

**Y-Ba-Cu-O YÜKSEK SICAKLIK SÜPERİLETKEN SİSTEMİNİN  
MİKROYAPI VE SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİNE  
HOLYUM VE VANADYUM DOPİNGİNİN ETKİSİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Fizik Anabilim Dalı**

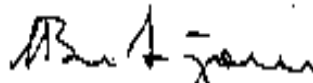
**Gülcan GÜLTİN**

**Danışman: Prof. Dr. Veysel KUZUCU**

**Haziran,2009**

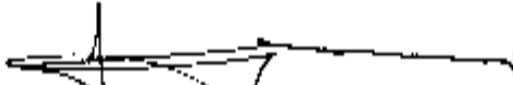
**YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU**

Gülcan GÖLTİN tarafından Prof. Dr. Veyzel KUZUÇU yönetiminde hazırlanan "**Y-Ba-Cu-O Yüksek Sıcaklık Süperiletken Sisteminin Mikroyapı ve Süperiletkenlik Özelliklerine Holyum ve Vanadyum Dopajının Etkisi**" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Hasan ERDOĞAN

Jüri Başkanı



Doç. Dr. Seyhan ÇAKMAK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Veyzel KUZUÇU

Jüri Üyesi (Danışman)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Halil KARAHAN**

Müdür



Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini;bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :  
Öğrenci adı soyadı: Gülcan GÜLTİN

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince. 2006 FBE 019 nolu araştırma projesi olarak desteklendi. Desteklerinden dolayı Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezi çalışmamda her adımda yanımda bulunarak desteğini esirgemeyen, yol gösterip laboratuvar çalışmalarında öğretici ve destekleyici tavırlarıyla sabırla yanımda yer alan, yoğun işlerinin arasında her fırsatta bana zaman ayıran, konu seçimim ve bu çalışmayı yapmamda oldukça emeği geçen hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. Veysel KUZUCU' ya teşekkür ederim.

Deneylerin yapılması aşamasında güleryüz ve samimiyetle teknik işlerim konusunda bana yardımcı olan Uzm. Süleyman Şahin ÇELİK'e teşekkür ederim.

Gülcan GÜLTİN

## ÖZET

### **Y-Ba-Cu-O YÜKSEK SICAKLIK SÜPERİLETKEN SİSTEMİNİN MİKROYAPI VE SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİNE HOLYUM VE VANADYUM DOPİNGİNİN ETKİSİ**

Gültin, Gülcan  
Yüksek Lisans Tezi, Fizik ABD  
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Veysel KUZUCU

Haziran 2009, 139 Sayfa

Eritme-Yönlendirme-Büyütme metodu kullanılarak  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) yüksek sıcaklık süperiletken numuneleri üretildi. Bu numunelerin mikroyapıları polarize ışık metal mikroskobu kullanılarak incelendi. Clemex adlı bilgisayar programı vasıtasıyla (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının (Y,Ho)123 süperiletken faz içinde dağılımlarının istatistik analizleri yapıldı. (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının sayıları, ortalama büyüklükleri, ortalama alanları, yoğunlukları, küresel ve dairesel çapları, ortalama mesafeleri ve faz oranları belirlendi. Mesafenin bir fonksiyonu olarak numunelerin manyetik kaldırma kuvvetleri ölçüldü. Kaldırma kuvveti histeresis eğrileri ve maksimum itici-çekici kuvvetler belirlendi. Sıcaklık-direnç ve sıcaklık-indüktans ölçümleri yapıldı. Numunelerin süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları ve manyetik geçiş sıcaklıkları belirlendi. Ho katkısının tane büyüklüğünü artırdığı, tane sınırlarının kalitesini iyileştirdiği, (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının sayısını artırdığı, boyutlarını küçülttüğü ve onların dağılımını daha homojenleştirdiği, manyetik kaldırma kuvvetini iyileştirdiği, süperiletkenlik geçiş sıcaklığını ve manyetik geçiş sıcaklığını yaklaşık 3 - 5 K artırdığı görüldü ve akım yoğunluğunu artıracağı sonucuna varıldı. Vanadyum katkısının tane büyüklüğünü küçülttüğü, Y211 parçacıklarını irileştirdiği ve sayısını artırdığı, kaldırma kuvvetini azalttığı, süperiletkenlik geçiş sıcaklığını ~ 4 K ve manyetik geçiş sıcaklığını yaklaşık 4 - 10 K artırdığı görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** YBCO, Ho, V, Süperiletkenlik, Y211 Fazı, Manyetik kaldırma kuvveti

## ABSTRACT

### EFFECT OF HOLLMIUM AND VANADIUM DOPING ON MICROSTRUCTURE AND SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF Y-Ba-Cu-O HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR SYSTEM

A series of samples of  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) high temperature superconductors were prepared by melt-textured-growth method. Microstructures of the samples were investigated by polarized light metal microscope. Statistical analysis of distribution of (Y,Ho)211 non-superconducting phase particles within (Y,Ho)123 superconducting phase were made by a microscope software named Clemex. The numbers, mean sizes, mean surface fields, densities, mean distances, mean circular diameters, mean spherical diameters and mean phase ratios of (Y,Ho)211 non-superconducting phase particles were determined. Levitation forces for the samples were measured as a function of distances. Hysteresis loops of levitation forces and maximum repulsive-attractive forces were determined. Resistance and mutual inductance for samples were measured as a function of temperature. Superconducting transition temperatures and magnetic (ferromagnetic-diamagnetic) transition temperatures for the samples were determined. It was seen that partial substitution of Y by Ho in  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  high temperature superconductor was increased grain size, and superconducting transition temperature and magnetic transition temperature approximately 3 - 5 K, improved the quality of the grain boundaries and levitation force, In addition, It was more homogenized the distribution of (Y,Ho)211 non-superconducting phase particles within (Y,Ho)123 superconducting phase and increased the number of particles of (Y,Ho)211, but it was decreased size of (Y,Ho)211 particles. It was concluded that Ho substitution could improved  $J_c$  critical current density. It was seen that Vanadium substitution could decrease grain size, increase the number of Y211 particles and increase their numbers, decrease Levitation force, increase superconducting transition temperatures  $\sim 4$  K and magnetic transition temperatures approximately 4 - 10 K.

**Key Words:** YBCO, Ho, V, Superconductivity, Y211 Phase, Levitation Force

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İçindekiler.....	VII
Şekiller Dizini.....	VIII
Tablolar Dizini.....	IV
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Süperiletkenlerin Temel Özellikleri.....	4
2.2 Süperiletkenlerin Teknolojik Uygulamaları.....	9
2.3 Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri .....	11
2.4 YBCO.....	13
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	30
3.1 $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ Süperiletken Numunelerin Üretilmesi.....	30
3.2 Kaldırma Kuvveti Ölçümleri.....	36
3.3 Mikroyapı.....	37
3.4 Elektriksel Direnç Ölçümleri.....	38
3.5 İndüktans-Sıcaklık Ölçümleri.....	39
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	41
4.1 Mikroyapısal Analiz Sonuçları.....	41
4.2 Kaldırma Kuvveti Ölçümü Sonuçları.....	106
4.3 Elektriksel Direnç Ölçümü Sonuçları.....	120
4.4 Karşılıklı İndüktans Ölçüm Sonuçları.....	125
5. SONUÇLAR.....	128
6. KAYNAKLAR.....	130
7. ÖZGEÇMİŞ.....	139

## ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Meissner olayı.....	5
Şekil 2.2 Manyetik kaldırma kuvveti.....	5
Şekil 2.3 Bir süperiletken için ısı kapasitesi (C) ve özdirencin ( $\rho$ ) sıcaklıklar değişimi.	6
Şekil 2.4 Manyetik alan ihtiva etmeyen süper iletken bölgelerle manyetik alan ihtiva eden karışık bölgelerden ibaret olan ara durum.....	7
Şekil 2.5 I. ve II. tip süperiletkenler.....	7
Şekil 2.6 Dış manyetik alanın süperiletken içine nüfuz etmesi ve $\lambda_L$ nüfuz derinliği....	8
Şekil 2.7 Josephson olayı.....	8
Şekil 2.8 Süperiletken zarf.....	8
Şekil 2.9 Süperiletkenlerin Tc kritik sıcaklığındaki artışın kronolojisi (Lubenets vd (2004). ....	11
Şekil 2.10 ABX <sub>3</sub> genel formüllü Perovskite (BaTiO <sub>3</sub> ) yapı kübik simetrlili bir birim hücreye sahiptir. A ve B atomları katyon, X atomu ise anyondur. BaTiO <sub>3</sub> için Ba ve Ti atomları katyon, O atomları ise anyondur.....	13
Şekil 2.11 YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-<math>\delta</math></sub> nin birim hücrelerinin çeşitli görünüşleri (Kulikov vd (2001). ....	14
Şekil 2.12 YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-<math>\delta</math></sub> nin CuO <sub>2</sub> düzlemleri ve Cu-O zincirlerini gösteren birim hücresi (Ayache 2006). ....	14
Şekil 2.13 Y123 ün tetragonal ve ortorombik birim hücreleri (Ayache 2006).....	16
Şekil 2.14 Y123 de ortorombik ve tetragonal fazların özdirencinin sıcaklığa bağlılığı (Shiohara ve Endo 1997) .....	16
Şekli 2.15 YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-<math>\delta</math></sub> de Tc nin oksijen içeriği 7- $\delta$ ya bağlılığı (Shiohara ve Endo 1997). ....	16
Şekil 2.16 Değişik oksijen kısmi basınçları için oksijen eksikliğinin bir fonksiyonu olarak örgü parametrelerinin değişimi (Ayache 2006).....	17
Şekil 2.17 Y123 fazlarının oluşumu üzerine sıcaklığın ve oksijen kısmi basıncının etkisini gösteren yapısal faz diyagramı (Ayache 2006).....	17

Şekil 2.18 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ da çeşitli sıcaklıklarda ve oksijen basınçlarında hesaplanan oksijen içeriğinin deneysel sonuçlarla (içi boş kareler) karşılaştırılması. Kesikli çizgi ortorombik-teragonal faz geçişini gösterir (Shiohara ve Endo 1997).....	18
Şekil 2.19 Ortorombik yapıdaki $YBa_2Cu_3O_7$ 'nin birim hücresi (Balcı 2000).....	19
Şekil 2.20 $Y_2O_3$ -BaO-CuO <sub>x</sub> sisteminin 0,21 atmosfer oksijen basıncında a) 1223 K ve b) 1273 K da hesaplanan izotermal kesitleri (Lee ve Lee 1991).....	20
Şekil 2.21 $Y_2O_3$ -BaO-CuO sisteminin 0,21 atmosfer oksijen basıncında hesaplanan düşey kesiti(Lee ve Lee 1991) ve likidis çizgisinin deneysel sonuçları (Krauns vd 1994).....	21
Şekil 2.22 Farklı kısmi oksijen basınçları altında eriyik haldeki $Ba_3Cu_5O_8$ içinde Y nin likidis çizgileri (Shiohara ve Endo 1997).....	21
Şekil 2.23 Hava atmosferi altında $Ba_3Cu_5O_8$ eriyiği içinde RE nin likidis çizgileri (Krauns vd 1994, Shiohara ve Endo, 1997). RE $\equiv$ Y, Yb, Dy, Gd, Sm, ve Nd.....	22
Şekil 2.24 Akı sabitleme (pinning) merkezli bir süperiletken tarafından dışarı atılan manyetik akı çizgilerinin şematik izahı (Murakami 1992).....	23
Şekil 2.25 Değişik şartlar altında sinterlenmiş $A_0$ , $A_1$ , $B_0$ , ve $B_1$ numunelerinin R(T) ölçümleri (Ayache 2006).....	26
Şekil 2.26 MTG ve Geliştirilmiş MTG yöntemlerinin şematik gösterimi (Murakami1992).....	28
Şekil 3.1 Honeywell sıcaklık kontrol ünitesi Protherm marka kare fırın.....	33
Şekil 3.2 Kalsinasyon ısıl işlem şeması.....	33
Şekil 3.3 Sinterleme ısıl işlem şeması.....	34
Şekil 3.4 Honeywell sıcaklık kontrol ünitesi Protherm marka tüp fırın.....	34
Şekil 3.5 Kristal büyütme işleminin ısıl işlem şeması.....	35
Şekil 3.6 Numunelere oksijen verilme ısıl işlem şeması.....	35
Şekil 3.7 Kaldırma kuvveti deney sistemi.....	36
Şekil 3.8 Nikon ECLIPSE ME600 marka polarize ışık mikroskobu.....	37
Şekil 3.9 Sıcaklığa bağlı direnç ölçüm sistemi.....	38
Şekil 3.10 Janis marka ACMAS-1 model manyetik alınganlıkmetre.....	40
Şekil 3.11 Alınganlık metrede primer ve sekonder bobinlerin sıralanması.....	40

Şekil 4.1 $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) numunelerinin üç farklı büyütmelerde polarize ışık mikroskop fotoğrafları.....	46
Şekil 4.2 $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin üç farklı büyütmelerde polarize ışık mikroskop fotoğrafları.....	51
Şekil 4.3 $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin üç farklı büyütmelerde polarize ışık mikroskop fotoğrafları.....	56
Şekil 4.4 $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin üç farklı büyütmelerde polarize ışık mikroskop fotoğrafları.....	61
Şekil 4.5 $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin üç farklı büyütmelerde polarize ışık mikroskop fotoğrafları.....	66
Şekil 4.6 a) $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.03}Cu_{2.97}O_{7-\delta}$ , b) $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.06}Cu_{2.94}O_{7-\delta}$ , c) $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.09}Cu_{2.91}O_{7-\delta}$ ve d) $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.12}Cu_{2.88}O_{7-\delta}$ numunelerinde tane büyüklüğü üzerine $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6$ oranlarında Ho katkısının etkisini gösteren polarize ışık mikroskopu fotoğrafları.....	71
Şekil 4.7 $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) numunelerinin taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmelerde polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali.d) Y211 parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.....	77
Şekil 4.8 $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmelerde polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d) Y211 parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.....	82
Şekil 4.9 $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmelerde polarize ışık mikroskop fotoğrafları,c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex	



- .programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d) Y211  
.parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla  
.Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına  
ve aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.....87
- Şekil 4.10  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin  
taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmeye  
polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex  
programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d) Y211  
parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla  
Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve  
aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.....92
- Şekil 4.11  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin  
taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmeye  
polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex  
programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d) Y211  
parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla  
Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve  
aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.....97
- Şekil 4.12  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y, Ho)123 süperiletken fazının  
matrisi içerisine dağılmış olan (Y, Ho)211 normal faz parçacıklarının  
ortalama alan alanları.....102
- Şekil 4.13  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde birim yüzey başına düşen (Y, Ho)211  
normal faz parçacıklarının toplam alanının (Y, Ho)123 süperiletken fazının  
toplam alanına oranları.....103
- Şekil 4.14  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y, Ho)211 normal faz parçacıklarının  
yoğunluğu (birim yüzeye düşen parçacık sayısı). .....103
- Şekil 4.15  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y, Ho)211 normal faz parçacıklarının  
sayısı (fotoğraf yüzeyindeki sayı).....103
- Şekil 4.16  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y, Ho)211 normal faz parçacıkları  
arasındaki ortalama mesafe.....104
- Şekil 4.17  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y, Ho)211 normal faz parçacıklarının

ortalama küresel çapı.....	104
Şekil 4.18 $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinde (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının ortalama dairesel çapı.....	104
Şekil 4. 19 a) $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , b) $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , c) $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , d) $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ve e) $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin kaldırma kuvveti histeresis eğrileri.....	113
Şekil 4. 20 a) $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , b) $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , c) $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , d) $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ve e) $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin itici kuvvet eğrileri.....	116
Şekil 4. 21 a) $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , b) $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , c) $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , d) $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ve e) $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin çekici kuvvet eğrileri.....	118
Şekil 4.22 $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin maksimum itici kuvvet değerleri.....	120
Şekil 4.23 $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin maksimum çekici kuvvet değerleri.....	120
Şekil 4.24 $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.....	121
Şekil 4.25 $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.....	122
Şekil 4.26 $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.....	122
Şekil 4.27 $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.....	123
Şekil 4.28 $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.....	123
Şekil 4.29 $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ numunelerinin karşılıklı indüktans - sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.....	125
Şekil 4.30 $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin karşılıklı indüktans - sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.....	125
Şekil 4.31 $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin karşılıklı indüktans – sıcaklık	

eğrilerinin karşılaştırılması.....	126
Şekil 4.32 $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin karşılıklı indüktans – sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.....	126
Şekil 4.33 $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ numunelerinin karşılıklı indüktans – sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması. ....	127

**TABLolar DİZİNİ**

	Sayfa
Tablo 4.1 (Y,Ho)211 parçacıklarının ortalama alanları, alan yüzdeleri, yoğunlukları,sayıları, aralarındaki ortalama mesafe, küresel çaplar ve dairesel çapları.....	105
Tablo 4.2 Numunelerin süperiletken geçiş sıcaklıkları.....	124
Tablo 4.3 Numunelerin paramanyetik - diamanyetik geçiş sıcaklıkları.....	127

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Numunenin geometrisine bağlı bir sabit.
B	: Manyetik alan
$B_i$	: İçerideki manyetik alan
$B_d$	: Dışarıdan uygulanan manyetik alan
BISCCO	: $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$
C	: Isı kapasitesi
EDS	: Elektrodinamik süspansiyon
EMS	: Elektromanyetik süspansiyon
F	: Kaldırma kuvveti
$F_L$	: Lorentz kuvveti
$F_P$	: Akı sabitleştirme kuvveti
$f_p$	: Tek bir girdabın sabitleştirme kuvveti
FC	: Manyetik alan etkisi altında soğutma
$H_c$	: Manyetik Alan
$H_{c1}$	: Alt manyetik alan
$H_{c2}$	: Üst manyetik alan
$H_{irr}$	: Yüksek tersinmez manyetik alan
HTS	: Yüksek sıcaklık süperiletken
$J_c$	: Kritik akım yoğunluğu
m	: Bir süperiletkenin manyetik momenti
M	: Birim hacim başına mıknatıslanma
MIS	: Manyetik kaynak görüntüleme
MPMG	: Eritme-Toz-Eritme-Büyütme
MTG	: Eritme-Yönlendirme-Büyütme
MRI	: Manyetik rezonans görüntüleme
N	: Girdaplar ile sabitleştirme noktaları arasındaki etkileşme sayısı
r	: Akım ilmeği çapı

$P_{O_2}$	: Oksijen kısmi basıncı
$R$	: Direnç
$R_{(T)}$	: Deneysel direnç
$RE$	: Toprak alkali elementler
$SQUID$	: Süperiletken quantum interference devices
$T$	: Sıcaklık
$T_c$	: Kritik sıcaklık
$T_p$	: Peritektik sıcaklık
$T_C$	: Süperiletken duruma geçiş sıcaklığı
$T_C^0$	: Süperiletken duruma geçişin tamamlandığı sıcaklık
$T_C^{onset}$	: Süperiletken duruma geçişin başlama sıcaklığı
$Y123$	: $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$
$Y211$	: $Y_2BaCuO_5$
$YBCO$	: $YBa_2Cu_3O_{7-x}$
$ZFC$	: Dış manyetik alanın etkisi altında olmadan soğutma
$QMG$	: Hızlı Soğutma-Eritme-Büyütme
$\rho$	: Özdirenç
$\lambda_L$	: Nüfuz derinliği
$\xi$	: Koherens uzunluğu
$\varphi_0$	: Manyetik akı kuantu
$\delta$	: Oksijen eksikliği

## 1. GİRİŞ

Bakır ve alüminyum gibi konvansiyonel iletkenler elektrik akımına karşı bir direnç gösterirler ve bu direnç enerjinin bir kısmının ısı ve ışık şeklinde harcanmasına sebep olur. İletkenlerin bu özelliği her ne kadar elektrik ampülü ve elektrik ısıtıcısı gibi cihaz ve aletlerin yapımında faydalı ise de çoğu uygulamalarda istenmeyen güç kayıplarına sebep olur. Süperiletken malzemeler, bir  $T_c$  kritik geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklara soğutulduklarında elektrik akımına karşı gösterdikleri elektriksel direnci tamamen kaybeden malzemelerdir. Süperiletken malzemeler kullanılarak enerji kayıplarını azaltmak ve böylece daha hızlı, daha randımanlı, daha küçük ve daha faydalı cihazlar yapmak mümkündür. Süperiletkenlik düşük sıcaklıklarda belli malzemelerde meydana gelen bir olaydır, elektriksel direncin tamamen sıfır olması ve içerideki manyetik alanın süperiletken malzemenin dışına atılması (Meissner olayı) ile karakterize edilir. Elektriksel direncin sıfıra düşmesi olayı 1911 yılında Hollandalı fizikçi Kamerling Onnes (1911) tarafından helyumun sıvılaştırılabilmesinden sonra bulunmuştur. Onnes (1911), metallerin düşük sıcaklıklardaki dirençlerini incelerken cıvanın (Hg) direncinin 4.16 K de çok keskin bir şekilde sıfıra düştüğünü (normal direncin  $10^{-16}$  sından daha küçük bir değere düştüğünü) gördü ve bu olaya kusursuz iletken anlamına gelen süperiletken adını verdi. Daha sonra birçok metal ve alaşımda süperiletkenlik bulunmuştur. Süperiletkenlik kalay ve alüminyum gibi basit elementleri, çeşitli metalik alaşımları, bazı aşırı katkılandırılmış yarı iletkenleri ve bakır-oksijen atomlarından oluşan atomik düzlemleri ihtiva eden, belli seramik bileşikler kapsayan geniş bir malzeme çeşidinde meydana gelir. Bakır-oksijen düzlemlerini ihtiva eden seramik bileşikler, yüksek sıcaklık süperiletkenleri olarak bilinir. Süperiletkenlik altın ve gümüş gibi soy metallerde ve ferromanyetik metallerde meydana gelmez.

1933'te Meissner ve Ochsenfeld manyetik alan altında bir süperiletken numunenin dışarıdan uygulanan alanı içeriye sokmadığını gördüler (Meissner ve Ochsenfeld 1933). Bu olaya Meissner olayı adı verildi. Süperiletkenliğin mikroskopik anlamda doğasını J. Bardeen, L. Cooper ve J. R. Schrieffer 1957 yılında geliştirdiler ve bu olaya 'BCS Teorisi' adını verdiler (Bardeen vd 1957). 1986 yılına kadar yapılan araştırmalarda 23 K üzerinde süperiletken geçiş görülmemiştir. 1986 yılında Bednorz ve Müller'in 30 K den daha yüksek sıcaklıkta geçiş gösteren Cu-O seramikler olarak adlandırılan  $La_2$ .

$x\text{Ba}_x\text{CuO}_{4-y}$  seramik oksitleri keşfetmesiyle süperiletkenlik yeniden popüler hale geldi. Bednorz ve Müller (1986) yüksek sıcaklık süperiletkenliğinin öncüsü oldular. 1987 yılında Wu ve arkadaşları  $T_c \approx 93$  K olan  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (YBCO) yüksek sıcaklık seramiklerini keşfiyle, bu tür malzemeler üzerindeki çalışmalar daha da yaygınlaştı. Metal oksitlerden üretilen ve sıvı azot sıcaklığının (77 K) üstünde kritik geçiş sıcaklığına (92 K) sahip bu yeni malzemelerin keşfinden sonra, teknolojik ve bilimsel öneminden ötürü süperiletkenlik konusundaki çalışmalar büyük hız kazandı. 1988 yılında Maeda ve arkadaşları Ca'lu  $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$  (BISCCO) bileşiğinde 105 K'de süperiletkenlik gözlediler (Maeda vd 1988). Daha sonra Sheng ve Hermann tarafından Tl-Ba-Cu-O sisteminde süperiletkenlik geçişi gözlemlendi (Sheng ve Hermann 1988a). Günümüzde halen ulaşılabilen en yüksek kritik geçiş sıcaklığı, Parkin ve arkadaşları tarafından üretilen Tl-tabanlı süperiletkenlerde 125 K'dir (Parkin vd 1988). Bu sistemlerin geçiş sıcaklıklarının diğerlerine göre yüksek olmasının yanı sıra diğer fiziksel ve elektriksel özelliklerinin de iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapıldı.

