911). Disappearance of the electrical resistance of mercury. *Akademie van Wetenschappen*, 14, (I) 113-115.
2. Onnes, H. K. (1911). On the sudden change in the rate at which the resistance of mercury disappears, *Akademie van Wetenschappen*, 14(II), 818-821.
3. Meissner, W., Ochsenfeld, R. (1933). Superconductivity. *Naturwissenschaft*, 21, 787-788.
4. Matsumoto, K., Mele, P. (2010). Artificial pinning center technology to enhance vortex pinning in YBCO coated conductors. *Superconductor Science and Technology*, 23, 014001.
5. Kwok, W. K., Welp, U., Glatz, A., Koshelev, A. E., K. J. Kihlstrom, K. J., Crabtree, G. W. (2016). Vortices in high-performance high-temperature superconductors. *Reports on Progress in Physics*, 79, 116501.
6. Varanasi, C., Barnes, P. N., Burke, J., Carpenter, J. ve Haugan, T. (2005). Controlled introduction of flux pinning centers in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films during pulsed-laser deposition. *Applied Physics Letters*, 87, 262510.
7. Crisan, A., Sarkar, A., Mikheenko, P., Dang V. S., Awang Kechik, M. M., Abell, J. S. (2009). Improvement of pinning force and critical current density in thick $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films grown on SrTiO_3 substrates decorated with LaNiO_3 nanodots. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 22, 631–636.
8. Wimbush, S. C., Durrell, J. H., Tsai, C. F., Wang, H., Jia, Q. X., Blamire, M. G. ve MacManus-Driscoll, J. L. (2010). Enhanced critical current in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films through pinning by ferromagnetic YFeO_3 nanoparticles. *Superconductor Science and Technology*, 23, 045019.
9. Bagarinao K. D., Wimbush, S. C., Matsui, H., Yamaguchi, I. ve MacManus-Driscoll, J. L. (2012). Enhanced flux pinning in MOD $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ films by ion milling through anodic alumina templates. *Superconductor Science and Technology*, 25, 065005.
10. Obradors, X., Puig, T., Ricart, S., Coll, M., Gazquez, J., Palau A. ve Granados, X. (2012). Growth, nanostructure and vortex pinning in superconducting $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ thin films based on trifluoroacetate solutions. *Superconductor Science and Technology*, 25, 123001.
11. Jha, A. K., Matsumoto, K., Tomoya, H., Saini, S., Mele, P., Yoshida, Y. ve Awaji, S. (2014). Tuning the microstructure and vortex pinning properties of YBCO-based superconducting nanocomposite films by controlling the target rotation speed. *Superconductor Science and Technology*, 27, 025009 10.
12. Li, C. S., Jin, L. H., Yu, Z. M., Zhang, S. N., Lu, Y. F., Feng, J. Q., Wang, Y., Zhang, P. X. (2014). Enhanced flux pinning in YGdBCO film grown by sol-gel approach. *Journal of Sol-Gel Science Technology*, 70, 67–71.

13. Tsai, C.F., Huang, J., Lee, J. H., Khatkhatay, F., Chen, L., Chen, A., Su, Q., Wang, H., (2015). Tunable flux pinning landscapes achieved by functional ferromagnetic $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{CeO}_2$ vertically aligned nanocomposites in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films. *Physica C*, 510, 13.
14. S Miura, S., Tsuchiya, Y., Yoshida Y., Ichino, Y., Awaji, S., Matsumoto, K., Ibi, A. ve Izumi, T. (2017). Strong flux pinning at 4.2K in $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ coated conductors with BaHfO_3 nanorods controlled by low growth temperature. *Superconductor Science and Technology*, 30, 084009.
15. Poole, C.P., Prozorov, R., Farach, H. A., Creswick, R. J. (2014). *Superconductivity (Third Edition)*. Elsevier Inc., 35.
16. London, H., London, F. (1935). The electromagnetic Equations of the Superconductors. *Proceeding of the Royal Society A*, 149, 71.
17. Ginzburg, V. L., Landau, L. (1950). On the theory of superconductivity. *Zhurnal Éksperimental'noĭ i Teoreticheskoi Fiziki*, 20, 1064.
18. Fröhlich, H. (1950). Theory of the superconducting state. I. The ground state at the absolute zero of temperature. *Physical Review*, 79, 845.