Daha yüksek akım yoğunluklarını taşıyabilme ve daha az kayıplarla, daha yüksek güç sağlayabilme yetenekleri ve konvansiyonel iletkenlerin kullanıldığına benzer aygıtlarda daha hızlı ve verimli çalışabilirlik sağlanması, elektriksel güç aygıtlarında süperiletkenleri kullanmanın en önemli avantajlarıdır (Hull ve Murakami 2004). Bu avantajlar, dc akıma sıfır direnç ve ac akıma çok düşük histerisiz kayıp özelliklerinden kaynaklanır. Süperiletkenlerin diğer faydalı özellikleri; değeri zamanla değişmeyen büyük manyetik akı yoğunluğu oluşturma yeteneği, manyetik akı tuzaklama yeteneği, manyetik akıdaki değişmelere karşı gösterdiği kuvvetli diamanyetik tepki ve geçiş sıcaklığı civarında elektrik alanla akım yoğunluğu arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi kapsar.

Süperiletken malzemelerin üretimi için kullanılan yöntemler malzeme özellikleri üzerinde oldukça etkili olabilmektedir. Süperiletken toz veya balt malzeme üretimi için yaygın olarak kullanılan yöntemler katıhal tepkime yöntemi, eritme yöntemi, kimyasal yöntem ve benzerleridir. Kullanılan her yöntemin kendisine özgü olumlu veya olumsuz yönleri bulunmaktadır. Örneğin katıhal tepkime yönteminde uzun bir ara öğütme ve sinterleme süresi sonucunda malzeme üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu, üretim süreci için olumsuz bir yöntemdir. Teknolojik uygulamada daha kısa sürede üretilen malzemeler daha kullanışlıdır. 'Klasik Toz Yöntemi' üretim tekniğinden farklı olarak,



‘Eritme Yöntemi’ malzemenin mikroyapısında tanelerin düzenlenmesine, akı tuzaklanmasının artışına ve akım taşıma kapasitesinin artmasına olanak sağlamaktadır (Jin vd 1988a, Kase vd 1990).

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri üzerinde pek çok araştırma yapılmış ve onların üretimiyle ilgili en iyi koşullar araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Üretilecek olan süperiletken malzemenin özellikleri, seçilen başlangıç tozları ve kompozisyonu, üretim tekniği, tablet yapımında uygulanan basınç, ara öğütme, sinterleme süresi, sinterleme sonrası soğutma işlemi, sinterleme ortamına bağımlılıkları ve katkı malzemelerinin etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Yüksek sıcaklık süperiletken sistemlerinde yer alan elementlerden bazılarının yerine toprak alkali elementlerin belli oranlarda dopinginin, sistemin çeşitli özelliklerinde değişimlere neden olduğu bilinmektedir (Murakami vd 1996). Bu tür çalışmalara çok sık rastlanmaktadır. YBCO sisteminde Y yerine Ho dopinginin etkisi (Feng vd 1992, 1996, 2001, Goswami vd 2007) ile Cu yerine V dopinginin etkisi (Ionescu vd 1996, Ochertyanova ve Bel’skii 2004) az çalışılmıştır. Fakat holym (Ho) ve vanadyumun (V) her ikisinin birlikte YBCO sisteminin süperiletkenlik özellikleri üzerine etkisi hiç çalışılmamıştır.

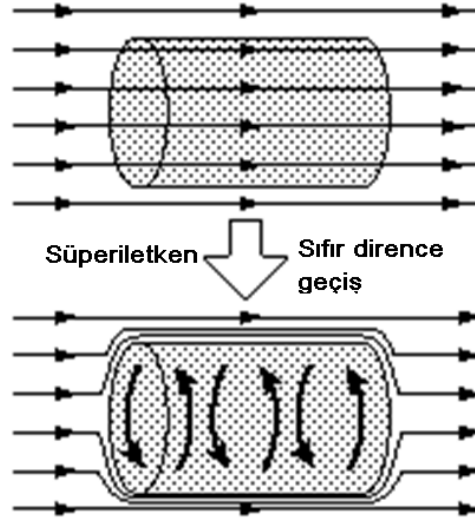
Bu çalışmada eritme yöntemiyle üretilen  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) süperiletken numunelerinin kaldırma kuvveti-mesafe, direnç-sıcaklık, karşılıklı indüktans-sıcaklık eğrileri ve mikroyapısı incelendi. Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümüdür. İkinci bölüm süperiletkenlerin ve YBCO sisteminin genel özelliklerini ihtiva eden genel bilgiler bölümüdür. Üçüncü bölüm numunelerin üretilmesini ve yapılan deneysel ölçümleri kapsar. Dördüncü bölüm tartışma ve sonuçlar bölümüdür. Beşinci bölüm çalışmadan çıkarılan genel sonuçları içerir ve altıncı bölüm kaynaklar bölümüdür.

## 2. GENEL BİLGİLER

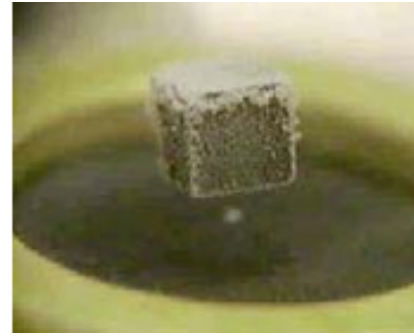
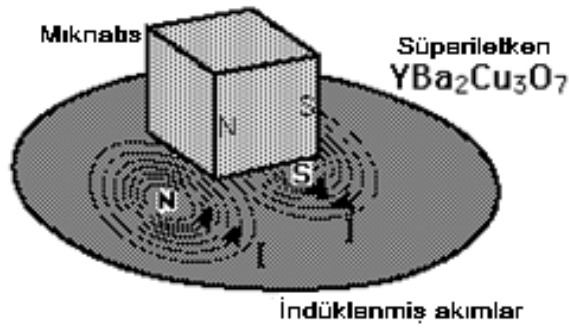
### 2.1 Süperiletkenlerin Temel Özellikleri

Geçiş sıcaklığının altında dirençlerinin sıfır olmasından sonra süperiletkenlerin en temel karakteristik özelliği Meissner olayıdır. Meissner olayı, bir süperiletken malzemenin sıcaklığı kritik sıcaklığın altına düşürülünce içindeki manyetik alanı kendi dışına atması olayıdır (Şekil 2.1). Süperiletken malzeme bu olayı, kendi içinde yüzey akımları oluşturarak meydana getirir. Bu yüzey akımları dış manyetik alana karşı koyan bir manyetik alan yani bir manyetik ayna oluşturur. Böylece süper iletken malzeme, kendi içindeki manyetik akıyı tamamen dışarılayan tam bir diamanyetizma meydana getirir. Süperiletkenlerin bu mükemmel diamanyetik özelliği onların belki de en temel makroskobik özelliğidir. Malzeme, süperiletken hale geldiğinde yani içerideki manyetik alanlar süperiletken tarafından tamamen dışarı atıldığında, her kutupda ayna görünümünü oluşturacak şekilde süper akımlar oluşur. Böylece süperiletken malzeme, yakınına getirilecek olan küçük bir mıknatısı itecektir. Eğer bu küçük mıknatısı süperiletken malzemenin üzerine koyarsanız, bu itici kuvvet onu yukarı kaldırıp havada yüzdürebilir (Şekil 2.2). Bir aletle hafifçe vurarak, askıda tutulan mıknatıs döndürülebilir veya sallandırılabilir.

Konvansiyonel süperiletkenlerde, yani düşük sıcaklık süperiletkenlerinde ( $T_c = 1 - 20$  K,  $MgB_2$  için  $T_c = 39$  K), süperiletkenlik, belli iletim elektronları arasındaki fonon değiş-tokuşundan kaynaklanan çekim kuvvetinden doğar. Fonon değiş-tokuşu, iletim elektronlarının karşılıklı ilişkiye sahip elektron çiftlerinden (Cooper Çiftleri) oluşan bir süper akışkan faz gibi davranmasına neden olur. Bu tür süperiletkenler için BCS teorisi, Ginzburg-Landau teorisi gibi teoriler vardır. Süperiletkenlik gösteren fakat fiziksel özellikleri konvansiyonel süperiletkenlerinkine uymayan konvansiyonel olmayan süperiletkenler olarak bilinen bir malzeme sınıfı da vardır. Bu tür süperiletkenler oda sıcaklığından hala çok aşağıda olmasına rağmen yine de konvansiyonel teoriye göre mümkün olması gerekenden çok daha yüksek sıcaklıklarda süperiletkenlik gösterdikleri için yüksek sıcaklık süperiletkenleri olarak da bilinirler. Yüksek sıcaklık süperiletkenleri, yani konvansiyonel olmayan süperiletkenler için henüz tam bir teori geliştirilememiştir.



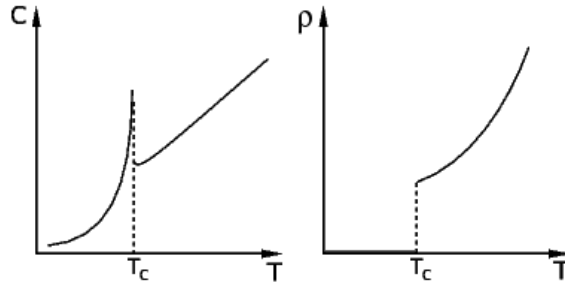
Şekil 2.1 Meissner olayı.



Şekil 2.2 Manyetik kaldırma kuvveti.

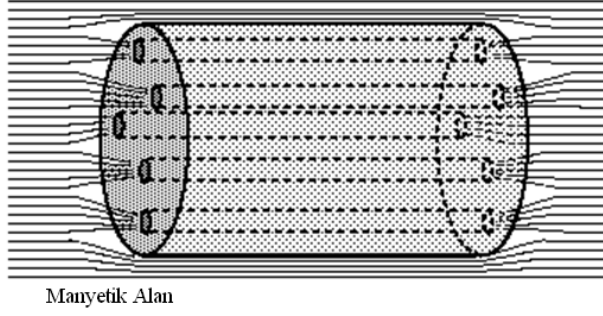
Süperiletkenlerin ısı kapasitesi, kritik sıcaklığı (Şekil 2.3) gibi fiziksel özelliklerinin çoğu malzemeden malzemeye değişir. Bununla birlikte, malzemeye bağlı olmayan bir özellikler sınıfı da vardır. Örneğin, bütün süperiletkenler küçük manyetik alanlar altında uygulanan düşük akımlara karşı tamamen sıfır dirence sahiptir ve bu durumda süperiletken malzemenin içinde manyetik alan bulunmaz. Bu genel özelliklerin varlığı süperiletkenliğin bir termodinamik faz olduğunu ve bu sebepten mikroskobik detaylardan büyük ölçüde bağımsız olan belli ayırt edici özelliklere sahip olduğunu gösterir. Bir süperiletkene uygulanan manyetik alan çok büyük olursa Meissner olayı ortadan kalkar, yani manyetik alan süperiletkenin içine nüfuz etmeye başlar. Meissner olayının ortadan kalkma şekline bağlı olarak süperiletkenler iki sınıfa ayrılır. I. Tip süperiletkenlerde, uygulanan manyetik alanın şiddeti belli bir  $H_c$  kritik değerini geçtiğinde, süperiletkenlik aniden ortadan kalkar, yani manyetik alanın süperiletken faz

içine sızmasına müsaade etmez. Bu sebepten dolayı, normal durumla süperiletken durum arasında keskin bir geçiş vardır. II. tip süperiletkenlerde, uygulanan manyetik alan kritik bir  $H_{c1}$  değerini geçtiği zaman, manyetik akının malzemeye nüfuz etme miktarının arttığı bir karışık duruma erişilir, yani numunenin geometrisine bağlı olarak, manyetik alan ihtiva etmeyen süperiletken bölgelerle manyetik alan ihtiva eden karışık bölgelerden ibaret olan bir ara durum elde edilebilir (Şekil 2.4), fakat bu durumda malzemenin uygulanan akıma karşı direnci hala sıfırdır. Bu karışık fazdan dolayı, normal durumdan süperiletken duruma geçiş keskin değildir, yani II. tip süperiletkenlerde normal elektron davranışının olduğu bölgelerle süperiletken elektronların olduğu bölgelerin bulunduğu bir sıcaklık aralığı vardır.  $H_{c1}$  den daha büyük bir  $H_{c2}$  kritik alanı uygulandığında süperiletkenlik ortadan kalkar (Şekil 2.5). Karışık durum elektronik süper akışkanda girdaplara sebep olur. Bu girdaplar tarafından taşınan akım kuantumlandığından dolayı bunlara fluxon adı da verilir.

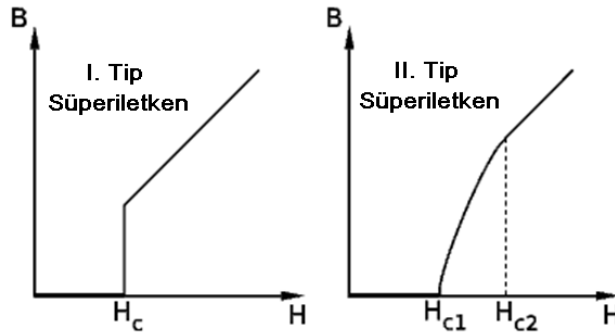


**Şekil 2.3.** Bir süperiletken için ısı kapasitesi (C) ve öz direncin ( $\rho$ ) sıcaklıkla değişimi.

Süperiletken halden normal hale geçişe imkân sağlayan bir başka etken de süperiletken numuneden aşırı akım geçmesidir. Numuneden geçen bu yüksek akım, numunenin dış yüzeyinde  $H_c$  ye eşit veya daha büyük bir manyetik alan meydana getirir. Bu durum, numunenin süperiletken halde çekebileceği maksimum akımı sınırlar ve süperiletken malzemeler için bu özellik çok önemlidir. I tip süperiletkenlerde oluşan yüzey akımları, manyetik alanın maddenin iç noktalarından dışarlanmasını sağlar.



**Şekil 2. 4** Manyetik alan ihtiva etmeyen süper iletken bölgelerle manyetik alan ihtiva eden karışık bölgelerden ibaret olan ara durum.



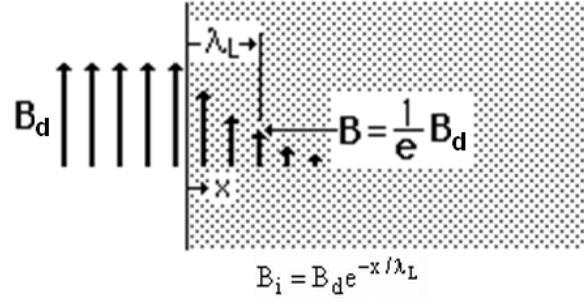
**Şekil 2.5.** I. ve II. tip süperiletkenler.

Gerçekte bu akımlar yalnızca numunenin yüzeyindeki çok ince bir tabakada oluşmazlar. Tersine bu akımlar yüzeyden süperiletkenin içine nüfuz ederek, sonlu kalınlıkta bir tabaka üzerinde dağılırlar. Manyetik alan, derinliği yaklaşık 10-100 nm olan bu ince tabakada, yüzeyden içe doğru

$$B_i = B_d e^{-x/\lambda_L}$$

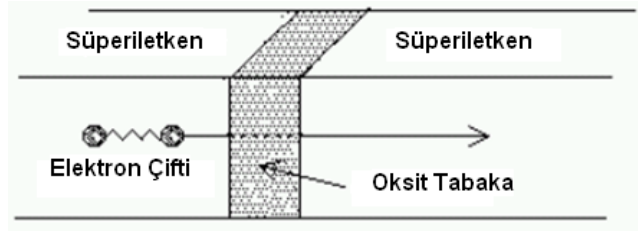
şeklinde değişir (Şekil 2.6). Burada  $B_i$  içerideki manyetik alan,  $B_d$  dışarıdan uygulanan manyetik alan,  $x$  mesafe,  $\lambda_L$  dış manyetik alanın içeride 1/e değerine düştüğü mesafedir ve London Nüfuz Derinliği veya sadece nüfuz derinliği olarak bilinir.

Üzerinde süperiletkenliğin oluşturulabileceği veya yok edilebileceği en küçük boyuta 'koherens uzunluğu' denir. Koherens uzunluğa, üzerinde Cooper Çiftindeki elektronların birlikte kalabildiği uzunluk olarak da bakılabilir. Koherens uzunluğu nüfuz derinliğinden büyük olan süperiletkenler I tip süperiletkenlerdir. Metallere safsızlıklar eklendikçe nüfuz derinliği artar, koherens uzunluğu azalır. Bu şekilde, bir metale başka bir metal ekleyerek, metalin I. Tipten, II. Tipe değişimi sağlanabilir.



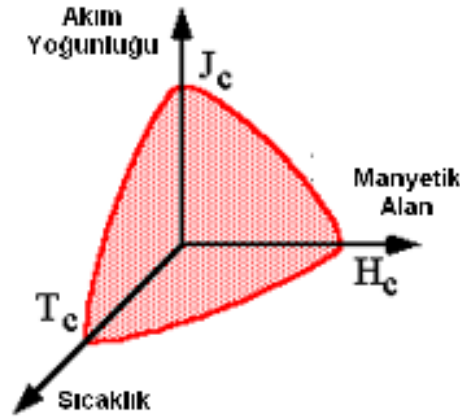
Şekil 2.6. Dış manyetik alanın süperiletken içine nüfuz etmesi ve  $\lambda_L$  nüfuz derinliği.

İki süperiletken, aralarına ince bir yalıtkan tabaka konularak birbirine eklemlendiğinde, elektronların oluşturduğu Cooper Çiftleri tünel olayı vasıtasıyla eklemin bir tarafından diğer tarafına geçebilir. Bu olaya ‘Josephson Olayı’ denir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Josephson olayı

Bir malzeme sadece kritik sıcaklık  $T_c$  nin altında, kritik manyetik alanı  $H_c$  nin altında ve kritik akım yoğunluğu  $J_c$  nin altında süperiletkenlik gösterebilir. Bu durum Şekil 2.8 daki süperiletken zarfı ile izah edilir.



Şekil 2.8. Süperiletken zarfı.

## 2.2. Süperiletkenlerin Teknolojik Uygulamaları

Süperiletkenlerin günümüzdeki kullanım alanları (Sarker ve Flavell 1998, Hull 1999, Hull 2003, Hassenzahl vd 2004, Hull ve Murakami 2004, Freyhardt 2007, Murakami 2007);

1) Tıp alanında: Manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve biyomedikal mühendislik alanında (Biyomanyetizma yani manyetik kaynak görüntüleme (MIS) insan vücudu gibi biyolojik sistemler tarafından üretilen manyetik alanların ölçümünde) kullanılmaktadır.

2) Elektronik alanda: Transistörler, Josephson eklem aygıtları, devre bağlantıları, parçacık hızlandırıcıları, algılayıcılar (sensörler), hassas manyetometreler, mikrodalga filtreleri (mobil telefon baz istasyonları), süper hızlı bilgisayar devreleri ve SQUID yapımında kullanılır. SQUID, süperiletken quantum interference devices ifadesinin kısaltılmış şeklidir. SQUID' ler manyetik alan ölçümleri için en duyarlı sensörlerdir ve hareketli bir alan kaynağının statik manyetik alanını algılayabilir. Bu sebepten dolayı, biyolojik hücrelerin manyetik duyarlılığını ölçmek için de kullanılabilirler.

3) Endüstriyel alanda: Magnetler (mıknatıslar), manyetik ayırma, manyetik koruyucular (manyetik kalkanlar), sensörler ve dönüştürücülerin yapımında kullanılır.

4) Güç üretimi alanında: Motorlar, jeneratörler, transformatörler, elektrik güç iletim kablolarının yapımında, füzyon ve enerji depolama alanlarında kullanılır. Süperiletken tel ile yapılan motorlar daha küçük, daha hızlı, daha verimli ve daha iyi çalışırlar. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinden yapılan jeneratörler, demir magnetlerin yerine onları daha küçük ve daha hafif yapan süperiletken tel kullanırlar. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinden yapılan transformatörler (trafolar) kopmaz ve sessizdir, soğutma yağı kullanmazlar. Bu sebepten dolayı yüksek yoğunluklu yerleşim alanları için çevre kirliliği oluşturmazlar. Önemli bir kayıp olmaksızın süperiletken halkalarda uzun süreler için enerji depolanabilir. Yüksek sıcaklık süperiletken (HTS) kablolar diğer kablolarla göre 3-5 kat daha fazla güç taşıyabilirler. Elektrik güç iletimi için temel gereksinim; manyetik alanlar içinde büyük akımlar taşıyabilen kuvvetli, dayanıklı, bükülgen ve tel şeklinde süperiletken kablolardır. Manyetik alanlar içinde ısınmadan dolayı süperiletkenliğini kaybetmeden önce bir telin taşıyabileceği akım miktarı 'kritik

akım' olarak adlandırılır. Kritik akımı, süperiletkenin kesitine bölerek elde edilen kritik akım yoğunluğu ise akım taşıma kapasitesinin bir başka ölçüsüdür. Bir süperiletken telin optimum performansı için hem kritik akım hem de kritik akım yoğunluğu maksimize edilmelidir. Yüksek sıcaklık süperiletken teknolojisinin gelişimi, güçlü bir HTS tel gelişim programına bağlıdır. Bu konuda çalışmalar sürmektedir. Bu işlem için YBCO ve BSCCO tipi yüksek sıcaklık süperiletkenleri sıkça kullanılmaktadır.

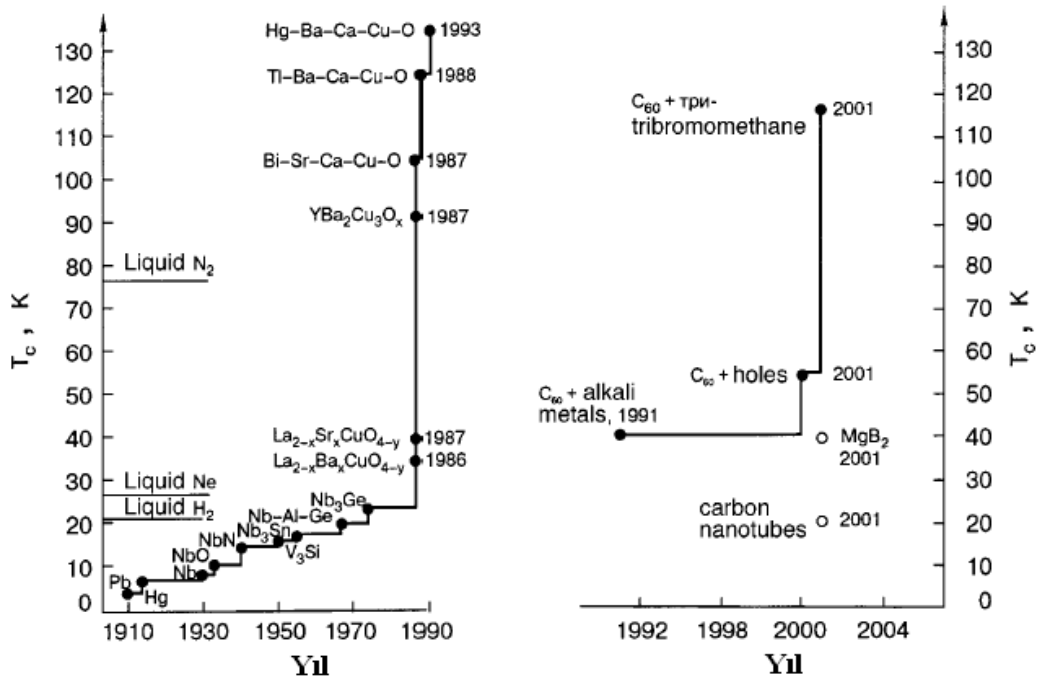
5) Taşımacılık alanında: Gemi motorları ve manyetik olarak kaldırılmış tekerlekler veya 650 km/s sürata erişen Maglev trenleri yapımında kullanılır. Maglev trenlerinde sürtünme ve gürültü yoktur, enerji kaybı azdır. Bu tür trenler Almanya, Japonya ve ABD de imal edilmiştir fakat henüz gösteri (demostrasyon) trenleri durumundadır. Fakat süperiletken teknolojisinin gelişimine bağlı olarak bunlara geleceğin trenleri gözüyle bakılmaktadır. Trenlerle ilgili manyetik kaldırma kavramı şimdiye kadar iki evrim geçirmiştir. Bunlardan birincisi olan çekici elektromanyetik süspansiyon (EMS), demir raylara çekilen tren üzerine yerleştirilen elektromıknatısları kullanır. Tekerlek şeklindeki mıknatıslar demir kılavuzların etrafını sarar ve yukarı doğru çekici kuvvet treni kaldırır. Bunlardan ikincisi olan elektrodinamik süspansiyon (EDS) ise iletken kılavuzlarda indüklenen akımlardan kaynaklanan itici kuvvetler vasıtasıyla treni kaldırır. Bu iki sistem arasındaki temel fark şudur; EMS sisteminde, tren magnetleriyle kılavuzlar arasındaki hava boşluğu çok azdır (0,5 inç), EDS sisteminde bu aralık 8-10 inçtir. EMS sisteminin küçük hava boşluğu, bu boşluğu muhafaza etmek için daha zor bir kontrol gerektiğini ima eder.

Süperiletkenlik sadece bilim ve teknoloji için faydalı olmakla kalmayıp bu alanda çalışan bilim adamlarının emeklerini karşılıksız bırakmayarak onların Nobel Fizik Ödülüne sahip olmalarını da sağlamıştır. Süperiletkenliği keşfeden Kamerling Onnes 1913 yılında, BSC teorisiyle J. Bardeen, L. Cooper ve R. Schiffer 1972 yılında, tünel etkisi için B. Josephson, L. Esaki ve I. Giaver 1973 yılında ve son olarak da bakır düzlemleri bulunan yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin keşfi için K. Alex Müller ve J. George Bednorz 1987 yılında Nobel Fizik Ödülü aldı.



### 2.3. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri

Yüksek sıcaklık oksit süperiletken (La-Ba-Cu-O sistemi) Bednorz ve Müler (1986) tarafından keşfedildikten sonra, yeni yüksek sıcaklık süperiletken malzemeler bulmak için çok sayıda çalışma yapıldı. Bu çalışmalar, kısa bir süre içinde sıvı azot sıcaklığı 77 K nin yukarısında süperiletkenlik gösteren yeni süperiletkenlerin keşfiyle sonuçlandı. İlk önce Y-Ba-Cu-O sistemi ( $T_c \sim 90$  K) (Wu vd 1987), sonra sırasıyla Bi-Sr-Ca-Cu-O sistemi ( $T_c \sim 110$  K) (Maeda vd 1988), Tl-Sr-Ca-Cu-O sistemi ( $T_c \sim 120$  K) (Sheng ve Hermann 1988a,b) ve Hg-Ba-Ca-Cu-O sistemidir ( $T_c \sim 130$  K) (Schilling vd 1993). Ayrıca, 77 K nin altında  $T_c$  geçiş sıcaklığına sahip çeşitli oksit süperiletkenler de keşfedildi.  $T_c$  kritik sıcaklığındaki artışın kronolojisi Şekil 2.9 de verilmiştir.



Şekil 2.9. Süperiletkenlerin T<sub>c</sub> kritik sıcaklığındaki artışın kronolojisi (Lubenets vd 2004).

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin uygulaması için üç kategori vardır (Shiohara ve Endo 1997): 1) Büyük elektrik akımlarının güç kaybı olmadan iletilmesi için ve yüksek manyetik alanların üretilmesi için yüksek akım yoğunluğuna sahip teller ve bant malzemeler, 2) Manyetik kaldırma ve perdeleme (kalkan) için kuvvetli manyetik akı tuzaklayan balk malzemeler ve 3) Kuantum olaylı (Josephson Tünelleme Olayı) süperiletken cihazlar için ince filmler. Birinci ve ikinci kategorilerde, manyetik alan

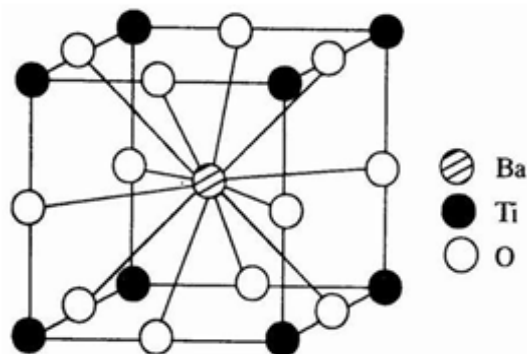
çalışmasında  $10^4 - 10^6$  A/cm<sup>2</sup> mertebelerinde büyük kritik akım yoğunlukları ( $J_c$ ) ve yüksek  $T_c$  değerleri gereklidir. Malesef,  $J_c$  nin yükseltilmesi yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin keşfinden sonra hemen gerçekleşmedi. Bunun sebebi,  $J_c$  kritik akım yoğunluğunun süperiletkenin bir özgün özelliğinden çok mikroyapıya kuvvetli şekilde bağlı olmasıdır. Ayrıca, yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerin iki boyutlu kristal yapı ve çok kısa koherens uzunluk gibi karakteristik özelliklerinin bazıları  $J_c$  nin artırılmasında çok çetin zorluklar ortaya koyar. Bu sebepten mikroyapının kontrolü çok önemlidir. Yüksek  $J_c$  uygulamaları, prensip olarak içinde manyetik akı sabitleme merkezleri olarak rol oynayan kusur ve inklüzyonların homojen olarak dağıldığı yapısal olarak mükemmel bir matrise sahip balk süperiletkenler gerektirir. Üretim, düzgün bir şekilde dağılmış bir dopantın kontrollü bir miktarını ihtiva eden çok yüksek mükemmellikte büyük tek kristallerin hazırlanmasına benzerdir. Üçüncü uygulama kategorisinde, elektronik cihazların üretimi için düz yüzeyli ve keskin ara yüzeyli ince filmler gerekir. Yüksek sıcaklık süperiletken filmlerin kalitesini düzeltmek ve geliştirmek zordur. Çünkü, filmler farklı genleşme katsayısı ve yüksek sıcaklık süperiletken malzeme ile reaksiyona girme gibi uyumsuzluklar gösteren bir taban madde üzerinde heteroepitaksiyel olarak meydana gelir. Bu sebepten, elektronik cihaz uygulamaları, homoepitaksi için kusurlar içermeyen ve yapısal olarak mükemmel olan yüksek sıcaklık süperiletken taban malzemeler, yani büyük balk yüksek sıcaklık süperiletken tek kristaller gerektirir. Kusurlu veya kusursuz böyle balk kristaller eritme büyütme vasıtasıyla üretilebilmektedir. Bu sebepten, böyle uygulamalar için önemli rol oynayan mikroyapıyı kontrol etmek için eritme kristal büyütme meknizmasının iyi anlaşılması gerekir.

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin hepsi II. tip süperiletkenlerdir. Bu süperiletkenler çok kompleks görünmelerine ve çeşitli kristal yapılarla sahip olmalarına rağmen, bunların altında yatan bir şablon vardır; birincisi, kristal yapılarının hepsi perovskite ( $\text{SrTiO}_3$ ) yapıyla ilgilidir, ikincisi bakır ve oksijen atomlarından oluşan düzlemler ihtiva ederler ve sonuncusu, kristal yapıda bulunan diğer atomlar periyodik tablonun sınırlı bir kısmından gelir. Bu atomlar ya 6s6p atomları (Hg, Tl, Pb, Bi) ve 3d (Ca), 4d (Rb, Sr, Y), 5d (Ba, La) ilk geçiş metal atomları, ya da toprak alkali atomlar (Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm) dir. Bugüne kadar daha yüksek geçiş sıcaklıkları ve daha iyi süperiletkenlik özelliklerine sahip malzemeler elde etmek için birçok araştırma yapılmıştır, fakat halen sistematik araştırma için bu şablonun kullanılması iyi

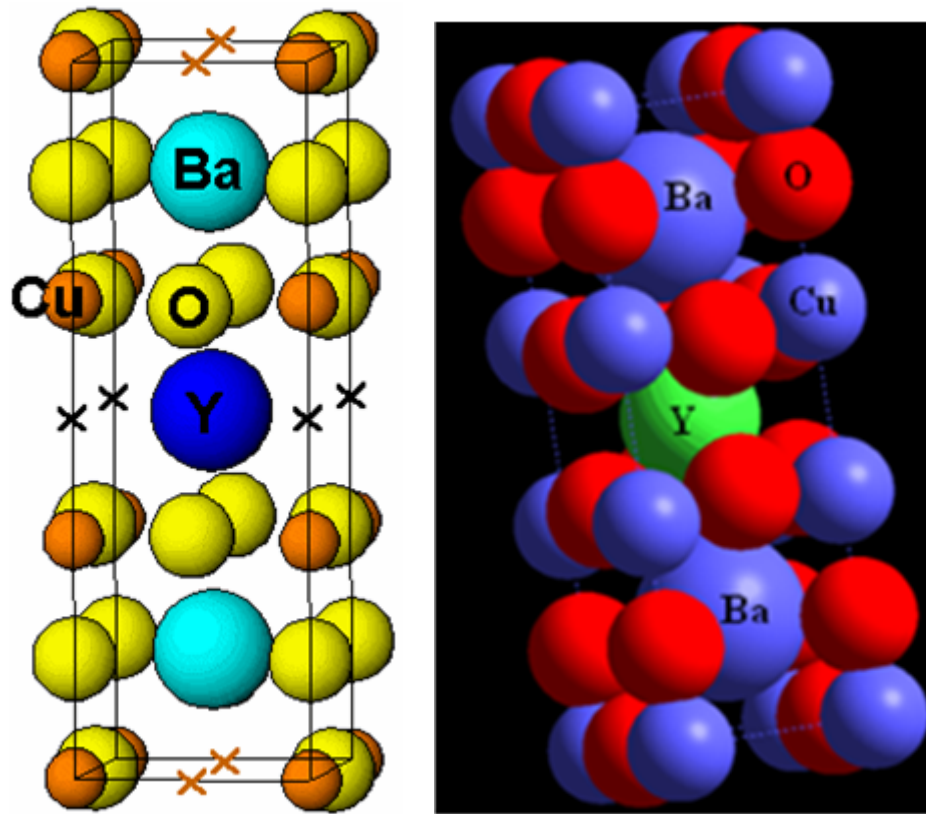
anlaşılammıştır. Son 20 yıl süresince gerçek uygulamalar için en çok çalışılan ve geliştirilen süperiletkenler Y-Ba-Cu-O ve Bi-Sr-Ca-Cu-O atomlarından oluşan ve sırasıyla YBCO ve BSCCO olarak adlandırılan süperiletken malzemelerdir. Bunun sebebi; sıvı azot sıcaklığı olan 77 K den daha yüksek  $T_c$  süperiletken geçiş sıcaklığına sahip olmaları, pratik kullanım için yüksek  $J_c$  verecek şekilde çok sayıda hazırlama tekniklerinin geliştirilmiş olması, bu malzemelerin hazırlanması için uygun doğrultuda kılavuzluk yapan faz diyagramlarının ve özgül özelliklerin açıklanmış olması şeklinde özetlenebilir. Bu süperiletken malzemeler pratik amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 2.4. YBCO

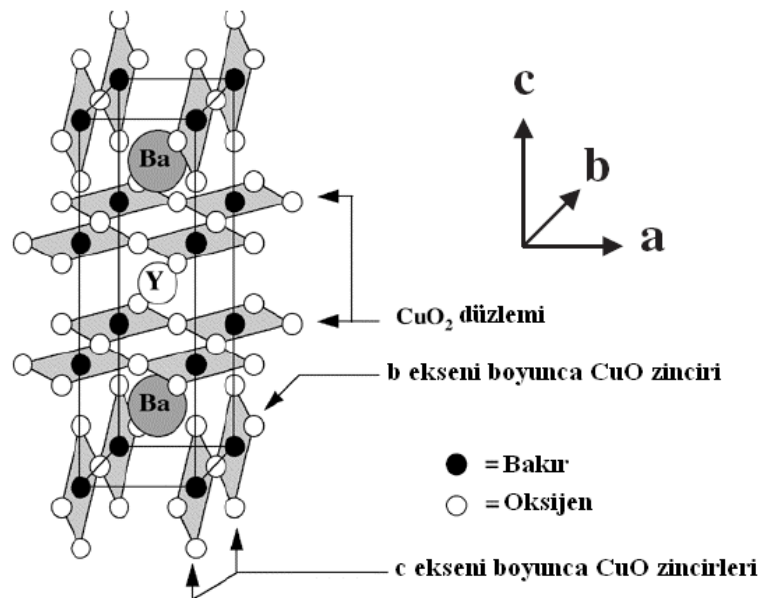
YBCO yüksek sıcaklık seramik süperiletkeni Y, Ba ve Cu metallere oluşur.  $YBa_2Cu_3O_7$ ,  $YBa_2Cu_4O_8$  ve  $Y_2Ba_4Cu_7O_{15}$  gibi çeşitleri vardır. Bu çalışmada konu edilen, Y123 olarak da adlandırılan  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  süperiletkenidir.  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  süperiletkeni, oksijeni eksik üç perovskite birim hücrenin (Şekil 2.10)  $A_3B_3O_{9-x}$  şeklinde üst üste yığılmasıyla oluşan tabakalı bir yapıdır (Şekil 2.11). Burada Y ve Ba atomu merkez A katyonları, Cu atomu ise B katyonudur (Skakle 1998). Oksijen, merkez Y tabakasından ve taban düzlemlerinin a ekseninden kaçır. Şekil 2.12 de, yapıdaki  $CuO_2$  düzlemleri ve Cu-O zincirlerinin yerini göstermek için bakır ve oksijenin birbirine göre koordinasyonu resmedilmiştir.



**Şekil 2.10** ABX<sub>3</sub> genel formüllü perovskite ( $BaTiO_3$ ) yapı kübik simetrik bir birim hücreye sahiptir. A ve B atomları katyon, X atomu ise anyondur.  $BaTiO_3$  için Ba ve Ti atomları katyon, O atomları ise anyondur.

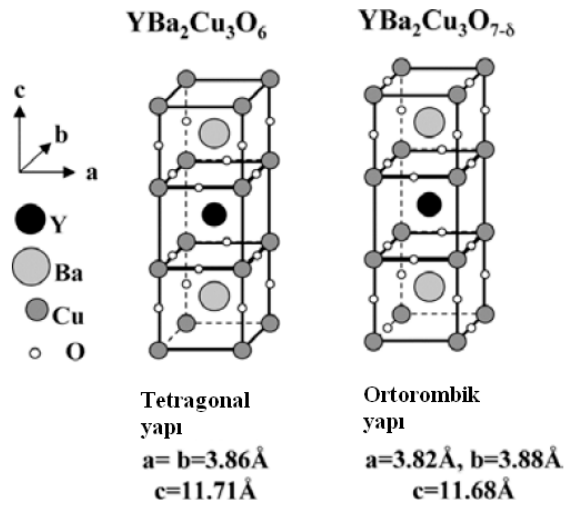


Şekil 2.11  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  nin birim hücrelerinin çeşitli görünüşleri (Kulikov vd 2001).

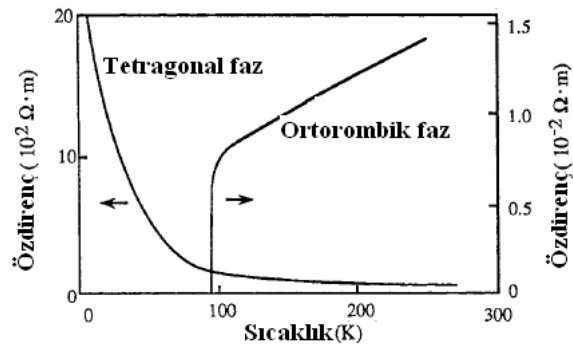


Şekil 2.12  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  nin  $\text{CuO}_2$  düzlemleri ve Cu-O zincirlerini gösteren birim hücresi (Ayache 2006).

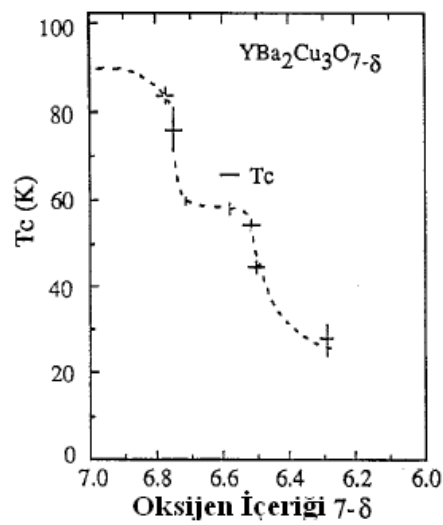
YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> bileşiğindeki “δ” sembolü oksijen eksikliğini göstermektedir. Bu bileşik oksijen konsantrasyonuna önemli bir şekilde duyarlıdır. δ değerinin 1 ile 0 arasındaki değişimi kristalin yapısını değiştirmektedir (Şekil 2.13). Yaklaşık olarak 0,6 dan daha küçük δ değerleri için YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> tetragonal, 0,6 dan daha büyük δ değerleri için YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> ortorombik yapıya sahiptir. Şekil 2.14 da görüldüğü gibi, tetragonal faz süperiletken değildir ve yarıiletkenlerinkine benzer bir özdirenç-sıcaklık eğrisi gösterir. Oksijen içeriğindeki artıştan dolayı taşıyıcılar Y-Ba-Cu-O bileşiklerindeki CuO<sub>2</sub> düzlemine dopedileceği için ortorombik faz süperiletken özellik gösterir ve süperiletken geçiş sıcaklığının yukarısında metalik özdirenç davranışı sergiler (Shiohara ve Endo 1997). Bundan dolayı, Şekil 2.15 de görüldüğü gibi, süperiletken kritik sıcaklığın T<sub>c</sub> nin taşıyıcı konsantrasyonuna önemli derecede bağlı olacağı düşünüleceğinden, T<sub>c</sub> süperiletken geçiş sıcaklığı δ ile değişir. YBCO sisteminde süperiletken faz, çevredeki gaz cinsine (hava, oksijen vs.) ve oksijen basıncının değerine bağlı olarak 600°C’ den 750°C’ ye kadar ısıtma işlemi boyunca ortorombik-tetragonal faz geçişi gösterir (Balcı 2000). Değişik oksijen kısmi basınçları için oksijen eksikliğinin bir fonksiyonu olarak örgü parametrelerinin değişimi Şekil 2.16 da ve Y123 fazlarının oluşumu üzerine sıcaklığın ve oksijen kısmi basıncının etkisini gösteren yapısal faz diyagramı da Şekil 2.17 de verilmiştir (Ayache 2006). YBCO sisteminde süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı, oksijen miktarına oldukça bağlıdır. Oksijen miktarındaki değişim, malzemenin hazırlanması sırasındaki ısıtma ve soğutma şartlarına bağlıdır. Oksijen miktarı arttıkça, süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı numunenin kristal örgüsünde oksijence eksik bölgeler azalacağı için artacaktır. Bu sistemde süperiletkenlikten Cu-O düzlemleri sorumludur. Şekil 2.18, Y123 fazının stokiyometrik oksijen içeriğinin farklı sıcaklıklarda oksijen kısmi basıncına (P<sub>O<sub>2</sub></sub>) göre değişimini göstermektedir. Tetragonal → ortorombik faz geçişi P<sub>O<sub>2</sub></sub> ve T ye bağlıdır (Shiohara ve Endo 1997). Süperiletken olmayan tetragonal faz, havada (P<sub>O<sub>2</sub></sub> = 0,21) yaklaşık 600 °C dan daha yüksek sıcaklıklarda kararlıdır. Sinterlemeyle, eritme-büyütmeyle üretilen Y123 malzemeler, genellikle bir tetragonal faza sahiptir. Bundan dolayı, Y123 malzemeler yavaş soğutulmalıdır veya yüksek T<sub>c</sub> verecek oksijenleme için sonradan oksijen ortamında tavlmalıdır.



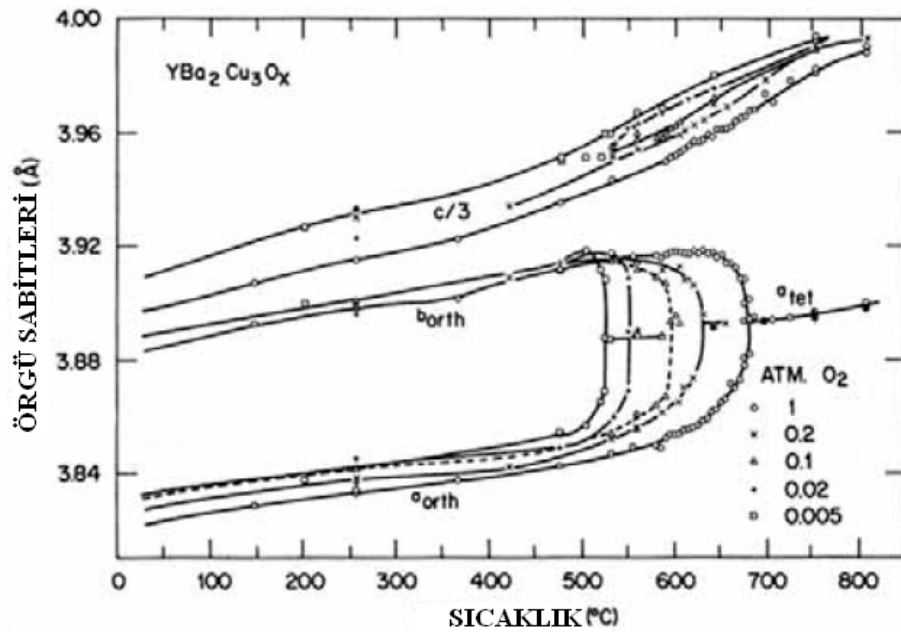
Şekil 2.13 Y123 ün tetragonal ve ortorombik birim hücreleri (Ayache 2006).



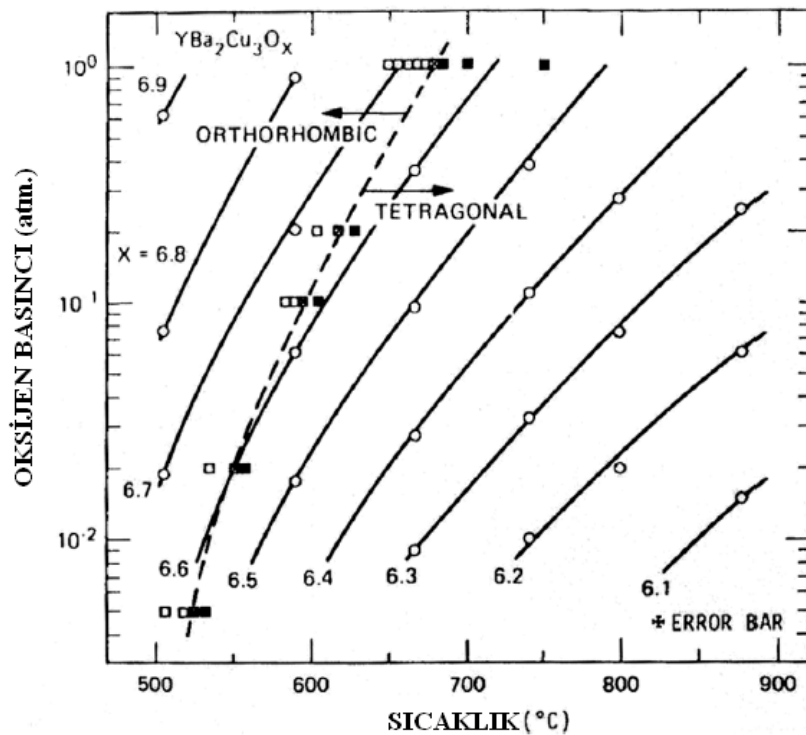
Şekil 2.14 Y123 de ortorombik ve tetragonal fazların öz direncinin sıcaklığa bağlılığı (Shiohara ve Endo 1997).