19. Maxwell, E. (1950). Isotope effect in the superconductivity of mercury. *Physical Review*, 78, 477.
20. Reynolds, C. A., Serin, B., Wright, W. H. ve Nesbitt, L. B. (1950). Superconductivity of isotopes of mercury. *Physical Review*, 78, 487.
21. Bardeen, J., Cooper, L. N. ve Schrieffer, J. R. (1957). Theory of superconductivity. *Physical Review*, 108(5), 1175-1204.
22. Bardeen, J., Cooper, L. N. ve Schrieffer, J. R. (1957). Microscopic theory of superconductivity. *Physical Review*, 106, 162.
23. Pippard, A. B. (1953). An experimental and theoretical study of the relation between magnetic field and current in a superconductor. *Proceedings of the Royal Society of London A*, 216, 547.
24. Abrikosov, A. A. (1957). On the magnetic properties of superconductors of the second group. *Soviet Physics Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 5, 1174-1182.
25. Bednorz, J. G. ve Muller, K. A. (1986). Possible high- T_c superconductivity the Ba-La-Cu-O system. *Zeitschrift für Physik B Condensed Matter*, 64, 189-193.
26. Chu, C. W., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L. ve Huang, Z. J. (1987). Evidence for superconductivity above 40 K in the La-Ba-Cu-O compound system. *Physical Review Letters*, 58(4), 405-409.
27. Wu, M. K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q. ve Chu, C. W. (1987). Superconductivity at 93 K in a new mixed phase Y-

- Ba-Cu-O compound system at ambient pressure. *Physical Review Letters*, 58(9), 908-910.
28. Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutomi, Y. ve Asano, T. (1988). A new high-T_c oxide superconductor without a rare earth element. *Japanese Journal of Applied Physics*, 27(2), 209-210.
 29. Tallon, J. L., Buckley, R. G., Gilberd, P.W., Presland, M. R., Brown, I.W.M., Bowden M. E., Christian, L. A., Goguel, R. (1988). High- T_c superconducting phases in the series Bi_{2.1}(Ca,Sr)_{n+1}Cu_nO_{2n+4+δ}. *Nature*, 333, 153-156.
 30. Sheng, Z. Z. ve Hermann, A. M. (1988). Bulk superconductivity at 120 K in the Tl-Ca/Ba-Cu-O system. *Nature*, 332, 138-139.
 31. Schilling, A., Cantoni, M., Guo, J. D., & Ott, H. R. (1993). Superconductivity above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O system. *Nature*, 363, 56-58.
 32. Gao, L., Xue, Y. Y., Chen, F., Xiong, Q., Meng, R. L., Ramisen, D. ve Chu, C. W. (1994). Superconductivity up to 164 k in HgBa₂Ca_{m-1}Cu_mO_{2m+2+D} (m=1,2 and 3) under quasihydrostatic pressure. *Physical Review B (Condensed Matter)*, 50, 4240-4263.
 33. Nagamatsu, J., Nakagawa, N., Muranaka, T., Zenitani, Y., Akimitsu, J. (2001). Superconductivity at 39 K in magnesium diboride. *Nature*, 410(6824),63-64.
 34. Kamihara, Y., Watanabe, T., Hirano, M. and Hosono, H. (2008). Iron-based layered superconductor La[O_{1-x}F_x]FeAs (x=0,05-0,12) with T_c=26 K. *Journal of American Chemical Society*, 130, 3296.
 35. Abrikosov, A. A. (2003). Type II superconductors and the vortex lattice. Nobel Lecture
 36. Essmann, U. and Träuble, H. (1967). The direct observation of individual flux lines in type II superconductors. *Physics Letters A*, 24, 526-527.
 37. Gammel, P. L., Bishop, D. J., Dolan, G. J., Kwo, J. R., Murray, C. A., Schneemeyer, L. F. and Waszczak, J. V. (1987). Observation of hexagonally correlated flux quanta in YBa₂Cu₃O₇. *Physical Review Letters*, 59 (22), 2592.
 38. Bolle, C. A., Gammel, P. L., Grier, D. G., Murray C. A. and Bishop, D. J. (1991). Observation of a commensurate array of flux chains in tilted flux lattices in Bi-Sr-Ca-Cu-O single crystals. *Physical Review Letters*. 66, 112–115.
 39. Bezryadin, A., Ovchinnikov, Yu. N., Pannetier, B. (1996). Nucleation of vortices inside open and blind microholes. *Physical Review B*, 53, 8553.