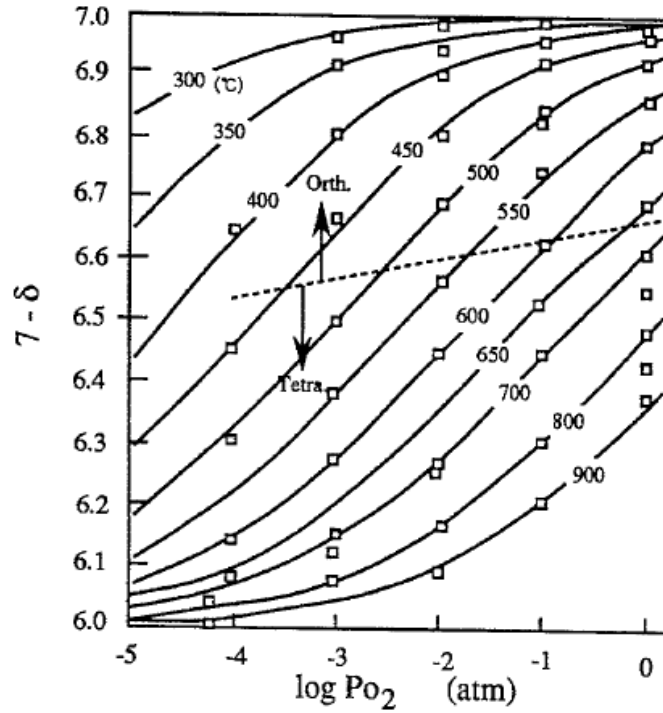
Şekli 2.15  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  de Tc nin oksijen içeriği  $7-\delta$  ya bağlılığı (Shiohara ve Endo 1997).



Şekil 2.16 Değişik oksijen kısmi basınçları için oksijen eksikliğinin bir fonksiyonu olarak örgü parametrelerinin değişimi (Ayache 2006).



Şekil 2.17 Y123 fazlarının oluşumu üzerine sıcaklığın ve oksijen kısmi basıncının etkisini gösteren yapısal faz diyagramı (Ayache 2006).

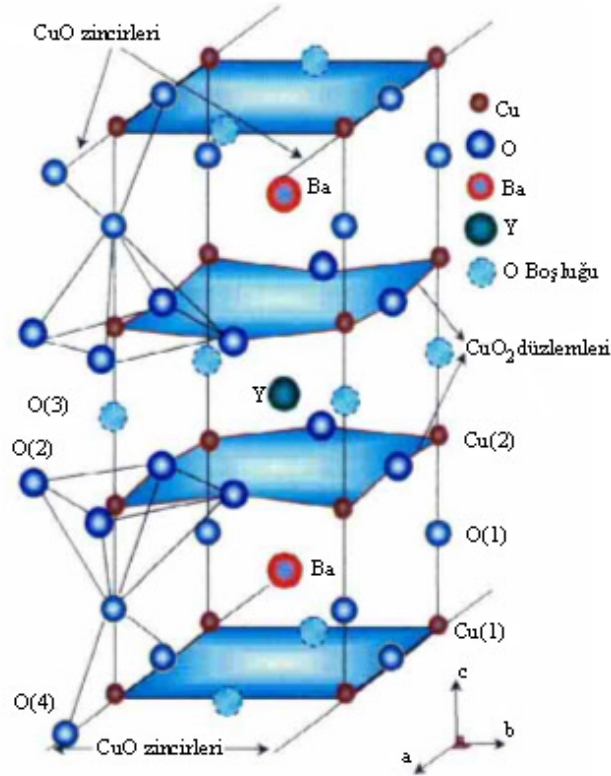


**Şekil 2.18**  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  da çeşitli sıcaklıklarda ve oksijen basınçlarında hesaplanan oksijen içeriğinin deneysel sonuçlarla (içi boş kareler) karşılaştırılması. Kesikli çizgi ortorombik-tetragonal faz geçişini gösterir (Shiohara ve Endo 1997).

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  sisteminin ortorombik birim hücresi c-ekseni boyunca Y, Cu(2), BaO, Cu(1), BaO ve Cu(2) düzlemlerinden oluşan bir paket gibidir (Şekil 2.19). Temel yapıda üç kübik yapı vardır. İki kübik yapının merkezinde Ba atomu, diğer kübik yapının merkezinde ise Y atomu vardır. Bu küplerin bütün köşelerinde Cu atomları, kenar ortalarında ise oksijen atomları yer almaktadır. Y atomunun en yakın sekiz O (oksijen) komşusu, Ba atomunun ise en yakın on oksijen (O) komşusu vardır. Ayrıca, iki tane Cu(1) ve iki tane Cu(2) düzlemleri vardır. Oksijen boşluğu ise Y düzleminde dört tane, Cu(1) düzlemlerinde ikişer tane olmak üzere toplam sekiz tanedir.

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (Y123) fazının oluşumunu açıklamak ve  $J_c$  özelliğini iyileştirmek için çeşitli çabalar gösterildi. Y123 fazı, bir yüksek sıcaklık kararlı fazı olan katı  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  (Y211) ile Ba-Cu-O sıvı fazı arasındaki peritektik reaksiyon vasıtasıyla oluşur (Shiohara ve Endo 1997). Yüksek kritik akım yoğunlukları ( $J_c$ ), yüksek derecede yönlendirilmiş ve peritektik reaksiyondan kaynaklanan ince bir şekilde dağılmış Y211 fazı parçacıklarına sahip olan eritme - büyütme yöntemiyle oluşturulmuş Y123 polikristalinde gerçekleştirildi (Jin vd 1988a, Murakami vd 1989, Fujimoto vd 1989).

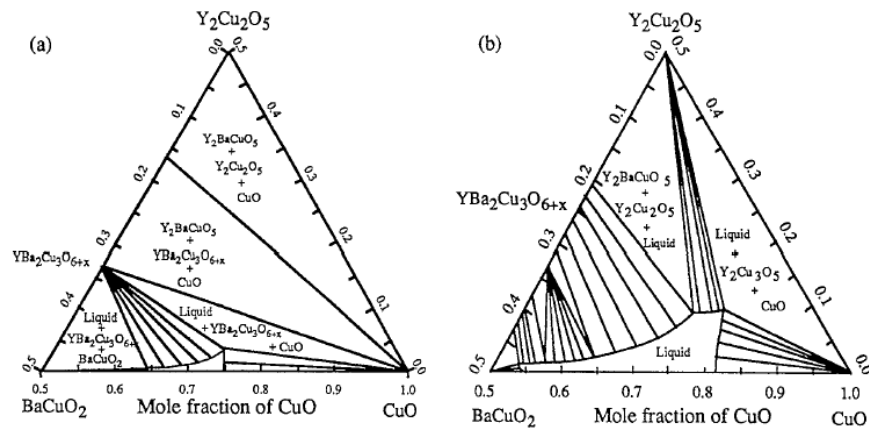




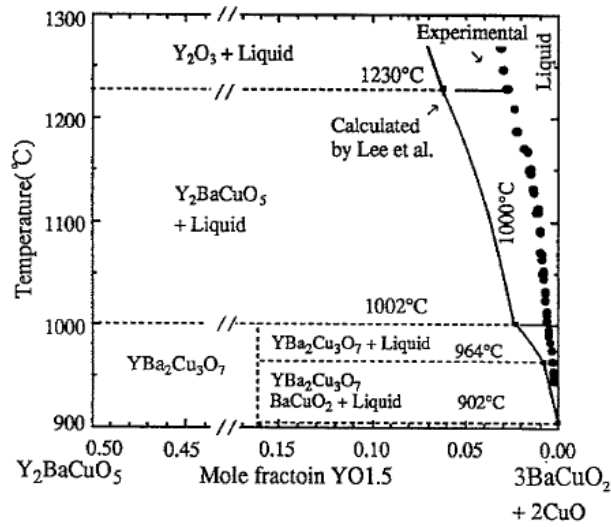
Şekil 2.19 Ortorombik yapıdaki  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 'nin birim hücresi (Balcı 2000).

Y123 fazının süperiletken karakteristikleri üzerin yıkıcı veya zararlı bir etki yapmaksızın Y yerine Ce ve Pm haricindeki toprak alkali elementler RE (rare earth) konulabilir (Shiohara ve Endo 1997). Örneğin; Nd123 için  $T_c$  96K civarında bulunmuştur. Genelde  $T_c$  kritik sıcaklık ve  $T_p$  peritektik sıcaklığı iyonik yarıçaptaki artışla artar. Bununla birlikte, belli bir noktadan sonra RE iyonlarının kolaylıkla Ba yerlerini almalarından dolayı, iyonik yarıçaptaki daha fazla artış  $T_c$  yi azaltır veya değiştirir. Büyük manyetik momentli bazı RE elementleri, konvansiyonel BCS teorisine uymayan süperiletkenlik gösterdikleri için  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (RE123) fazları fizikçilerin ilgisini çekmiştir. RE123 sistemleri balk halde tek kristaller ve ince filmler hazırlamaya elverişlidir. Eğer elde edilmek istenen RE123 kristalinden daha yüksek peritektik sıcaklığa sahip bir RE123 fazı seçilirse, eriyikten hazırlama (melt processing) durumunda RE123 sistemleri tohum kristaller olarak da idealdir. Yüksek manyetik alanlarda (birkaç tesla) mükemmel  $J_c$  özellikleri Sm123 ve Nd123 sistemlerinde gözlenmiştir (Yoo vd 1994, Murakami vd 1994). Bu sonuçlar, Ba yerine RE geçmesinden dolayı pinning (akı sabitleme veya tuzaklama) mekanizması ve üçlü faz diyagramında katılma mekanizması gibi konularda RE123 ailelerinin çalışılmasını hızlandırmıştır.

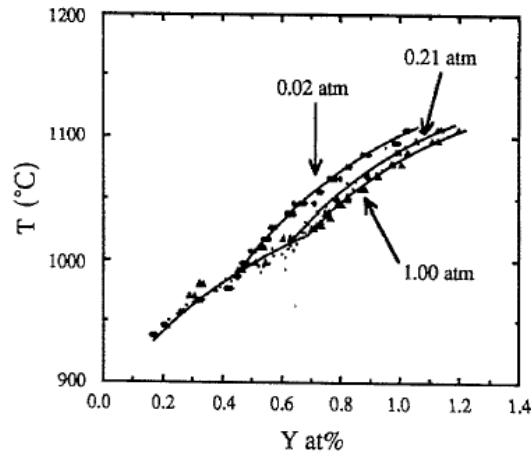
Şekil 2.20,  $Y_2O_3$ -BaO-CuO üçlü sisteminin 0,21 atmosferde 1223 K ve 1273 K deki izotermal kesitlerini göstermektedir. Bu faz diyagramlarının karşılaştırılması, sıvı ile  $YBa_2Cu_3O_{6+x}$  arasındaki iki faz dengesinin kompozisyon bölgesinin, düşük  $Y_2O_3$  bölgesinde bile  $Y_2BaCuO_5$  fazının evriminden dolayı artan sıcaklıkla hızlı bir şekilde azaldığını gösterir. Bunu daha etkin bir şekilde göstermek için,  $Y_2BaCuO_5$  (Y211),  $YBa_2Cu_3O_7$  (Y123) ve  $3BaCuO_2$  ile  $2CuO$  nun bir karışımını içeren düşey kesit Şekil 2.21 de verilmiştir. Bu şekil, sıvı-Y123 ün likidis çizgisinin küçük bir sıcaklık aralığında (1237 K – 1275 K) çok dik olduğunu gösterir. Ayrıca Y123 ve Y211 fazları sırasıyla Y211 ile sıvı ve  $Y_2O_3$  ile sıvı arasındaki peritektik reaksiyon ile oluşur. Likidis çizgisini daha dikkatli incelemek için farklı kısmi oksijen basınçları altında eriyik haldeki  $Ba_3Cu_5O_8$  içinde Y nin likidis çizgileri Şekil 2.22 de verilmiştir. Azalan oksijen basıncı, peritektik sıcaklığı azaltır, peritektik sıcaklık civarında likidis çizgilerinin dikliğini artırır. Y-Ba-Cu-O faz diyagramından ve onun oksijen basıncına bağlılığından dört karakteristik özellik belirlenebilir (Shiohara ve Endo 1997). 1) Y123 tetragonal fazı, katı Y211 ve sıvı BaO-CuO dan peritektik reaksiyon vasıtasıyla oluşturulabilir. Uygun bir eritme-büyütme prosedürü ile Y123 kristallerini büyütme mümkün değildir. 2) Y123 peritektik reaksiyonu civarında likidis eğimi çok büyüktür. Bu, sisteme büyük undercooling uygulansa bile daha büyük büyüme oranının elde edilmesinin zor olduğu izlenimini verir. 3) BaO-CuO sıvısı içinde Y konsantrasyonu çok düşüktür. Bu sebepten Self-flux metodu büyük tek kristallerin üretimine uygulanamaz. 4) Artan oksijen kısmi basıncı ile Y123 peritektik reaksiyonu civarında likidis eğimi azalır ve Y çözünürlüğü artar. Bu da daha büyük kristal büyütme oranları gerçekleştirmek için daha uygun bir şart sağlar.



Şekil 2.20  $Y_2O_3$ -BaO-CuO<sub>x</sub> sisteminin 0,21 atmosfer oksijen basıncında a) 1223 K ve b) 1273 K da hesaplanan izotermal kesitleri (Lee ve Lee 1991).



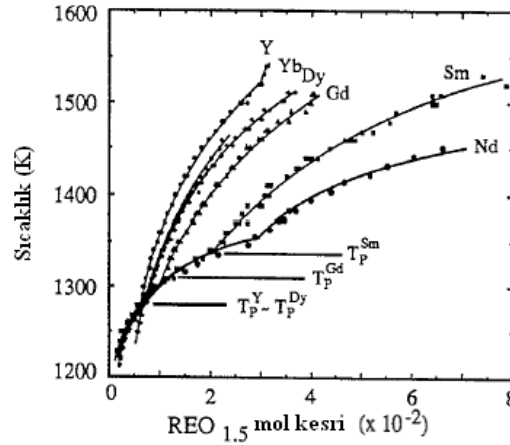
Şekil 2.21  $Y_2O_3$ -BaO-CuO sisteminin 0,21 atmosfer oksijen basıncında hesaplanan düşey kesiti (Lee ve Lee 1991) ve likidis çizgisinin deneysel sonuçları (Krauns vd 1994).



Şekil 2.22 Farklı kısmi oksijen basınçları altında eriyik haldeki  $Ba_3Cu_5O_8$  içinde Y nin likidis çizgileri (Shiohara ve Endo 1997).

Yukarıda, toprak alkali elementlerin (RE) çoğunun Y123 sisteminde Y yerine konulabileceği ifade edildi. RE123 fazları, Y-Ba-Cu-O sisteminde olduğu gibi, RE211 yüksek sıcaklık kararlı fazları ile sıvı arasındaki peritektik reaksiyon vasıtasıyla oluşturulur. Pr-Ba-Cu-O ve Nd-Ba-Cu-O sistemlerinde yüksek sıcaklık kararlı fazları sırasıyla  $PrBaO_4$  (Pr110) ve  $Nd_4Ba_2Cu_2O_{10}$  (Nd422) dir (Shiohara ve Endo 1997). Şekil 2.23,  $RE \equiv Y, Yb, Dy, Gd, Sm, ve Nd$  toprak alkali elementlerinin hava atmosferi altında  $Ba_3Cu_5O_8$  eriyiği içindeki likidis çizgilerini gösterir (Krauns vd 1994, Shiohara ve Endo 1997). Peritektik sıcaklık ( $T_p$ ), RE elementinin atom numarası (iyonik yarıçapı)

ile artar.  $T_p$  civarında RE nin atom numarası ile RE123-sıvısının likidis eğimleri azalır, RE çözünürlükleri artar. Atom numarası ile kristal büyütme için en önemli faktörler olan likidis eğimi ve çözünürlükteki değişimler, Y-Ba-Cu-O sisteminde oksijen kısmi basıncı ile meydana gelen değişimlere benzerdir.

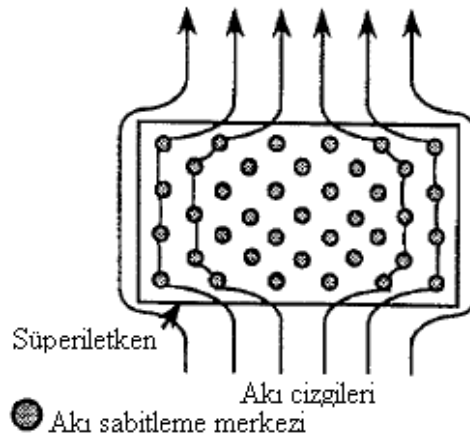


**Şekil 2.23** Hava atmosferi altında  $Ba_3Cu_5O_8$  eriyiği içinde RE nin likidis çizgileri (Krauns vd 1994, Shiohara ve Endo, 1997). RE  $\equiv$  Y, Yb, Dy, Gd, Sm, ve Nd.

RE-Ba-Cu-O sistemindeki diğer önemli özellik, RE  $\equiv$  La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd gibi hafif (light) RE elementlerini ihtiva eden bir katı çözeltinin varlığıdır, oysa Y123 stokiyometrik bir bileşiktir (Yoo ve McCallum 1993, Wada vd 1988, Daeumling, vd 1990). Bu, RE iyonlarının iyonik yarıçaplarının nispeten daha büyük olmasından dolayıdır.

Balk süperiletkenlerin çoğu uygulamaları sıfır direnç üzerine dayandırılır. Böyle uygulamalar için, süperiletkenler uzun teller veya şeritler şeklinde üretilir. Bu üretimi yapmak, kırılğan oksit süperiletkenler için zordur. İlaveten, süperiletken kabloların üretimi için yüksek sıcaklık süperiletken telleri eğmek zordur. Bi sisteminde gümüş kaplı şeritler ve Y sisteminde nikel esaslı bir alaşım üzerinde büyütülen ince filmler gibi, toz metalurjisi metotları büyük gelişmeler göstermesine rağmen uygulanan manyetik alanla, kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) özellikleri, 77 K de gerekli olandan daha düşük olmaktadır. Üretim zorluklarını göz önünde bulundurarak balk şeklindeki süperiletkenler için yeni uygulama alanları geliştirilmiştir. Bir mıknatıs ile süperiletken arasındaki manyetik itici ve çekici kuvvetler ;mil yatağı (bearing), uçan tekerler (fly-wheels), manyetik olarak kaldırılmış taşıma sistemleri vb. alanlara uygulandı. Bu tür uygulamalar konvansiyonel metalik süperiletkenler için zordur. Çünkü düşük özısıdan

dolayı akı sıçraması olur ve bu durum süperiletkeni normal iletken hale getirir (Shiohara ve Endo 1997). Düşük  $T_c$  li süperiletkenlerin aksine, yüksek sıcaklık süperiletkenleri yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. Sıcaklık yükselirken özısı aşırı derecede büyük olacağından büyük balk süperiletkenler bile yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. Bu kullanım, büyük yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin balk halde kullanılmasına imkan sağlar. İtici ve çekici kuvvetlere yukarıda Meissner olayını anlatırken değinilmişti. Süperiletken manyetik alanı reddeder yani dışına atar (Meissner olayı). Süperiletken bu olayı kullanarak bir mıknatısı havada asılı tutabilir. II. tip süperiletkenlerde, düşük kritik alanın ( $H_{c1}$ ) yukarısında manyetik alan Şekil 2.24 de görüldüğü gibi, kenardan süperiletkenin içine sızar. Fakat manyetik alanın bir kısmı hala süperiletkenin dışında tutulur ve manyetik kaldırma devam eder. Eğer manyetik akı, kuvvetli sabitleme (pinning) merkezleri tarafından tuzaklanırsa (hapsedilirse), manyetik akıyı sabitleme merkezlerinden kaldırmak için bir kuvvet gereklidir (pratikte; mıknatısı süperiletkenin üzerine biz koyarız veya kaldırırız). Bu, çekici kuvvetlere yol açar. Kuvvetli akı sabitleme merkezleri olan Y211 parçacıklarının içine ince bir şekilde dağılan, eritme işlemiyle hazırlanan Y123 süperiletkenleri, kuvvetli itici ve çekici kuvvetleri kullanarak ağır bir objeyi (örneğin, 100 kg dan büyük) kararlı bir şekilde havada tutabilir (Murakami 1992).



**Şekil 2.24** Akı sabitleme (pinning) merkezli bir süperiletken tarafından dışarı atılan manyetik akı çizgilerinin şematik izahı (Murakami 1992).

Eritme – büyütme yöntemiyle hazırlanan yüksek  $J_c$  değerli Y-Ba-Cu-O, manyetik akı sabitleme merkezleri olarak rol oynayan yapısal kusurlar içerir. Bu kusurların başlıcaları olarak; ikiz düzlemleri, yığılma hataları, çatlaklar, oksijen kusurları, dislokasyonlar ve süperiletken olmayan parçacıklar sayılabilir.

Y123-Y211 sisteminde, Y123 süperiletkeninin koherens uzunluğu birkaç angstrom ile 30-40 angstrom arasında değişir (Matsuda vd 1989). Bu sebepten, eğer Y211 parçacıkları pinnig merkezleri olarak kullanılacaksa Y123 süperiletkenleri içine mümkün olduğu kadar düzgün bir şekilde dağılmış olmalıdır. Ayrıca Y123 içine düzgün bir şekilde dağılmış olan Y211 parçacıklarının,  $J_c$  değerlerini artırdığına da inanılmaktadır. Y211 parçacıkları koherens uzunluktan büyük olduğu için, doğrudan veya dolaylı olarak Y211 parçacıklarının akı sabitleme merkezleri olarak rol oynayıp oynamadıkları henüz tam açıklığa kavuşmuş değildir (Shiohara ve Endo 1997). Y211 ile Y123 arasındaki arayüzeyler ve Y211 parçacıkları etrafındaki dislokasyonlar, yığılma hatalarının pinning yerleri olarak rol oynayabilecekleri şeklinde, Y211 parçacıklarıyla bağlantılı olan çeşitli pinning mekanizmaları öne sürülmüştür (Murakami 1994, Yamaguchi vd., 1990). Ayrıca Y211 parçacıklarının boyutlarını küçültmek için çok sayıda üretim metodu da geliştirilmiştir.