 40. Harada, K., Kamimura, O., Kasai, H., Matsuda, T., Tonomura, A. and Moshchalkov, V. V. (1996). Direct observation of vortex dynamics in superconducting films with regular arrays of defects. *Science*, 274(5290), 1167-1170.
 41. Grigorenko, A., Bending, S., Tamegai, T., Ooi, S. and Henini, M. (2001). A one-dimensional chain state of vortex matter. *Nature*, 414, 728-731.

42. Straub, R., Keil, S., Kleiner, R. and Koelle, D. (2001). Low-frequency flux noise and visualization of vortices in a $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ dc superconducting quantum interference device washer with an integrated input coil. *Applied Physics Letters*, 78, 3645.
43. Sosolik, C. E., Strosio, J. A., Stiles, M. D., Hudson, E. W., Blankenship, S. R., Fein, A. P. and Celotta, R. J. (2003). Real-space imaging of structural transitions in the vortex lattice of V3Si. *Physical Review B*, 68, 140503(R).
44. Civale, L. (1997). Vortex pinning and creep in high temperature superconductors with columnar defects. *Superconductor Science and Technology*, 10, A11.
45. Foltyn, S. R., Civale, L., MacManus-Driscoll, J. L., Jia, Q. X., Maiorov, B., Wang, H. and Maley, M. (2007). Materials science challenges for high-temperature superconducting wire. *Nature Materials*, 6, 631-642.
46. Rey, C., (2015). *Superconductors in the Power Grid Materials and Applications*. USA Woodhead Publishing Elsevier, 58.
47. Bean, C.P. (1964). Magnetization of high-field superconductors. *Review of Modern Physics*, 36, 31-39.
48. Campbell A. M., Evetts J. E. (1972). *Critical currents in superconductors*, London: Taylor and Francis; New York: Barnes & Noble.
49. Flükiger, R. (2012). Overview of superconductivity and challenges in applications. *Reviews of Accelerator Science and Technology*, 5, 1.
50. Bean, C. P. (1962). Magnetization of hard superconductors. *Physical Review Letters* 8, 250.
51. Warnes W. H., Larbalestier, D. C. (1986). Analytical technique for deriving the distribution of critical currents in a superconducting wire. *Applied Physics Letters*, 38-48, 1403.
52. Blatter, G., Feigelman, M. V., Geshkenbein, V. B., Larkin, A. I., Vinokur, V. M. (1994). Vortices in high-temperature superconductors. *Reviews of Modern Physics*, 66, 1125.
53. Malozemoff, A. P. (2012). Second-generation high-temperature superconductor wires for the electric power grid. *Annual Review of Materials Research*, 42, 373-397.
54. Matsumoto, K. Horide, T. Pele, P. Yoshida, Y. Mukaida, M. Ichinose, A. Horii, S. (2005). Effect of artificial pinning centers on vortex pinning in high-temperature superconducting films, *Physica C*, 426-431, 1091-1095.
55. Matsumoto, K., Horide, T., Ichinose, A., Horii, S., Yoshida, Y. and Mukaida, M. (2005). Critical current control in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films using artificial pinning centers. *Japanese Journal of Applied Physics*, 44(7), L246-L248.

56. Jha, A. K., Khare, N. and Pinto, R. (2011). Interface engineering using ferromagnetic nanoparticles for enhancing pinning in YBCO thin films. *Journal of Applied Physics*, 110, 113920.
57. Jha, A. K., Khare, N. and Pinto, R. (2012). Comparison of flux pinning mechanism in laser ablated YBCO and YBCO:BaZrO₃ nanocomposite thin films. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 25, 377-380.
58. Jha, A. K., Khare, N. and Pinto, R. (2011). Enhanced flux pinning in pulsed laser deposited YBCO:BaTiO₃ nanocomposite thin films. *Solid State Communications*, 151, 1447-1451.
59. Jha, A. K., Khare, N. (2010). Investigation of flux pinning properties of YBCO:BaZrO₃ composite superconductor from temperature dependent magnetization studies. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322, 2653-2657.
60. Goswami, R., Haugan, T. J., Barnes, P. N., Spanos, G., Holtz, R. L. (2010). Effects of nanoscale defects on critical current density of (Y_{1-x}Eu_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} thin films. *Physica C*, 470, 318–322.