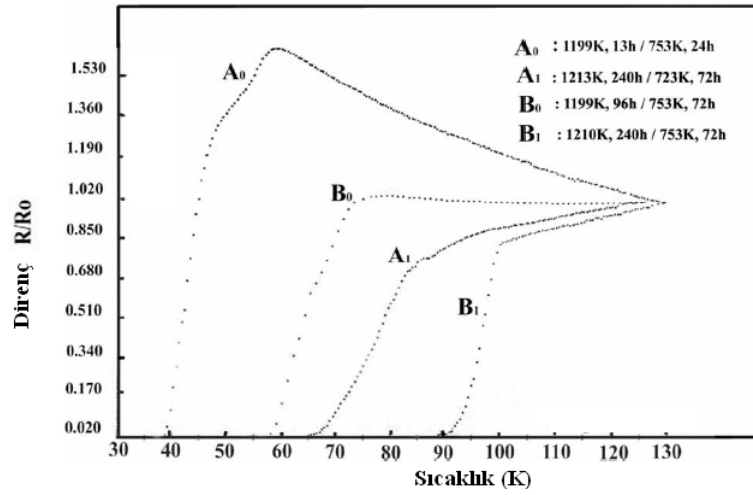
Her ne kadar seçilen malzeme için fiziksel özellikler temel faktörler ise de,  $T_c$  ve  $H_c$  gibi malzemeye bağlı özgün süperiletken özellikler hariç, mikroyapıyı kontrol ederek  $J_c$  yi artırmak için gerekli temel faktörleri belirlemekte fayda vardır. Birinci olarak, bu temel faktörler eritme-büyütme numuneleri ile sinterlenmiş numuneler arasındaki mikroyapısal farklardan çıkarılabilir. Her ne kadar  $T_c$  değerleri aynı olsa bile, sinterlenmiş numune, bir eritme-büyütme numunesinden çok daha küçük  $J_c$  değerine sahiptir. Sinterleme oksit malzemelerde yani seramiklerde yaygın bir şekilde kullanılır. Pratik uygulamalar için hassas şekil verilebilirliği ve katı hal reaksiyonu ile bileşikler oluşturmak için nispeten daha düşük sıcaklıklar gerektirmesi gibi avantajlara sahiptir. Sinterlenmiş numunelerde; 1) Düşük yoğunluk, 2) Katı içinde difüzyonun düşük olması ve kompozisyonun yerden yere değişmesinden dolayı tane sınırlarında ikinci fazların oluşması, 3) Tanelerin rasgele yönelmesi gibi mikroyapısal özellikler süperiletken akımın numune içinde akmasını engeller. Birinci ve ikinci problemler YBCO sisteminde; birlikte çökeltme, sol-gel metodu, homojen başlangıç tozları, yüksek basınç altında presleme, soğuk izotatik presleme ve yüksek yoğunluklu numunelerin hazırlanması için sıvı faz sinterlemesi ve ara öğütme çoklu sinterleme, tane sınırlarında ikinci fazları azaltmak için de sinterleme zamanı, sıcaklığın optimizasyonu gibi “seramik tekniklerini” uygulanarak çözülebilir. Bu teknikler,  $J_c$  değerlerini iyileştirmede bir yere kadar başarılı oldu. Bununla birlikte, en iyi hazırlanmış balk haldeki

sinterlenmiş numunelerde bile  $J_c$  kritik akım yoğunluğu sıfır manyetik alan altında çok düşük kalır ( 77 K da  $10^3 \text{ A cm}^{-2}$  mertebesinde) ve manyetik alan uygulandığında hızlı bir şekilde azalır. Bu durumun, tanelerin rastgele yönlendiğinden, tane sınırlarının varlığından dolayı olduğu düşünülür. Tek kristallerin  $J_c$  değerinin, polikristallerinkinden bir veya iki kat daha büyük olması gerçeği bu düşüncüyü destekler. Tane sınırları  $J_c$  değerini azaltan zayıf bağlantılar olarak bilinir. Sinterlenmiş numunelerde tane sınırlarının çeşitli şekillerinin bulunacağı kabul edilir. Süperiletken akımı düşüren tane sınırlarının tipleri, çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Dimos vd 1990, Babcock vd 1990). Tane sınırı yapısı kontrol edilemediği müddetçe yüksek  $j_c$  değeri elde etmek çok zordur.

Ayrıca rasgele yönlendirilmiş numuneler, süperakım tercihli olarak  $\text{CuO}_2$  düzlemleri boyunca aktığı için iki boyutluluktan dolayı, anizotropik süperiletken özellik açısından bir dezavantaja sahiptir. Netice olarak, yüksek  $J_c$  li süperiletken malzemeler üretmek için gerekli başlıca faktörler; 1) Zayıf bağlantıların az olması, 2) Tanelerin yüksek derecede yönlendirilmiş olması, 3) Etkin akı sabitleme (pinning) merkezlerinin varlığı ve 4) Oksijen içeriğidir. Başka bir deyişle; tane sınırları düzensiz olmayacak (mükemmel matris verecek) ve pinning merkezleri (kusurlar gibi) tane sınırlarında değil matris içine dağılmış olacak şekilde mikroyapıyı kontrol etmek gerekir.

Süperiletken geçiş, direnci sıcaklığın bir fonksiyonu olarak çizerek gözlenebilir. Geçiş profili iki rejime ayrılabilir. Ana geçiş rejim olarak adlandırılan birinci rejim, taneler içinde direncin düşmesine karşı gelir ve esas olarak bu tanelerin oksijen stokiyometrisine ve kimyasal kompozisyona bağlıdır. İkinci rejim, ana geçiş rejiminin hemen altında uzanan ve sıfır dirence düşme aralığını kaplayan kuyruk rejimidir. Bu rejimde taşıma, tane sınırları (zayıf bağlantılar) tarafından kontrol edilir ve zayıf bağlantıların Josephson Çiftlenim Enerjisinin, termal enerjiye üstün gelmekte yetersiz olduğu sıcaklık aralığına karşı gelir. Bu rejim; taneler arası fazlar, hatalı yönlendirmeler, tane sınırı oksijen eksiklikleri, tane sınırı katyon eksiklikleri gibi, tane sınırlarındaki kusurların varlığıyla genişler. Şekil 1.25  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $B_0$ , ve  $B_1$  gibi sinterlenmiş numunelerden elde edilen deneysel direnç ( $R_{(T)}$ ) ölçümlerini gösterir. Bu sonuçlar, seramikte homojenliğin ve oksijenin düşük olmasının ve ayrıca tane sınırlarında ikinci fazların bulunmasının  $T_c$  yi azaltırken geçiş genişliğini artırdığını açık bir şekilde gösterir. Bu eğriler,  $A_0$  ve  $B_0$  numunelerine yapılan ilave sinterlemenin de geçişi

iyileştirdiğini göstermektedir.  $A_0$  numunesinin yarı iletken davranışı, hala bir  $\Delta T_c$  genişliği ve bir kuyruk bölgesi gösteren  $A_1$  numunesinde kaybolmuştur.  $B_1$  numunesinde oksijen içeriği optimumdur fakat kuyruk etkisi  $B_0$  numunesine göre artmıştır. İlave bir tavlama oksijen içeriğini artırır ve zayıf-bağlantıların kalitesini iyileştirir (Ayache 2006).



Şekil 2.25 Değişik şartlar altında sinterlenmiş  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $B_0$ , ve  $B_1$  numunelerinin  $R(T)$  ölçümleri (Ayache 2006).

YBCO malzemeleri üretmek için katıhal tepkime metodu, eritme yöntemleri (Eritme-Yönlendirme-Büyütme Yöntemi [Melt-Textured-Growth (MTG)], Geliştirilmiş Eritme-Yönlendirme-Büyütme Yöntemi, Hızlı Soğutma-Eritme-Büyütme Yöntemi [Quench-Melt-Growth (QMG)], Eritme-Toz-Eritme-Büyütme [Melt-Powder-Melt-Growth (MPMG)]) gibi çeşitli üretim teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerle bulk malzemeler hem tel haline getirilmekte hem de üretilen bu tellerin uygulamada karşılaşılabilecekleri problemlerin minimuma indirilmesi sağlanmaya çalışılmaktadır.

Katıhal tepkime metodunda yüksek saflıkta  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$  ve  $CuO$  toz bileşikleri kullanılmaktadır. Bu başlangıç tozları iyice karıştırıldıktan sonra 850-950 °C civarında, 1 ile 24 saat arasında kalsinasyon işlemine tabi tutulur. Kalsinasyon işleminde katılan tozlar öğütülerek toz haline getirilir. Bu işlem numunenin kalitesini arttırmak için birkaç kez tekrarlanabilir. Öğütülüp toz haline getirilen malzemeye sinterleme işlemi uygulanır. Sinterlenmiş YBCO numunesinde yüksek  $T_c$  değeri kolayca elde edilebilirken,  $J_c$  değeri oldukça düşüktür (Murakami 1992).  $J_c$  değerini belirlemede şunlar önemlidir; Homojenlik, yoğunluk, oksijen miktarı, çatlaklar ve tane sınırlarındaki

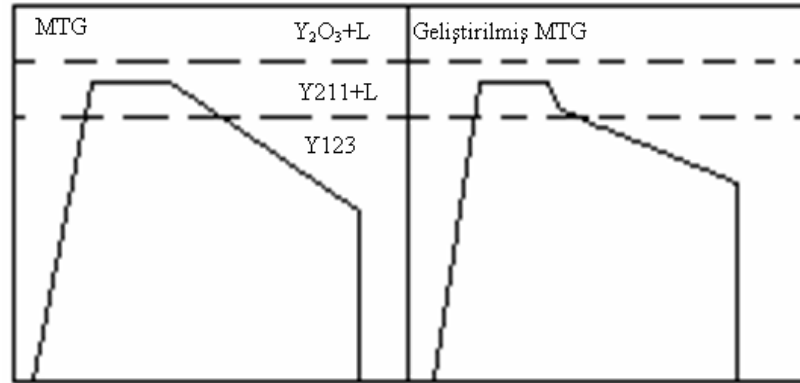


temas. YBCO numunesinin homojenliği başlangıç tozlarının iyi şekilde karıştırılmasıyla elde edilir. Tane bağlantılarını azaltan normal fazların yüksek sıcaklıkta tane sınırlarında bulunması  $J_c$  'nin azalmasına sebep olur. Yoğunluk ise sinterleme sıcaklığı yükseltilerek ve uygun büyüklükte (<1 mikron) tozlar kullanıldığında elde edilir. Toz yüksek basınçta preslendikten sonra 925 °C' nin altında sinterlenebilir. Sonuçta normal fazlar olmadan da yüksek yoğunluklu numuneler elde edilebilir. Normal fazlardan kaçınmak için sinterleme nispeten düşük sıcaklıkta yapılabilir. Yine de tane sınırları boyunca olan çatlaklar yüzünden  $J_c$  değeri düşüktür. Numunelerin yoğunluğunun artırılması oksijenin numuneye girmesini de engellemektedir ki  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  'da  $T_c$  tamamen oksijen miktarına bağlıdır ve  $\delta$  yani oksijen eksikliği arttıkça  $T_c$  ve  $J_c$  değerleri azalır. Oksijen ortamında uzun süreli tavlama yoğun maddeye oksijen girişinde etkilidir. Buna rağmen böyle numunelerde  $J_c$  değeri, pratik uygulamalar için yeterli değildir.

Eritme-Yönlendirme-Büyütme (MTG) yöntemini, süperiletken numunelerde zayıf bağlantının sonucu olan düşük  $J_c$  ve  $T_c$ 'yi yükseltmek amacıyla Jin ve arkadaşları (1988) kullanmışlardır. Sinterlenmiş Y(123) numunesini bu yöntemle erittiler ve ısı gradyent altında yavaş adımlarla soğuttular. Bu yöntemde a-b düzlemi boyunca tanelerin büyümesi tercih edilir.

Geliştirilmiş MTG yönteminde, yüksek derecede yönlendirilmiş numune elde etmek için MTG yönteminden farklı olarak numune peritektik sıcaklığa yavaşça soğutulmaktadır. Buna rağmen süperiletken fazın bağlantıları çok zayıftır. Hem Y(211) hem de sıvı fazın olması Y(123) fazının tane büyümesi için gereklidir. Bu da Y(211) 'in düzenli dağılmadığı yada yoğunluğunun az olduğu bölgelerde reaksiyonun sürekli olmayacağını gösterir. MTG yönteminde, Şekil 2.26 dan da görülebileceği gibi numunesi (Y211+L) bölgesine yavaşça soğutulursa, bu Y(211) tanelerinin büyüüp düzensiz dağılmasına sebep olur ve böylece süperiletken fazda zayıf bağlar oluşur. Y(211)'in büyümesini önlemek için birçok grup geliştirilmiş MTG yöntemini kullanmışlardır (Murakami 1992). Y(211) fazının büyüklüğü; ısıtma sıcaklığı, peritektik sıcaklığın üzerine indirerek azaltılabilir. Yine de bu teknik kullanıldığında ara sıra gözenekler oluşur. Eğer numune, yüksek sıcaklıklarda uzun süre eritilir, ardından peritektik sıcaklığa hızla soğutulur daha sonra da oda sıcaklığına yavaş soğuma yapılırsa gözeneklerin sayısı azaltılabilir ve Y(211) fazının Y(123) fazı içerisinde küçük parçacıklar halinde dağılması sağlanabilir. Bunun sonucu olarak da hem Y(123) fazı içerisindeki Y(211) bölgelerinin büyüklüğü

1-5 mikron mertebesine azaltılabilir, hem de süperiletken tanelerin birbirleri ile bağları geliştirilebilir.



Şekil 2.26 MTG ve Geliştirilmiş MTG yöntemlerinin şematik gösterimi (Murakami1992).

Peritektik sıcaklığın üzerinde mikroyapının kontrolü, eritme yönteminin en önemli noktasıdır. Peritektik sıcaklıkta, sıvı fazın içerisinde küçük Y(211) parçacıklarının bulunması istenir. Hızlı-Soğutma-Eritme-Büyütme (QMG) Yönteminde, önce sinterlenmiş numune veya kalsine edilmiş tozlar  $Y_2O_3+L$  bölgesine kadar ısıtılır ve soğuk bir plaka kullanılarak hızla soğutulur. Burada numune  $Y_2O_3$  parçacıklarından ve katılmış sıvı fazdan ( $BaCuO_2$  ve amorf fazlar) oluşur. Plaka halinde olan hızlı soğutulmuş numune ( $Y_{211}+L$ ) bölgesine ısıtılır. Burada ( $Y_2O_3$ ), Y(211) fazını oluşturmak için sıvı fazla reaksiyona girer. Y(211) fazı  $Y_2O_3$ 'den oluştuğu için  $Y_2O_3$ 'in dağılımının kontrol edilmesi Y(211) fazının dağılımının da kontrol edilmesini sağlar. ( $Y_{211}+L$ ) bölgesi sıcaklığında, numune uzun süre tutulmamalıdır. Eğer süre uzun olursa bu Y(211) fazının yapı içerisinde büyük taneler halinde dağılmasına sebep olur. Numunenin bu sıcaklıkta durma süresi önemlidir. Çünkü kısa süre durması halinde de son yapıda gözenekler meydana gelir. Bu yüzden numunenin uygun bir zaman bekletildikten sonra soğutulması gerekmektedir. Bu yöntemde daha sonra MTG yönteminde olduğu gibi biraz daha geliştirilmiştir. Geliştirilmiş QMG yönteminde, numune ( $Y_{211}+L$ ) bölgesinde uygun bir zaman bekletildikten sonra peritektik sıcaklığın hemen üstüne hızlı soğutulur ve sonra kristal büyümenin gerçekleşmesi için yavaş soğutulur.

QMG yönteminden farklı olarak Eritme-Toz-Eritme-Büyütme (MPMG) yönteminde hızlı soğutma işleminden sonra numuneler ince toz haline getirilip iyice karıştırılır. Böylelikle  $Y_2O_3$  'in karışım içerisine düzenli bir şekilde dağılması sağlanır. Daha sonra tozlar istenilen şekle getirilir ve (Y211+L) sıcaklığına ısıtılır. Bu sıcaklıkta bir müddet tutulur ve hızla peritektik sıcaklığın hemen üstüne soğutulur. Sonrasında ise numune yavaşça oda sıcaklığına soğutulur. MPMG yöntemiyle hazırlanan numunede Y(211) parçacıkları  $J_c$  ile ilgilidir ve süperiletken olmayan fazlar pinning merkezleri olarak görev yapmaktadırlar (Murakami 1992).

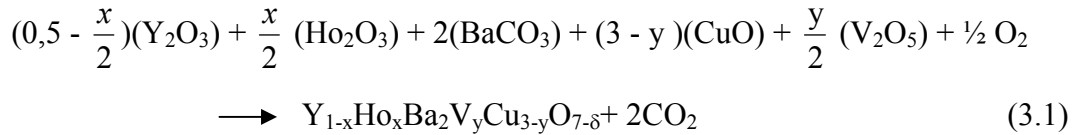
Geçiş sıcaklığının yükseldiği, kırılmalara ve darbelere dayanıklı, birbirleri ile sıkı temas halinde bağlı olan ve uygulamada değişik ihtiyaçlara cevap verebilen numuneler üretmeyi amaçlayan pek çok bilim adamı değişik süperiletken numuneler elde etmişlerdir. Bu doğrultuda  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  'ya ve diğer süperiletken sistemlere fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi için değişik metodlarla katkı yapılmıştır. Yapılan bu katkı işlemlerinde katkı atomlarının çapları, diğer bileşenlerle reaksiyona girip girmedikleri, erime ve kaynama sıcaklıklarının yüksek veya düşük olmaları dikkate alınmaktadır. Çünkü bu katkı işlemleri örgü parametreleri, kristal büyümeleri gibi yapısal ve fiziksel özelliklerin değişmesine neden olmaktadır. Yapılan çalışmalarda süperiletken sisteme katkı maddeleri adding, doping ve difüzyon şeklinde katılmaktadır.

Adding, oluşmuş süperiletken yapıya belli miktarda katkı maddesinin eklenmesidir. Doping, süperiletken bileşik hazırlanırken, elementlerden birinin miktarı azaltılarak, yerine katkı malzemesi konularak yapılır. Difüzyon ise katı, sıvı veya gaz parçacıklarının madde içinde ısı işlem yardımıyla hareket etmesidir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 3.1 $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ Süperiletken Numunelerin Üretilmesi

$Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  süperiletkenlerini yaparken meydana gelen ilk kimyasal reaksiyon



dir. Bu reaksiyonu gerçekleştirmek için saflık oranları yüksek ve toz halinde bulunan  $Y_2O_3$ ,  $Ho_2O_3$ ,  $BaCO_3$ ,  $CuO$  ve  $V_2O_5$  bileşiklerinin belli oranlarda karışımı kullanıldı. Başlangıç karışımındaki kimyasal bileşiklerin doğru oranını bulmak için doğru moleküler oranları hesaplamak gerekir. Bütün atom ve moleküller farklı ağırlıklara sahip oldukları için, toz haldeki kimyasal bileşiklerin doğru ağırlık oranları hesaplanmadan önce atom ve moleküllerin ağırlık oranları bilinmelidir.

Bir bileşiğin moleküler ağırlığı, o bileşiği oluşturan  $6,02 \cdot 10^{23}$  tane molekülün gram cinsinden toplam ağırlığıdır ve bileşenlerin atomik ağırlıkları toplanarak kolayca hesaplanabilir. Örneğin,  $Y_2O_3$  bileşiği 2 tane yitrium (Y) ve 3 tane oksijen (O) atomundan meydana gelir. Yitriumun atom ağırlığı 88,9059 g/mol dür (88,9059 gramında  $6,02 \cdot 10^{23}$  tane atom bulunur), oksijenin atom ağırlığı 15,9994 g/mol dür (15,9994 gramında  $6,02 \cdot 10^{23}$  tane atom bulunur). Böylece  $Y_2O_3$  bileşiğinin molekül ağırlığı

$$\text{Yitrium için } Y_2: 2 \times 88,9059 = 177,8818 \text{ g/mol}$$

$$\text{Oksijen için } O_3: 3 \times 15,9994 = 47,998 \text{ g/mol}$$

$$\text{Yitriumoksitin molekül ağırlığı } Y_2O_3: 177,8818 + 47,998 = 225,88 \text{ g/mol}$$

şeklinde hesaplanır. Benzer şekilde, diğer bileşiklerin molekül ağırlıkları da

$$\text{Baryum için Ba: } 1 \times 137,33 = 137,33 \text{ g/mol}$$

$$\text{Karbon için C: } 1 \times 12,011 = 12,011 \text{ g/mol}$$

$$\text{Oksijen için O}_3: 3 \times 15,9994 = 47,9982 \text{ g/mol}$$

$$\text{Baryum carbonatın molekül ağırlığı BaCO}_3 = 197,35 \text{ g/mol}$$

$$\text{Bakır için Cu: } 1 \times 63,546 = 63,546 \text{ g/mol}$$

$$\text{Oksijen için O: } 1 \times 15,9994 = 15,9994 \text{ g/mol}$$

$$\text{Bakıroksit molekül ağırlığı CuO} = 79,5454 \text{ g/mol}$$

$$\text{Holmiyum için Ho}_2: 2 \times 164,9303 = 329,8606 \text{ g/mol}$$

$$\text{Oksijen için O}_3: 3 \times 15,9994 = 47,9982 \text{ g/mol}$$

$$\text{Holmiyumoksitin molekül ağırlığı Ho}_2\text{O}_3 = 377,8588 \text{ g/mol}$$

$$\text{Vanadyum için V}_2: 2 \times 50,9415 = 101,8830 \text{ g/mol}$$

$$\text{Oksijen için O}_5: 5 \times 15,9994 = 79,9970 \text{ g/mol}$$

$$\text{Vanadyumoksitin molekül ağırlığı V}_2\text{O}_5 = 181,8800 \text{ g/mol}$$

olarak hesaplanır. (3.1) formülüne göre tepkimeye giren bileşiklerin katsayıları o bileşiğe ait molekül ağırlığı ile çarpılarak uygun miktarlar bulunur. Yani istediğimiz tepkime için  $(0,5 - x/2)$  mol  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $x/2$  mol  $\text{Ho}_2\text{O}_3$ , 2 mol  $\text{BaCO}_3$ ,  $y/2$  mol  $\text{V}_2\text{O}_5$  ve  $(3 - y)$  mol  $\text{CuO}$  tepkimeye girer. Örneğin,  $x = 0,2$  ve  $y = 0,06$  için (3.1) denklemine göre tepkimeye girecek olan bileşiklerin ağırlıkları

$$(0,5 - 0,2/2) \text{Y}_2\text{O}_3 = (0,4)\text{Y}_2\text{O}_3 \text{ için: } 0,4 \times 225,88 = 90,352 \text{ g Y}_2\text{O}_3$$

$$(0,2/2) \text{Ho}_2\text{O}_3 = (0,1)\text{Ho}_2\text{O}_3 \text{ için: } 0,1 \times 377,8588 = 37,7858 \text{ g Ho}_2\text{O}_3$$

$$2\text{BaCO}_3 \text{ için: } 2 \times 197,35 = 394,700 \text{ g BaCO}_3$$

$$(0,06/2) \text{V}_2\text{O}_5 = (0,03)\text{V}_2\text{O}_5 \text{ için: } 0,03 \times 181,8800 = 5,4564 \text{ g V}_2\text{O}_5$$

$$(3 - 0,06) \text{CuO} = 2,94 \text{ CuO için: } 2,94 \times 79,5454 = 233,8635 \text{ g CuO}$$

şeklinde bulunur. Böylece 1 mol yani  $6,02 \cdot 10^{23}$  tane  $\text{Y}_{0,8}\text{Ho}_{0,2}\text{Ba}_2\text{V}_{0,06}\text{Cu}_{2,94}\text{O}_{7,8}$  bileşiği içeren bir numune elde etmek için tepkimeye girmesi gereken bileşiklerin toplam ağırlığı  $90,352 + 37,7858 + 394,700 + 5,4564 + 233,8635 = 762,1577 \text{ g}$  olmalıdır.

Ancak deneysel çalışmalar için yaklaşık 5 g ağırlığında iki tablet yeterlidir. Bunun için kullanılması gereken bileşiklerin toplam ağırlığı 11 - 12 g civarında olmalıdır.  $x = 0,2$  ve  $y = 0,06$  numunesinden yaklaşık 5 gramlık iki tablet numune elde etmek için tepkimeye girmesi gereken kimyasal bileşiklerin toplam ağırlığının 12 g olması istenirse, o zaman tepkime sonucunda elde edilecek  $Y_{0,8}Ho_{0,2}Ba_2V_{0,06}Cu_{2,94}O_{7-\delta}$  bileşiğinin 0,0160826 mol olması gerektiği basit bir orantı hesabıyla ortaya çıkar. Buna göre,  $x = 0,2$  ve  $y = 0,06$  numunesini elde etmek için gereken kimyasal bileşiklerin ağırlıkları

$$90,352 \times 0,0160826 = 1,4530 \text{ g } Y_2O_3$$

$$37,7858 \times 0,0160826 = 0,6076 \text{ g } Ho_2O_3$$

$$394,7 \times 0,0160826 = 6,3478 \text{ g } BaCO_3$$

$$5,4564 \times 0,0160826 = 0,0877 \text{ g } V_2O_5$$

$$233,8635 \times 0,0160826 = 3,7611 \text{ g } CuO$$

şeklinde hesaplanır.