61. Matsui, H., Ogiso, H., Yamasaki, H., Sohma, M., Yamaguchi, I., Kumagai, T., Manabe, T. (2013). Dimpling in critical current density vs. magnetic field angle in YBa₂Cu₃O₇ films irradiated with 3-MeV gold ions. *Journal of Applied Physics*, 114, 233911.
62. Bian, W., Chen, Y., Yin, X., Tang, X., Feng, Y., Zhang, K., Wu, H., Li, L., Hong, F., Zhao, G., You, C., (2016). Manipulation of YBCO film properties by the introduction of perovskite BaTiO₃ nanodots as substrate decorations. *Journal of the European Ceramic Society*, 36, 3417–3422.
63. Yildirim, G., Dogruer, M., Karaboga, F., Terzioglu, C. (2014). Formation of nucleation centers for vortices in Bi-2223 superconducting core by dispersed Sn nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 584, 344–351.
64. Sonmez, E., Ertugrul, M., (2013). Enhanced critical current density using Nd₂O₃ nano-islands on NdBa₂Cu₃O_{7-δ} thin films prepared by PLD. *European Physical Journal-Applied Physics*, 62, 10403.
65. Tinkham, M., (1996). *Introduction to Superconductivity (2nd edition)*. ABD: McGraw-Hill, Inc., 316.
66. Ma, Y.W., Xiao, L.Y., (2004). Second Generation YBCO Coated Conductors: A Review. *Chinese Science Bulletin*, 49 (23) 2435-2439.
67. Larbalestier, D., Gurevich, A., Feldmann, D. M. and Polyanskii, A. (2001). High-T_c superconducting materials for electric power applications. *Nature*, 414 (6861), 368-377.
68. Malozemoff, A. P., Annavarapu, S., Fritzemeier, L., Li, Q., Prunier, V., Rupich, Thieme, M. C., Zhang, W., Goyal A., Paranthaman M. and Lee, D F. (2000). Low-cost YBCO coated conductor technology. *Superconductor Science Technology*, 13, 473–476.

69. Rogalla, H., Kes, P. H. (2012). *100 Years of Superconductivity*. ABD, CRC Press, 700.
70. Vanderah, T.A., (1992). *Chemistry of Superconductor Materials*. ABD, Noyes Publications, 488.
71. Poole, C.P., Prozorov, R., Farach, H. A., Creswick, R. J. (2007). *Superconductivity (Second Edition)*. Elsevier Ltd., 202.
72. Beno, M. A., Soderholm, L., Capone, D. W., Hinks, D. G., Jorgensen, J. D., Grace, J. D., Schuller, I. K., Segre, C. U. and Zhang, K. (1987). Structure of the single-phase high-temperature superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. *Applied Physics Letter*, 51, 57.
73. McCarron III, E. M., Crawford, M. K. and Parise, J. B. (1989). Observation of superconductivity in $(\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$. *Journal of Solid State Chemistry*, 78(1), 192-196.
74. Bordet, P., Chaillout, C., Chenavas, J., Hodeau, J. L., Marezio, M., Karpinski, J. and Kaldis, E. (1988). Structure determination of the new high-temperature superconductor $\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{14+x}$. *Nature*, 334, 596-598.
75. Marsh, P., Fleming, R. M., Mandich, M. L., DeSantolo, A. M., Kwo, J., Hong, M., Martinez-Miranda, L. J. (1988). Crystal structure of the 80 K superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$. *Nature*, 334, 660.
76. Karpinski, J., Rusiecki, S., Bucher, B., Kaldis, E., Jilek, E. (1989). The nonstoichiometry of the high- T_c superconductor $\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15\pm x}$ ($14\text{ K} \leq T_c \leq 68\text{ K}$). *Physica C*, 161 (5-6), 618-625.
77. Genoud, J.-Y., Graf, T., Triscone, G., Junod, A., Muller, J. (1992). Variation of the superconducting and structural properties of $\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_z$ with oxygen content ($14.1 < z < 15.3$, $30\text{ K} \leq T_c \leq 95\text{ K}$). *Physica C*, 192(1-2), 137-146.