Holyum (Ho) ve vanadyum (V) elementlerinin katkı oranları olan sırasıyla  $x$  ve  $y$  nin çeşitli değerleri için,

- 1)**  $x = 0.0, y = 0.03$ , **2)**  $x = 0.0, y = 0.06$ , **3)**  $x = 0.0, y = 0.09$ , **4)**  $x = 0.0, y = 0.12$ ,  
**5)**  $x = 0.2, y = 0.00$ , **6)**  $x = 0.2, y = 0.03$ , **7)**  $x = 0.2, y = 0.06$ , **8)**  $x = 0.2, y = 0.09$ ,  
**9)**  $x = 0.2, y = 0.12$ , **10)**  $x = 0.4, y = 0.00$ , **11)**  $x = 0.4, y = 0.03$ , **12)**  $x = 0.4, y = 0.06$ ,  
**13)**  $x = 0.4, y = 0.09$ , **14)**  $x = 0.4, y = 0.12$ , **15)**  $x = 0.6, y = 0.0$ , **16)**  $x = 0.6, y = 0.03$ ,  
**17)**  $x = 0.6, y = 0.06$ , **18)**  $x = 0.6, y = 0.09$ , **19)**  $x = 0.6, y = 0.12$ , **20)**  $x = 0.8, y = 0.0$ ,  
**21)**  $x = 0.0, y = 0.00$

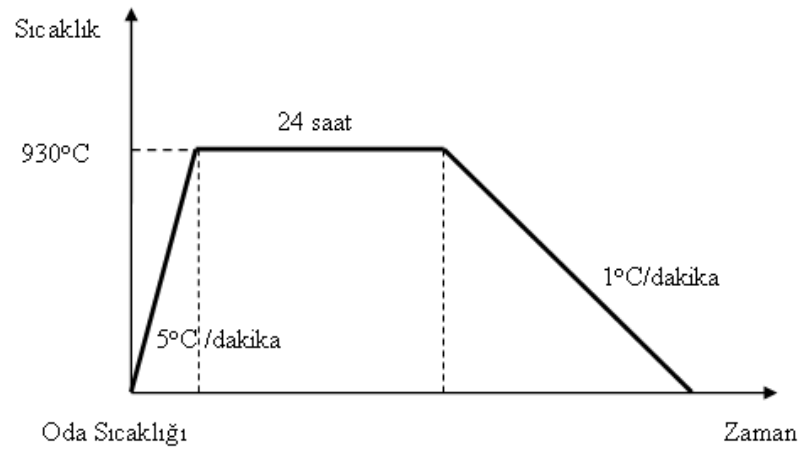
şeklinde 21 farklı  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  süperiletken numunesinin üretilmesi tasarlandı. Bu numuneleri hazırlamak için gerekli bileşiklerin ağırlıkları toplam 12 g olan kompozisyonlar için yukarıda anlatıldığı gibi hesaplandı. Toz haldeki kimyasal bileşiklerin tartım işlemi, virgülden sonra 4 haneli hassas ölçüm alabilen Sartorius marka elektronik terazi kullanılarak yapıldı.

Her bir numune için, başlangıç tozları uygun miktarlarda tartıldıktan sonra agat taşından yapılmış havana konuldu ve tozların homojen olarak karışması için yaklaşık 2

saat karıştırıldı. Elde edilen karışım alümina ( $Al_2O_3$ ) pota içerisine konularak oda sıcaklığındaki Honeywell sıcaklık kontrol ünitesi Protherm marka kare fırın (Şekil 3.1) içerisine kalsinasyon işlemi yapılmak üzere yerleştirildi. Oda sıcaklığındaki fırın  $5\text{ }^\circ\text{C/dakika}$  sıcaklık artışıyla  $930\text{ }^\circ\text{C}$  'ye kadar ısıtıldı ve 24 saat bu sıcaklıkta bekletildikten sonra  $1\text{ }^\circ\text{C/dakika}$  hızla oda sıcaklığına kadar soğutuldu (Şekil 3.2).

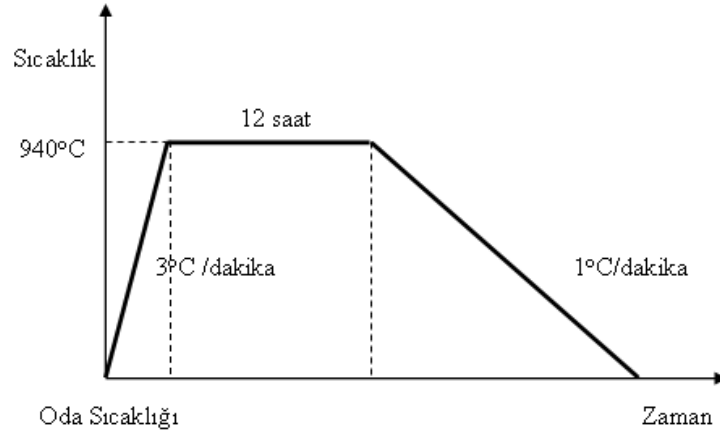


Şekil 3.1 Honeywell sıcaklık kontrol ünitesi Protherm marka kare fırın.



Şekil 3.2: Kalsinasyon ısıl işlem şeması.

Oda sıcaklığında fırından çıkarılan karışım agat havan içerisine konup dövülerek yeniden toz haline getirildi. Toz halindeki karışım Specac marka presleme aletiyle, 300 MPa basınç altında 1 dakika kadar bekletilerek 13 mm çapında tablet haline getirildi. Bu tablet daha sonra sinterleme işlemi için kare fırın içerisine konuldu. Oda sıcaklığındaki fırın  $3\text{ }^\circ\text{C/dakika}$  sıcaklık artışıyla  $940\text{ }^\circ\text{C}$  'ye kadar ısıtıldı ve bu sıcaklıkta 12 saat bekletildikten sonra  $1\text{ }^\circ\text{C/dakika}$  hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Sinterleme işleminin ısıl şeması Şekil 3.3 de gösterilmektedir.



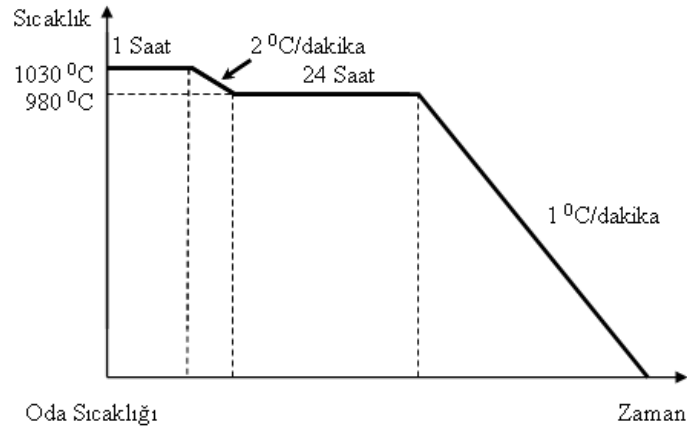
**Şekil 3.3:** Sinterleme ısıl işlem şeması.

Sinterleme işlemi sonucunda iyice sertleşmiş olan tablet halindeki numune yine agat havan içerisine konulup ince toz haline gelinceye kadar öğütüldü. İnce toz halindeki malzeme 1 dakika süre ile 300 MPa basınç altında tutularak 13 mm çapında, yaklaşık 5 g ağırlığında tablet haline getirildi. Elde edilen tablet kristal büyütme işlemi için, 1030 °C 'ye önceden ısıtılmış Honeywell sıcaklık kontrol ünitesi Protherm marka tüp fırına yerleştirildi (Şekil 3.4). Tablet haldeki numune 1030 °C 'deki fırına ısıl şoka uğramaması için 10 dakika sürede yavaş yavaş yerleştirildi. Tablet bu sıcaklıkta 1 saat bekletildikten sonra 2 °C/dakika hızla 980 °C ye soğutuldu ve bu sıcaklıkta da 24 saat kadar kaldıktan sonra 1 °C/dakika hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Kristal büyütme işlemi için gerçekleştirilen ısıl işlem şeması Şekil 3.5 de gösterilmektedir. Kristal büyütme işleminden sonra fırından çıkarılan tablet numunenin alümina pota ile temas halinde olan yüzeyi tarafından yaklaşık 1 mm kalınlığındaki bir kısmı kesme makinesiyle kesilerek atıldı.



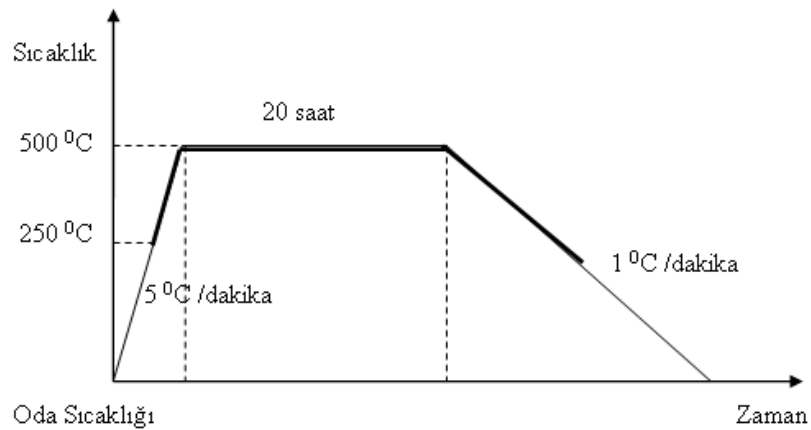
**Şekil 3.4:** Honeywell sıcaklık kontrol ünitesi Protherm marka tüp fırın.





**Şekil 3.5:** Kristal büyütme işleminin ısı işlem şeması.

Son olarak, numune yeniden oda sıcaklığında tüp fırın içerisine yerleştirildi ve Şekil 3.6'da görülen ısı işlem şemasına göre oksijen verildi. Bu işlemde, numune yerleştirildikten sonra fırın  $5\text{ }^{\circ}\text{C/dakika}$  hızla  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  'ye kadar ısıtıldı ve bu sıcaklıkta 20 saat bekletildikten sonra  $1\text{ }^{\circ}\text{C/dakika}$  hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Isıtma işlemi sırasında  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta numuneye oksijen vermeye başlandı ve soğuma esnasında  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  'de oksijen kesildi. Böylece, bu çalışmada kullanılacak bir süperiletken numunenin üretilme aşaması tamamlanmış oldu.

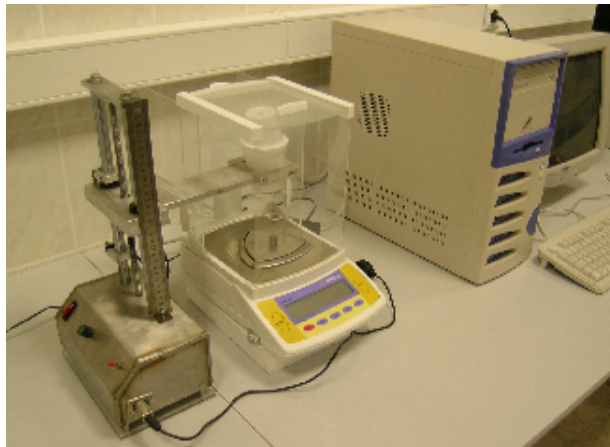


**Şekil 3.6:** Numunelere oksijen verilme ısı işlem şeması.

Yukarıda anlatılan kalsinasyon, sinterleme, kristal büyütme ve oksijen verme ısı işlemleri 21 adet numunenin hepsine aynı şekilde uygulandı ve her bir numuneden aynı anda 2 adet üretildi.

### 3.2. Kaldırma Kuvveti Ölçümleri

Numunelerin süperiletken durumda manyetik kaldırma kuvvetini ölçmek için şekil Şekil 3.7 de görülen deneysel sistem kullanıldı. Sistem bilgisayara data aktarabilme özelliği olan Sartorius marka bir hassas terazi, bilgisayar, en yakınında 420 mT ve 8 mm mesafede 280 mT değerinde manyetik alan şiddeti gösteren bir Nd-Fe-B mıknatıs, numunenin içine yerleştirildiği plastik bardak, adaptör, numuneyi sabit bir hızla mıknatısa yaklaştırıp uzaklaştırabilen adım motorlu bir düzenek ve ölçüm datasını sürekli olarak bilgisayara aktaran bir programdan oluşmaktadır. Numuneyi sabit bir hızla mıknatısa yaklaştırıp uzaklaştırabilen adım motorlu düzenek tarafımızdan tasarlandı ve Denizli sanayisinde yaptırıldı. Kullanılan bilgisayar programı ise araştırmanın yapıldığı laboratuarda yazıldı. Ölçümler manyetik alan altında soğutma metodu [ FC (Field Cooled)] uygulanarak gerçekleştirildi. Ölçümler için önce mıknatıs  $10^{-4}$  hassasiyetli hassas terazinin kefesine üzerine darası alınarak yerleştirildi. Sonra, numune dikey doğrultuda terazinin kefesinden 10 cm yukarıda bulunacak şekilde adım motorlu cihazın alüminyum kollarına tutturulmuş bir plastik bardak içine sabitlendi. Plastik bardak içine sıvı azot döküldü ve numunenin soğuması için yaklaşık 5 dakika beklendi. Böylece, manyetik alan numune soğutulmadan önce uygulanmış oldu. Sıvı azot içerisinde bulunan numune adım motoru yardımıyla, yavaş ve sabit bir süpürme hızıyla 100 mm mesafeden mıknatısa 8 mm mesafe kalıncaya kadar yaklaştırıldı ve tekrar aynı hızla 100 mm mesafeye uzaklaştırıldı. Süperiletken numune ile mıknatıs arasında yaklaşma esnasında oluşan itici kuvvet ile uzaklaşma esnasında oluşan çekici kuvvet hassas terazi tarafından kütle cinsinden (g) sürekli okunarak bilgisayar ortamına aktarıldı.



Şekil 3.7: Kaldırma kuvveti deney sistemi.

Yaklaşma ve uzaklaşma mesafesi bilgisayara aktarılan data sayısına bölünerek terazinin data okuma mesafesi belirlendi. Gram cinsinden kaydedilen data  $980 \text{ cm/s}^2$  ile çarpılıp, süperiletken numunenin kütlesine bölünerek birim kütle başına kaldırma kuvveti datası mesafenin bir fonksiyonu olarak hesaplandı.

### 3.3. Mikroyapı

Tablet halindeki numunelerin yüzeyleri düz bir zemin üzerinde sırasıyla 60,180, 240 ve 320 kum luk SiC zımpara kağıtları kullanılarak zımparalandı ve iyice düzeltildi. Yüzeyleri zımparalanarak düzeltilen bu numuneler sırasıyla 3, 1, 0.5 ve 0.25 mikronluk elmas pastalar kullanılarak parlatıldı ve parlatılan yüzeyler alkolle temizlendi. Daha sonra bu numunelerin çeşitli büyütmelerdeki yüzey fotoğrafları Nikon ECLİPSE ME600 marka polarize ışık metal mikroskobuyla (Şekil 3.8) alınarak bilgisayar ortamına aktarıldı. Clemex adlı bir mikroskop programı kullanılarak mikroyapı incelemeleri ve Y211 normal fazının istatistik analizi yapıldı.



Şekil 3.8: Nikon ECLİPSE ME600 marka polarize ışık mikroskobu.

### 3.4 Elektriksel Direnç Ölçümleri

Tablet halindeki numuneler üzerine yüksek iletkenlik gösteren gümüş pasta kullanılarak bakır telle dört noktadan kontak yapıldı. Kontak yapılan bu numuneler ayrı ayrı sıcaklığa bağlı direnç ölçümü yapılmak amacıyla, 10 K – 300 K aralığında ısıtma-soğutma yapılabilme özelliğine sahip Janis marka kapalı devre He gazı soğutmalı bir kriyostat içerisine yerleştirildi. Bu çalışmada kullanılan direnç ölçüm sisteminin fotoğrafı Şekil 3.9 da görülmektedir. Sistem kriyostat, turbo moleküler vakum pompası, kompresör, sıcaklık kontrol ünitesi, soursmetre, nanovoltmetre, bilgisayar, ölçüm datasını bilgisayara aktaran arayüz ve bütün sistemi kontrol etmek için yazılan bilgisayar programından ibarettir. Numune kriyostat içerisine numune tutucu üzerine yerleştirildikten sonra vakum pompası aracılığıyla kriyostatın iç basıncı  $10^{-5}$  atmosfere ininceye kadar havası boşaltıldı. Havası boşaltılan kriyostat, kompresör vasıtasıyla helyum gazı pompalanarak 20K'e soğutuldu ve bu sıcaklıkta 30 dakika beklendi. 20K'e soğutulan kriyostat yavaş yavaş oda sıcaklığına kadar ısıtmaya başlandı ve bu sırada numune üzerinde yapılan dış kontaklardan 10 mA değerinde akım geçirildi ve her 0,5 K sıcaklık aralığında, meydana gelen gerilim düşmesi iç kontaklar arasında ölçüldü. Ölçüm sonuçları sürekli olarak bilgisayara aktarılarak, o sıcaklığa karşı gelen dirençler hesaplandı. Direncin sıcaklığa bağlılığı grafik halinde çizildi ve  $T_c$  (süperiletkenlik geçiş sıcaklığı) belirlendi.



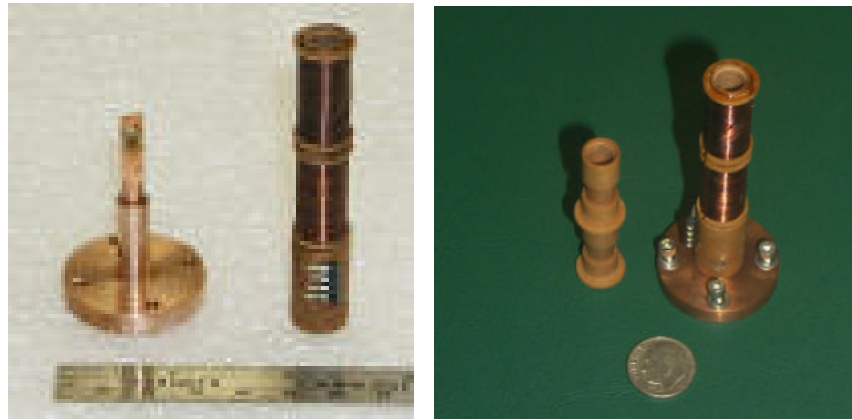
Şekil 3.9: Sıcaklığa bağlı direnç ölçüm sistemi.

### 3.5. İndüktans - Sıcaklık Ölçümleri

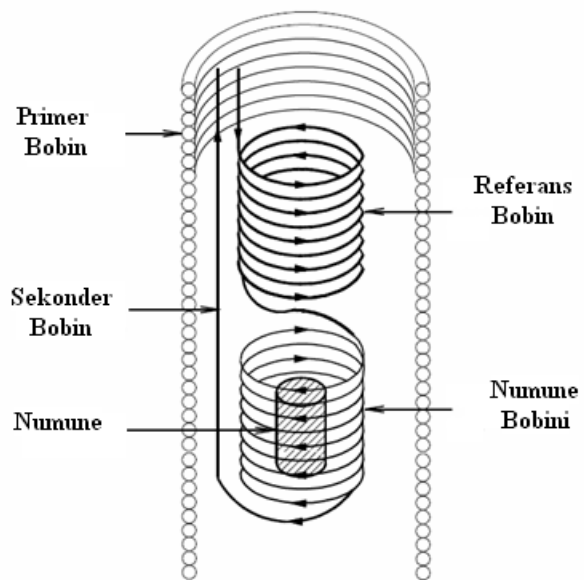
Manyetik (diamanyetik-paramanyetik) geçiş sıcaklıklarını belirlemek için, süperiletken numunelerin karşılıklı indüktansları Şekil 3.10 da görülen Janis marka ACMASS-1 model bir manyetik alınganlıkmetre (susceptometer) vasıtasıyla sıcaklığa bağlı olarak ölçüldü. Şekil 3.11 de görüldüğü gibi, alınganlıkmetre bir ac kaynakla sürüldüğünde yaklaşık olarak düzgün bir ac manyetik alan üreten selenoid şeklinde bir primer (birincil) bobin ve primer bobin içinde de bir sekonder (ikincil) bobin ihtiva eder. Sekonder bobin elektriksel olarak birbirine seri bağlı, ters yönlerde sarılmış birisi içine numunenin yerleştirildiği numune bobini ve ölçüm sırasında boş bırakılan diğeri ise referans bobini olarak adlandırılan iki bobinden ibarettir. Oda sıcaklığında primer ve sekonder bobinlerin direnci sırasıyla 400 ohm ve 3600 ohm dur. Numune uzayı  $6 \text{ mm}^2$  silindir şeklindedir. Yarım sekonder ve yarım pirimerin oda sıcaklığındaki karşılıklı indüktansı 100 Hz içi  $M = 7,486 \text{ mH}$ , 1000 Hz için  $M = 7,496 \text{ mH}$  dir. Birleştirilmiş bobin sisteminin oda sıcaklığındaki karşılıklı indüktansı ise  $M = 0,036 \text{ mH}$  dir. Karşılıklı indüktans ölçümü için kullanılan deney sistemi alınganlıkmetre (ACMASS-1) Janis marka kapalı devre He gazı soğutmalı kriyostat sistemi (kriyostat, kompresörü ve turbo moleküler vakum pompası), sıcaklık kontrol ünitesi, Agilent marka HP 4263B model bir LCR metre (100 mV / 100 Hz), bilgisayar, ölçüm datasını bilgisayara aktarma işlemi için kullanılan arayüz ve karşılıklı indüktans ölçümü için yazılan bilgisayar programından ibarettir.

İndüktans ölçümü için, alınganlık metre kriyostatın direnç ölçümü için kullanılan numune tutucusunun yerine monte edildi. Direnç ölçümünde kullanılan tablet halindeki numuneler kesme makinesinde  $2 \times 2 \times 8 \text{ mm}$  boyutlarında kesildi. Kesilen numunelerin her biri ayrı ayrı kriyostata monte edilen alınganlık metredeki numune bobininin ortasına gelecek şekilde sabitlendi. Kriyostatın kapağı kapatıldıktan sonra iç basınç  $10^{-5}$  tor'a düşene kadar vakum pompası çalıştırıldı. Daha sonra kriyostat 20 K sıcaklığa erişilinceye kadar soğutuldu. Bu sıcaklıkta 20 dakika beklendi. Sonra kriyostat oda sıcaklığına ısıtıldı. Kriyostatın ısıtılması sırasında LCR metre vasıtasıyla 1 K aralıklarla karşılıklı indüktanslar ölçüldü. Ölçülen indüktans değerleri ve karşı gelen sıcaklık değerleri sürekli olarak bilgisayara aktarıldı ve bilgisayar ekranından grafik olarak izlendi. Numune süperiletken duruma geçerken, numune içindeki manyetik akı

Meissner olayından dolayı dışarı atıldı ve ölçülen karşılıklı indüktansın süperiletken numunenin diyamanyetik alınganlığından dolayı değıştiği görüldü.



Şekil 3.10. Janis marka ACMAS-1 model manyetik alınganlıkmetre.



Şekil. 3.11. Alınganlık metrede primer ve sekonder bobinlerin sıralanması.

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

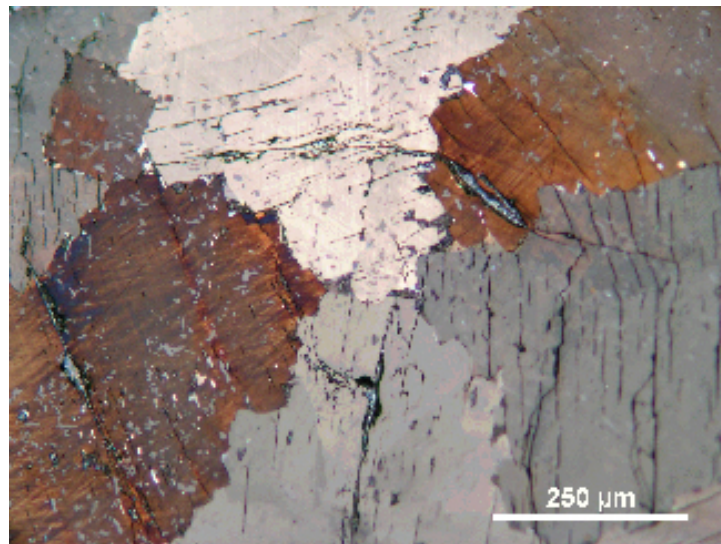
### 4.1 Mikroyapısal Analiz Sonuçları

Oksit süperiletkenler, sıvı azot sıcaklığının üzerinde süperiletken hale geldiklerinden dolayı, pratik uygulamalar bakımından çok büyük ilgi çekmektedir. Çoğu uygulamalar için büyük manyetik alanlar altında  $10^6$  A/cm<sup>2</sup> mertebesinde yüksek kritik akım yoğunluğuna ihtiyaç duyulur. Kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) süperiletkenin kendine özgü bir özelliği değildir ve mikroyapıya kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Bu sebepten, mikroyapının kontrol edilebilmesi pratik uygulamalar için çok önemlidir. Şekil 4.1 – Şekil 4.5 de sırasıyla,  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ),  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ),  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ),  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) ve  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin polarize ışık mikroskobu fotoğrafları verilmiştir. Bu şekillerde, her numune için farklı büyütme oranlarında üçer adet fotoğraf bulunmaktadır ve bu fotoğraflar küçük büyütme oranından büyük büyütme oranına doğru sırasıyla a, b, c şıklarıyla gösterilmiştir. Şekillerin a şıklarındaki fotoğraflar numunelerin tane büyüklüklerini karşılaştırmak, b şikkındaki fotoğraflar taneler arasındaki bağlantıları karşılaştırmak ve c şikkındaki fotoğraflar ise tane sınırlarını karşılaştırmak amacıyla verilmiştir. Fotoğraflarda taneler çeşitli renklerde görülmektedir. Tanelerin farklı renklerde olması, onların kristal büyütme ısıl işlemi sırasında farklı yönlerde yönlendiğini gösterir. Aynı renkteki taneler aynı yönde yönelmişlerdir. Numunelerin hepsinde tipik mikroyapı,  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  veya (Y,Ho)<sub>123</sub> şeklinde gösterilen süperiletken taneler ve bu taneler içerisine hapsedilmiş (Y,Ho)<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> veya (Y,Ho)<sub>211</sub> şeklinde gösterilen süperiletken olmayan normal faz parçacıklarından ibarettir.

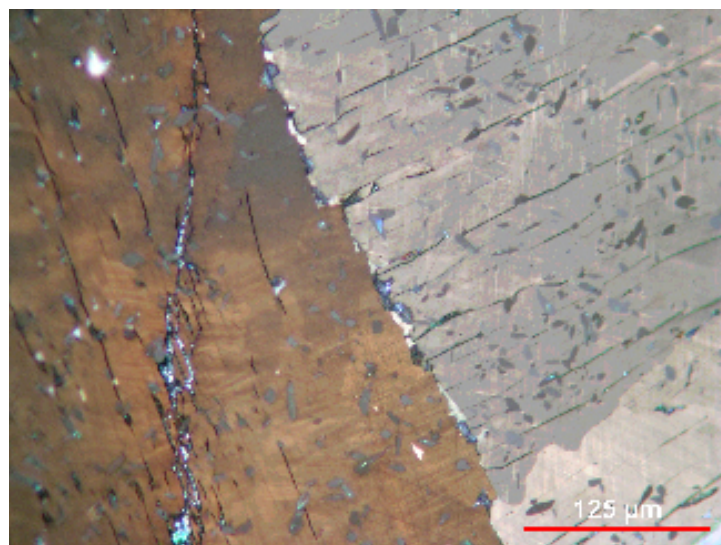




(a)



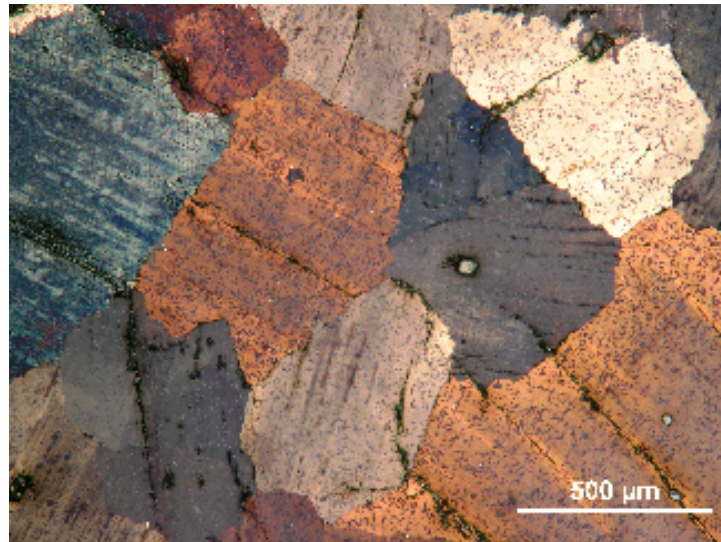
(b)



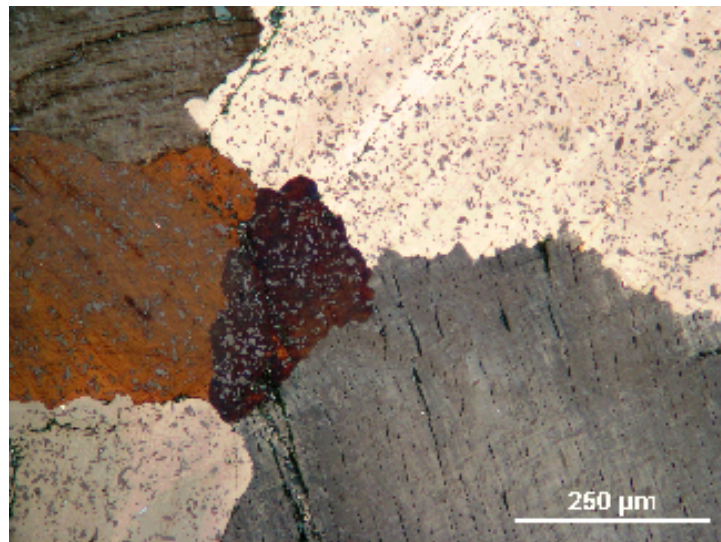
(c)

$x = 0$

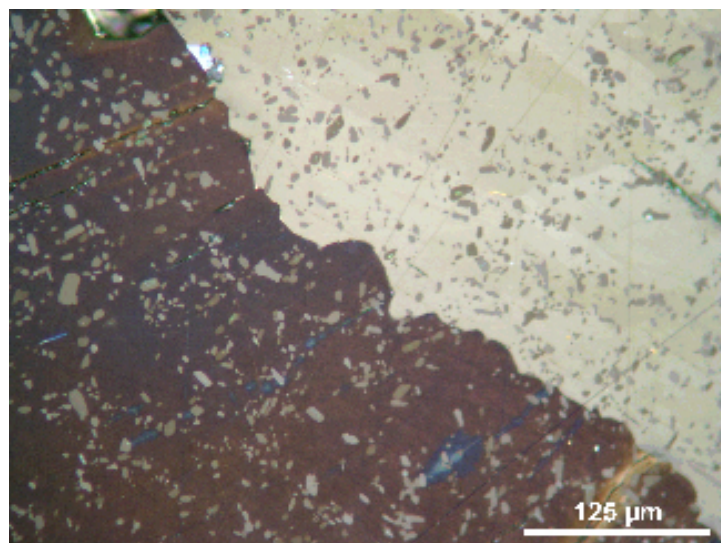




(a)

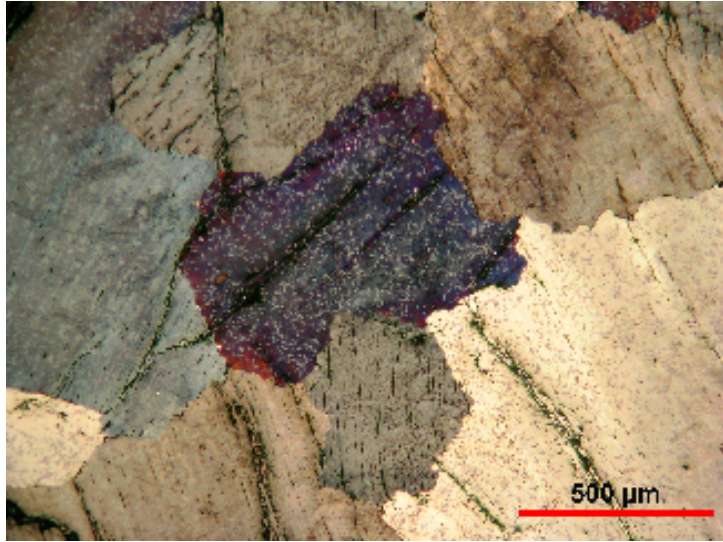


(b)

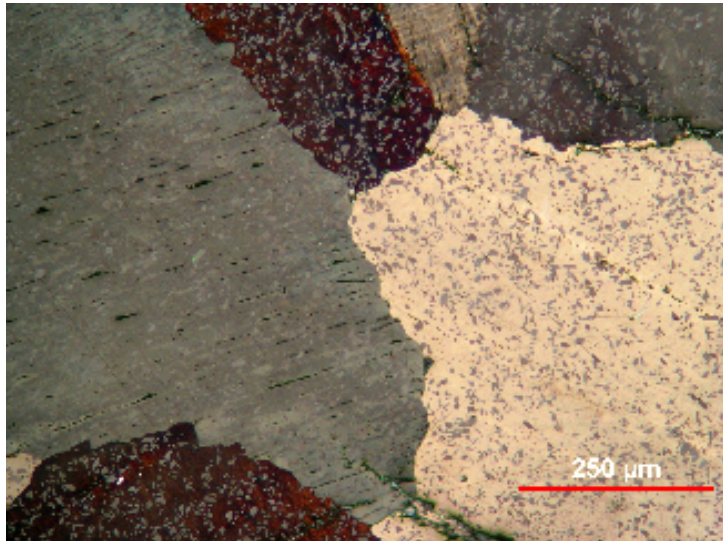


(c)

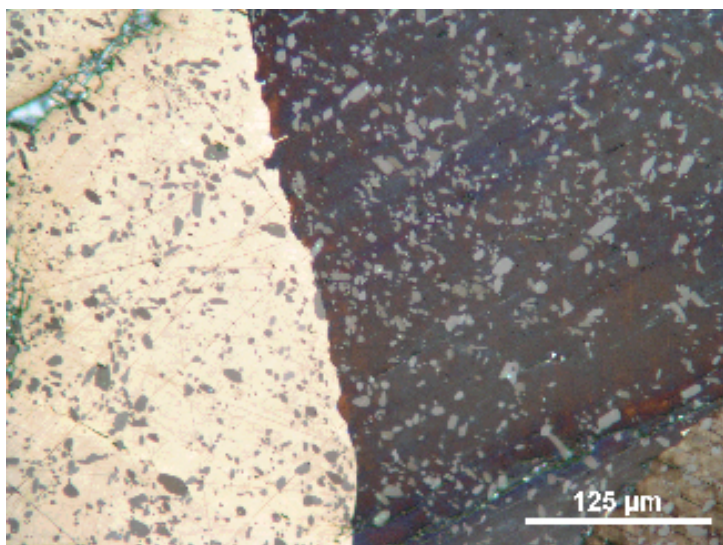
 $x = 0.2$



(a)



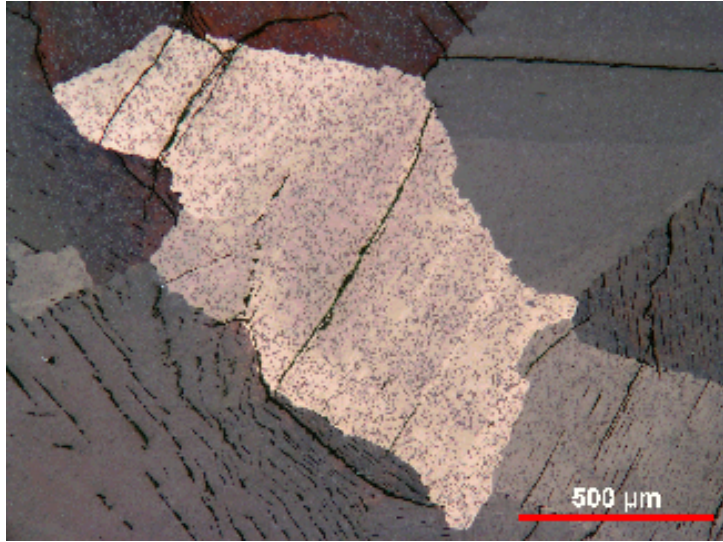
(b)



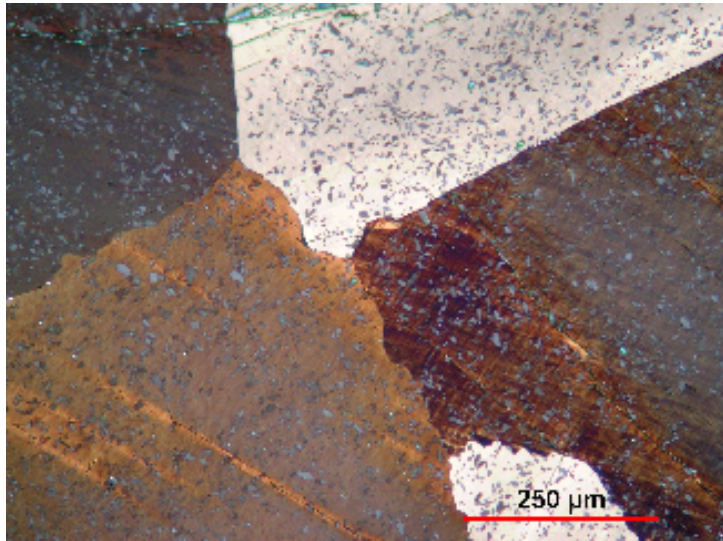
(c)

$x = 0.4$

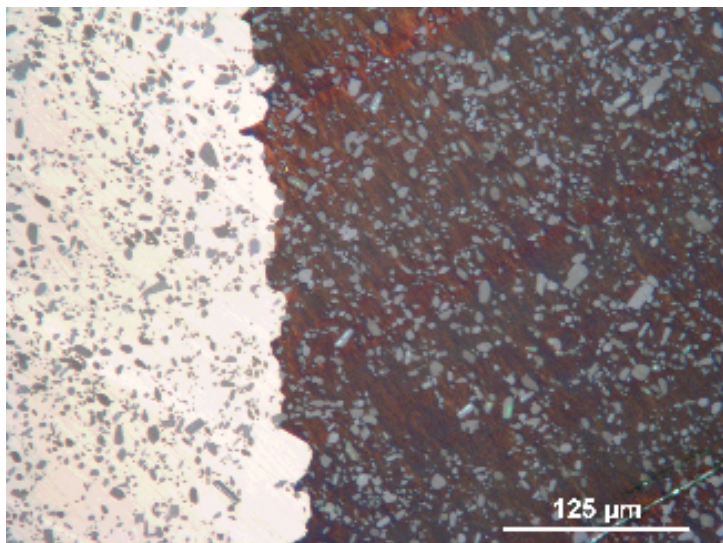




(a)

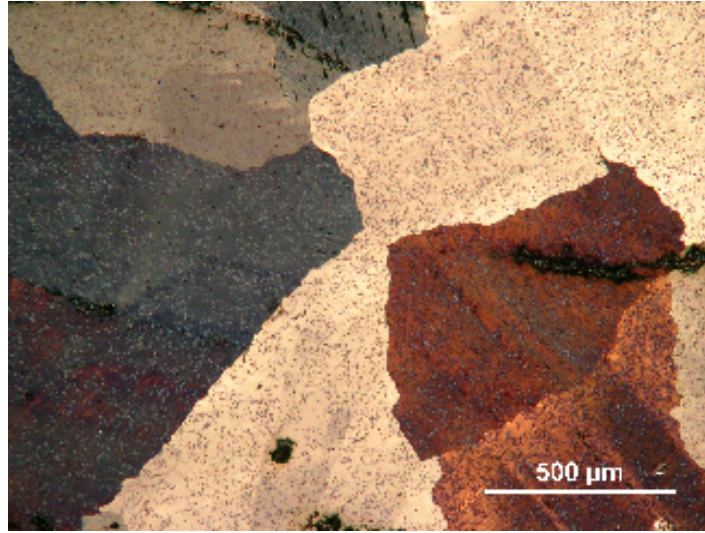


(b)

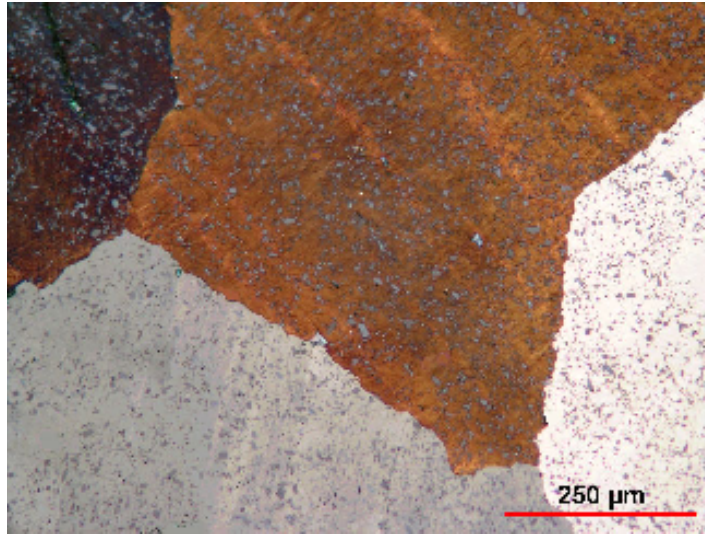


(c)

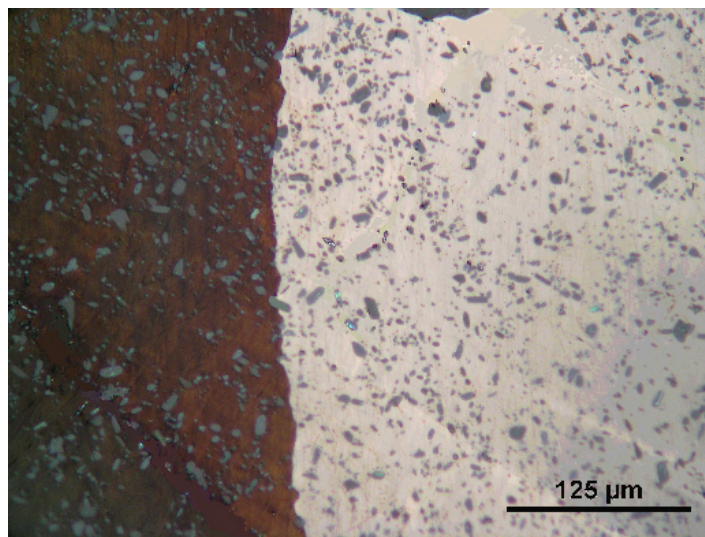
$x = 0.6$



(a)



(b)



(c)

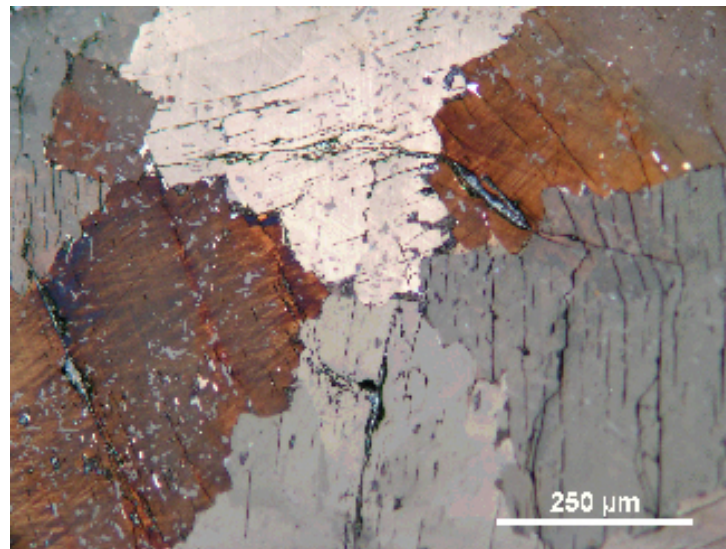
 $x=0.8$ 

**Şekil 4.1:**  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) numunelerinin üç farklı büyütmede polarize ışık mikroskop fotoğrafları.

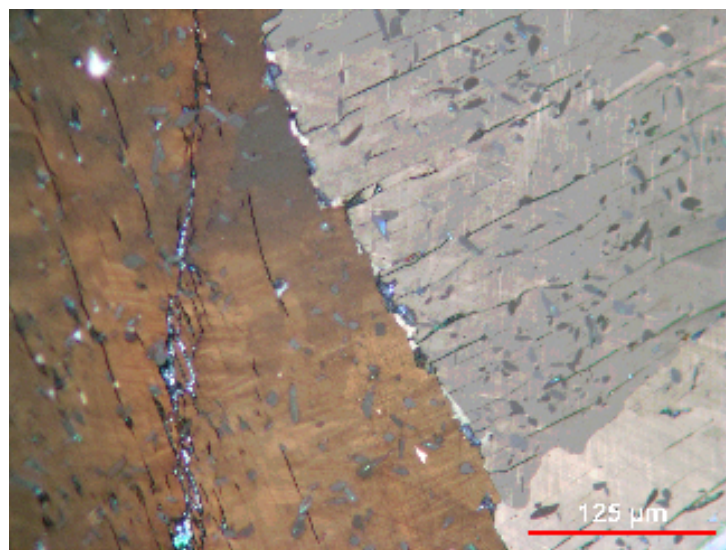




(a)

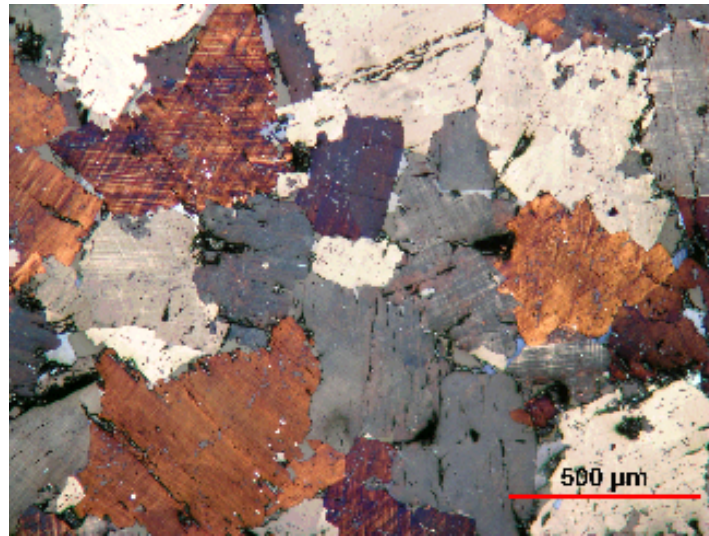


(b)

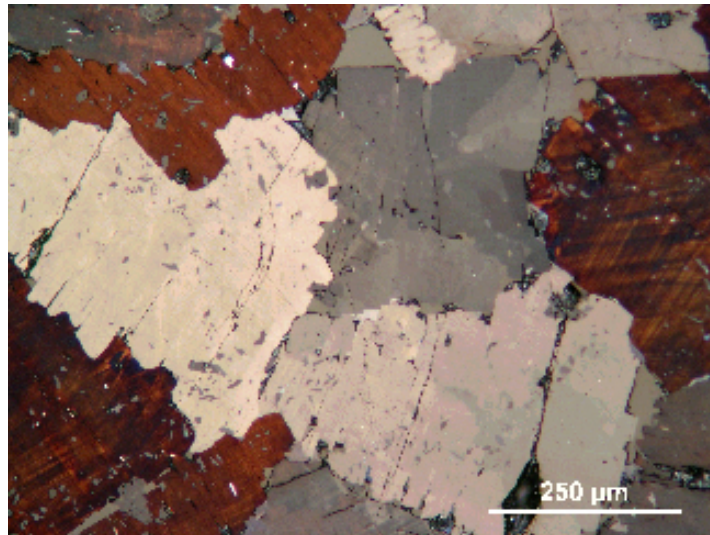


(c)