78. Bassani, F., Liedl, G. L., Wyder, P. (2005). *Encyclopedia of condensed matter physics*. Elsevier Ltd. 6, 82.
79. Goyal, A., (2005). *Second-Generation HTS Conductors*. ABD: Kluwer Academic Publishers, 275.
80. Knoth K., Engel, S., Apetrii, C., Falter, M., Schlobach, B., Hühne, R., Oswald, S., Schultz, L., Holzapfel, B. (2006). Chemical solution deposition of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ coated conductors. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 10, 205-216
81. Narayanan, V. and Van Driessche, I., (2012). Aqueous chemical solution deposition of lanthanum zirconate and related lattice matched single buffer layers suitable for YBCO coated conductors: A review. *Progress in Solid State Chemistry*, 40, 57-77.
82. Goyal, A., Paranthaman, M. and Schoop, U. (2004). The RABITS Approach: Using rolling-assisted biaxially textured substrates for high-performance YBCO superconductors. *MRS Bulletin*, 29(8), 552-561.

83. Wellstood, F. C., Fingston, J. J. and Clarke, J. (1994). Thin-film multilayer interconnect technology for $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. *Journal of Applied Physics*, 75, 683.
84. Paranthaman, M., Chirayil, T. G., Sathyamurthy, S., Beach, D. B., Goyal, A., List, F. A., Lee, D. F., Cui, X., Lu, S. W., Kang, B., Specht, E. D., Martin, P. M., Kroeger, D.M., Feenstra, R., Cantoni, C. and Christen, D. K. (2001). Fabrication of long lengths of YBCO coated conductors using a continuous reel-to-reel dip-coating unit. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 11 (1), 3146-3149.
85. Bhuiyan, M. S., Paranthaman, M. and Salama, K., (2006). Solution-derived textured oxide thin films- a review. *Superconductor Science Technology*, 19, R1–R21.
86. Rupich, M., Verebelyi, D., Zhang, W., Kodenkandath, T. and Li, X. (2004). Metalorganic deposition of YBCO films for second-generation high-temperature superconductor wires. *MRS Bulletin*, 29 (8), 572-578.
87. Ion, J. C. (2005). *Laser processing of engineering materials: principles, procedure and industrial applications (1st ed.)*. Oxford: Elsevier, 188-197.
88. Majumdar, J.D. and Manna, I., (2003). Laser processing of materials. *Sadhana*, 28 (3-4), 496.
89. Arda, L. and Heiba, Z. K. (2010). Rare-earth mixed oxide thin films as 100% lattice match buffer layers for $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ coated conductors. *Thin Solid Films*, 518, 3345-3350.
90. Okuyucu H., Arda, L., Akin, Y., Heiba, Z., Aslanoglu, Z. and Hascicek, Y. S., (2003). Development of 100% lattice match buffer layers on RABITS Ni tapes by sol-gel. *IEEE Transaction Applied on Superconductivity*, 13(2), 2680-2683.
91. Okuyucu, H., Arda, L., Heiba, Z. K., El-Kawni, M. I., Tolliver, J. C., Barnes, P. N., Aslanoglu, Z., Akin, Y. and Hascicek, Y. S. (2003). Y-and Yb-123 coated conductor development by PLD and sol-gel on $(\text{Gd}_{1-x}\text{Er}_x)_2\text{O}_3$ buffered Ni tapes. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 13 (2), 2677-2679.
92. Shi, D. L., Xu, Y. L., Wang, S. X., Lian, J., Wang, L. M., McClellan, S. M., Buchanan, R. and Goretta, K. C. (2002). Deposition and interface structures of YBCO thin films via a non-fluorine sol-gel route. *Physica C*, 371, 97-103.
93. Krupke, R., Barkay, Z., Deutscher, G. (1999). A systematic approach to reduce macroscopic defects in c-axis oriented YBCO films. *Physica C*, 315, 99-106.
94. Beshkova, M., Blagoev, B., Kovachevaa, D., Mladenov, G., Nurgaliev, T. (2009). Effect of thermal annealing on the properties of the YBCO films grown by DC magnetron sputtering. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 11 (10), 1537-1540.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TURAN, Neslihan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1978, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 5322234550
 e-mail : nngokdemir@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Fizik	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik	2006
Lisans	Abant İzzet Baysal Üniversitesi / Fizik	2002
Lise	Bahçelievler Cumhuriyet Lisesi / Ankara	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	Gazi Üniversitesi	Akademik Uzman
2007-2012	ADDS Dişli Dövme San. Ltd. Şti.	Ölç. ve Kalibrasyon Uzm.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-



GAZİ GELECEKTİR..