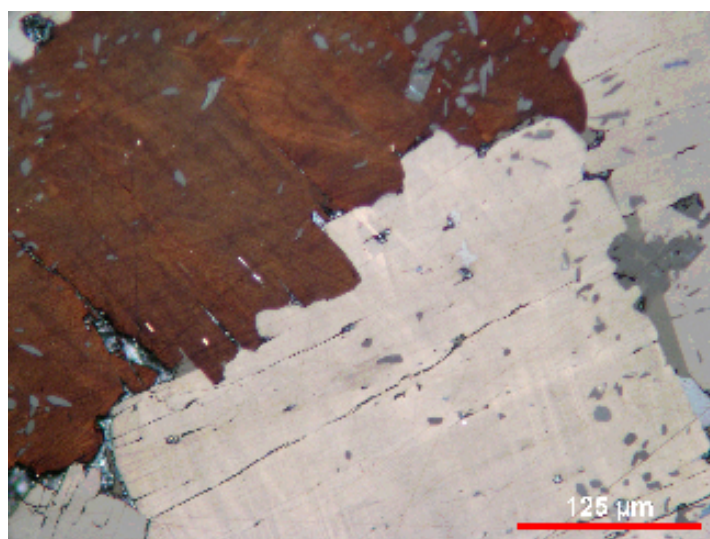
$y = 0$



(a)



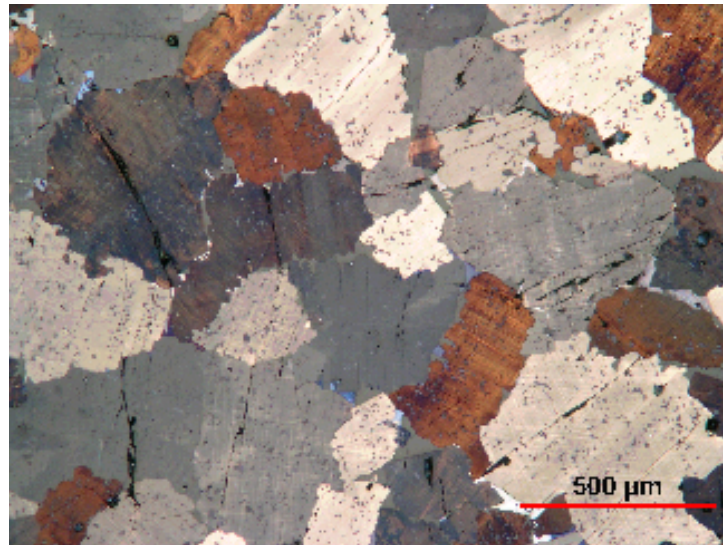
(b)



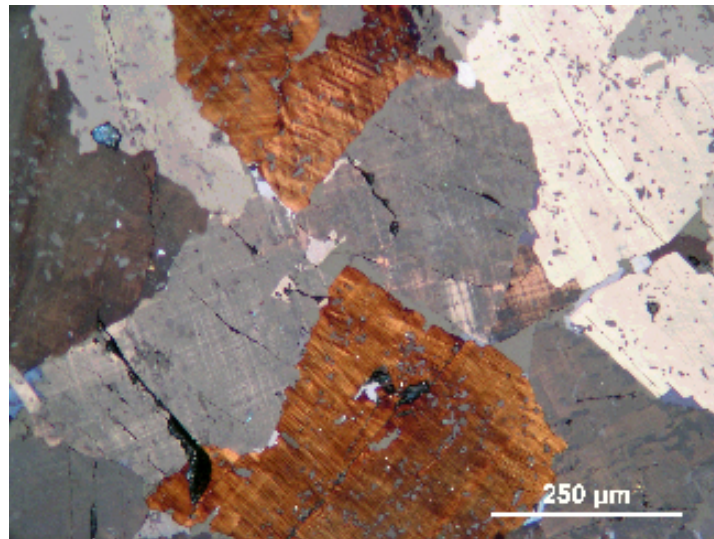
(c)

$y = 0.03$

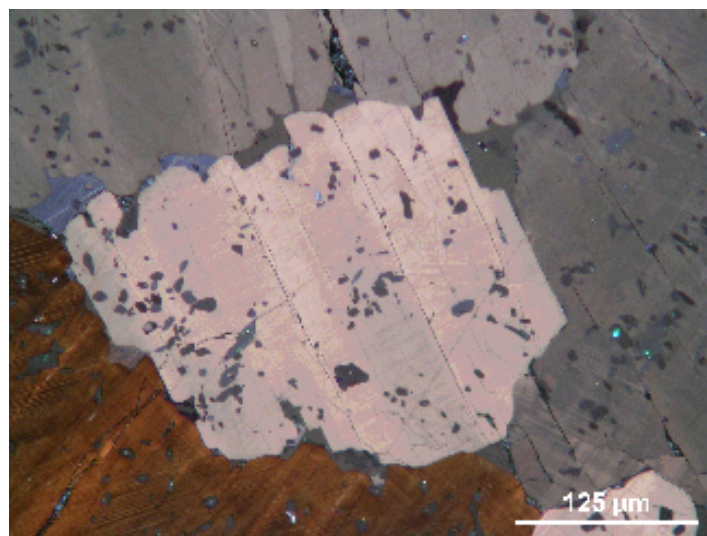




(a)

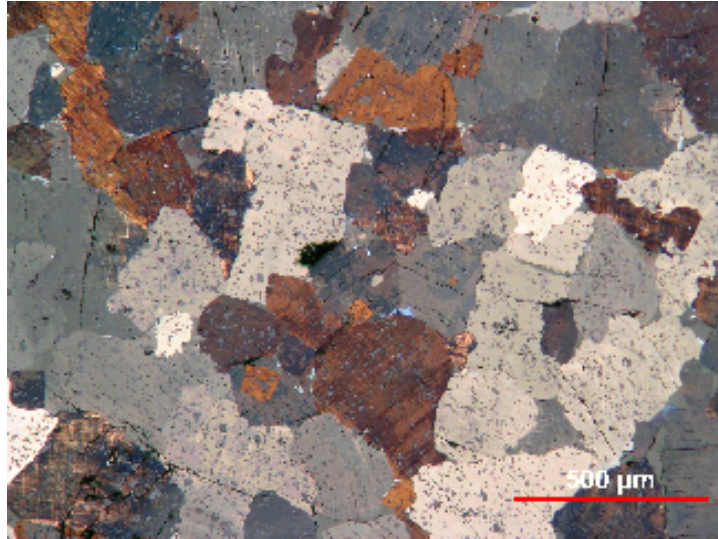


(b)

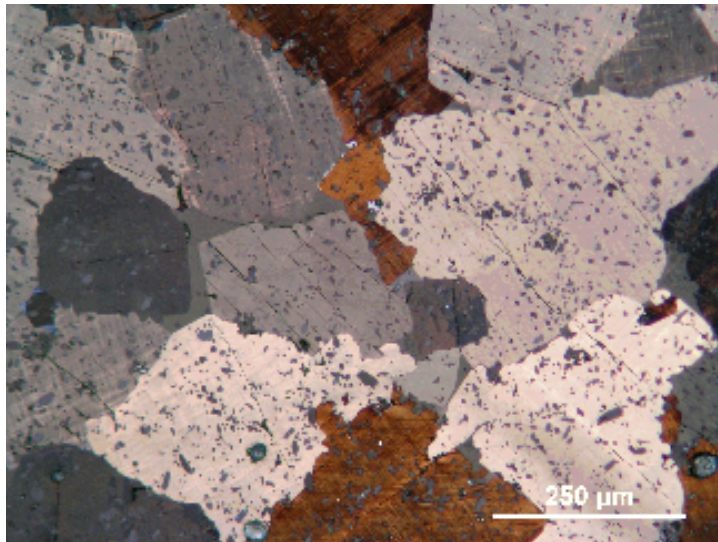


(c)

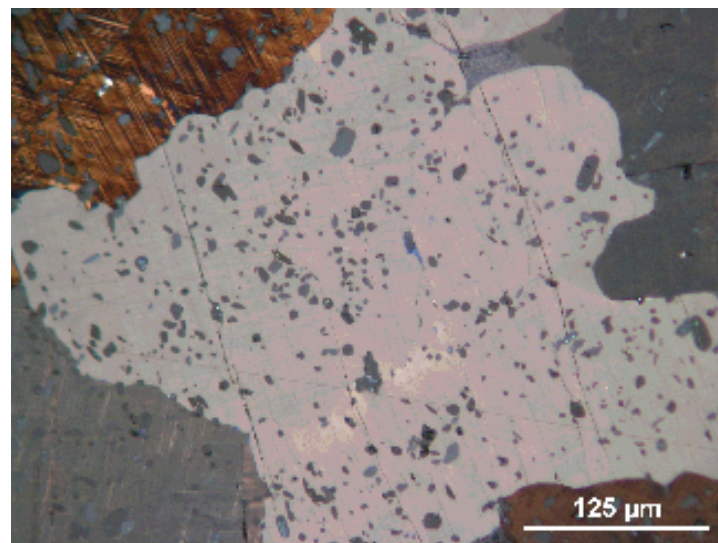
$y = 0.06$



(a)



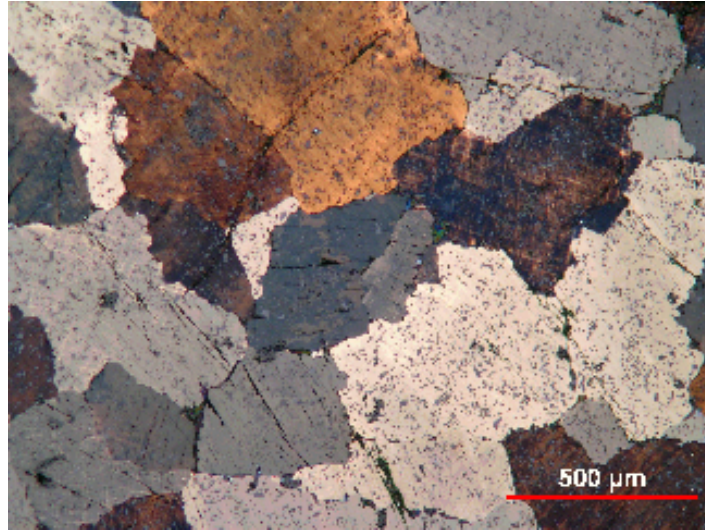
(b)



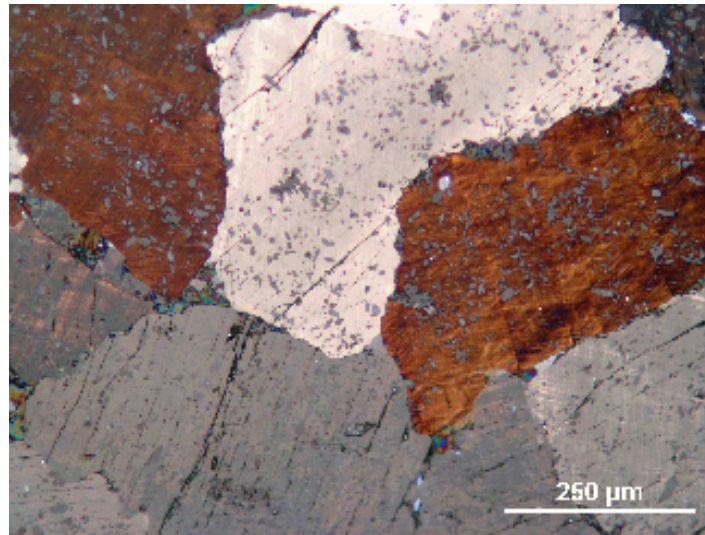
(c)

$y = 0.09$

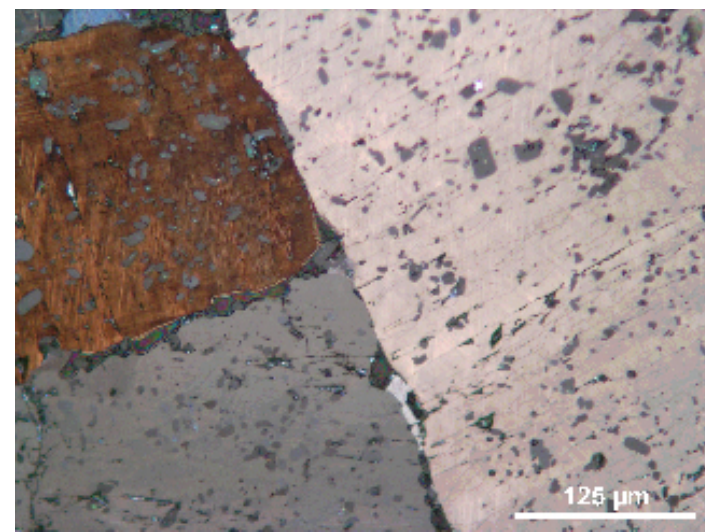




(a)



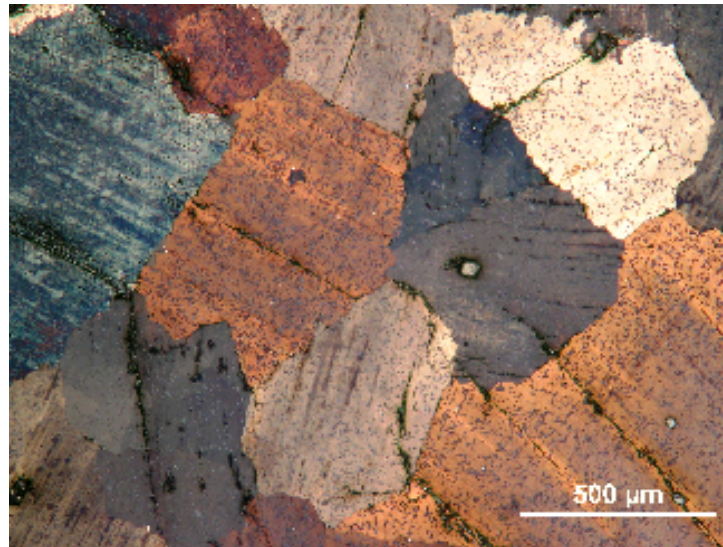
(b)



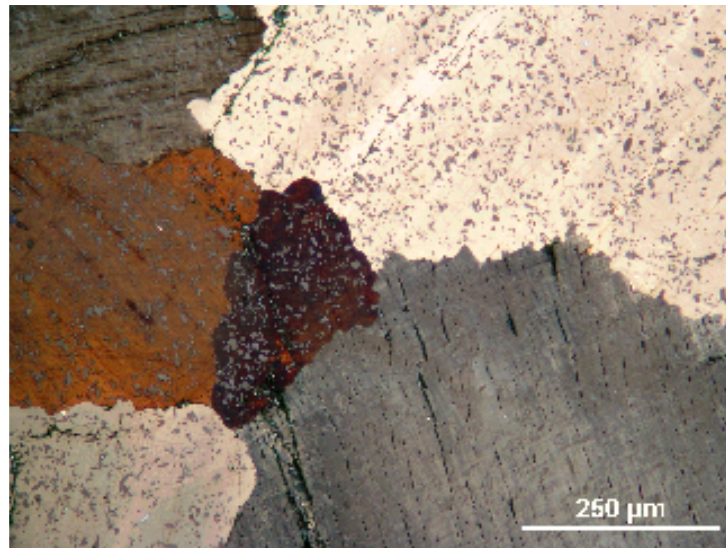
(c)

**y = 0.12**

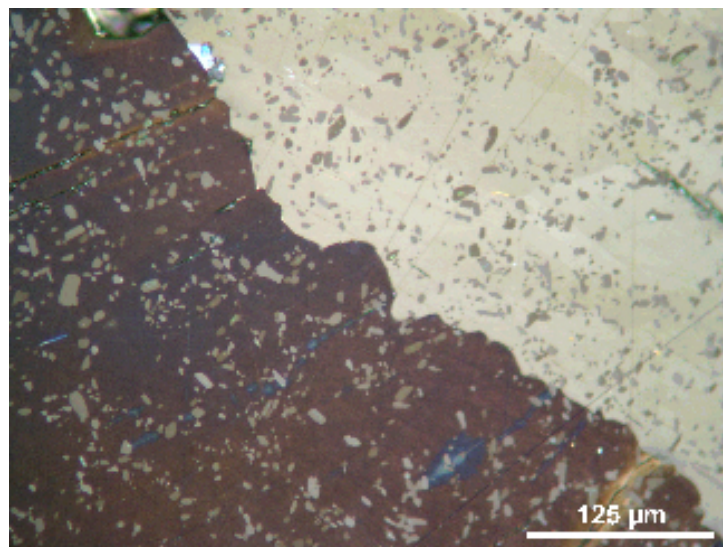
**Şekil 4.2:**  $\text{YBa}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin üç farklı büyütmeye polarize ışık mikroskop fotoğrafları.



(a)



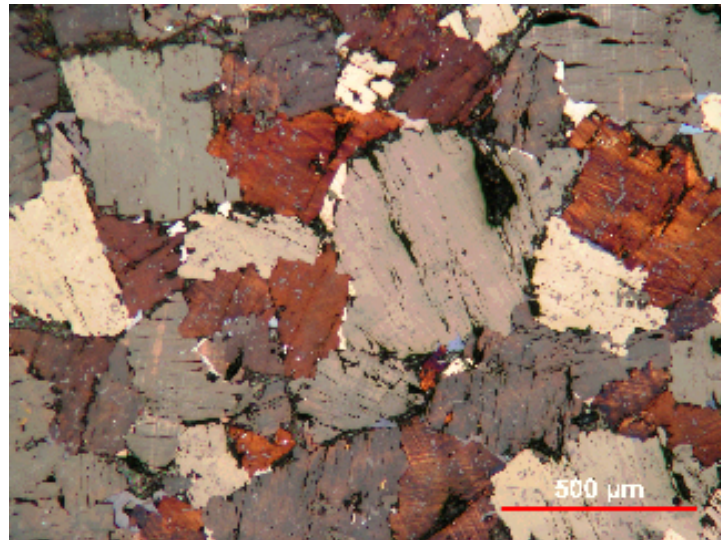
(b)



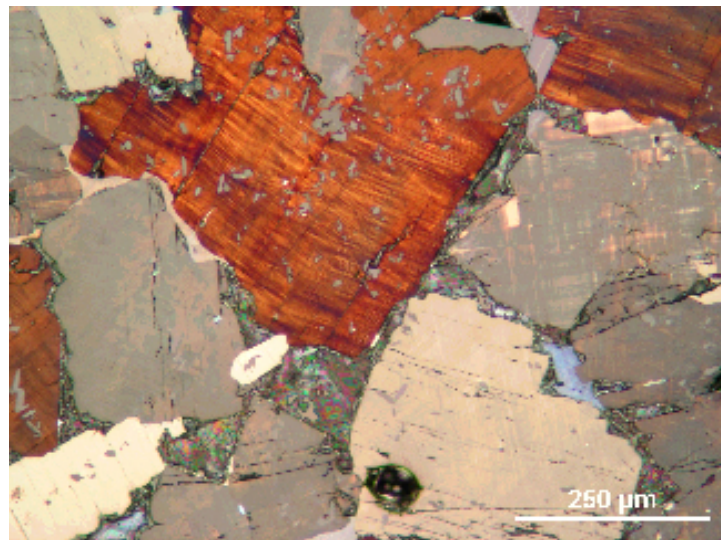
(c)

$x = 0.2, y = 0.0$

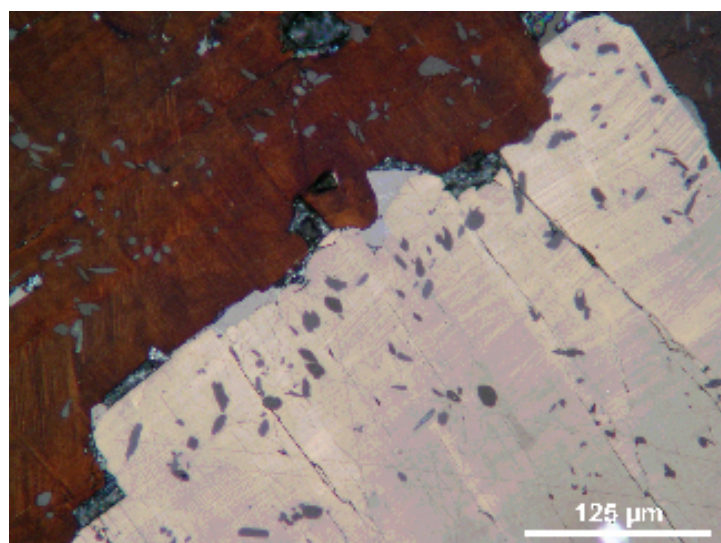




(a)

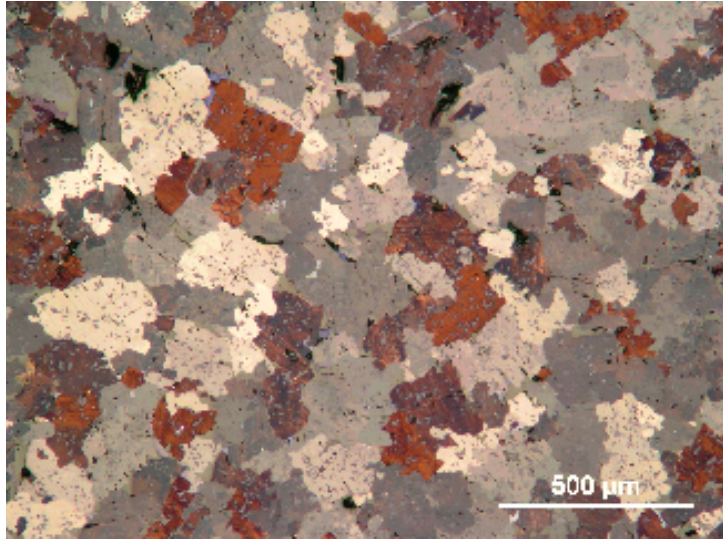


(b)

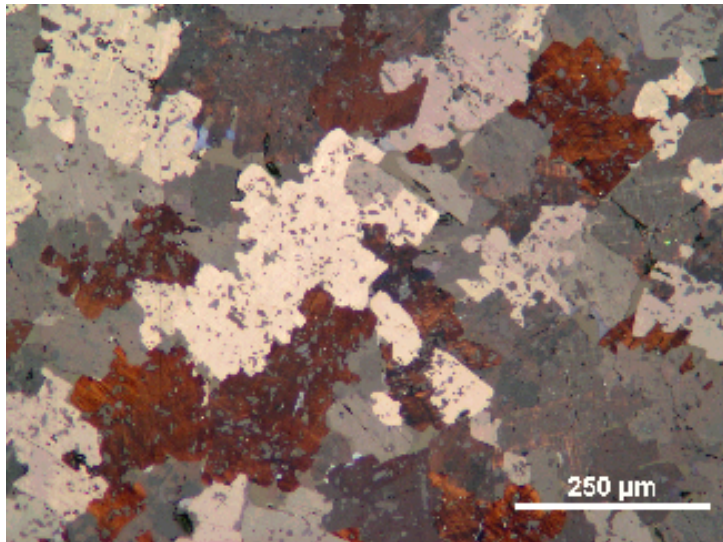


(c)

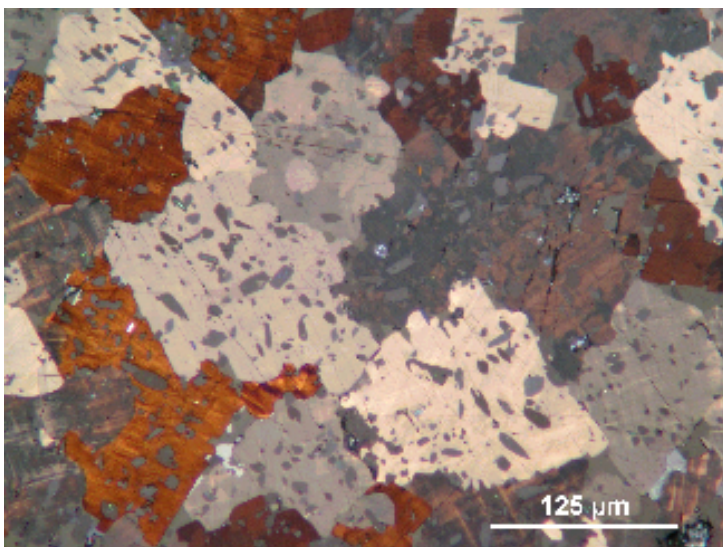
$x = 0.2, y = 0.03$



(a)



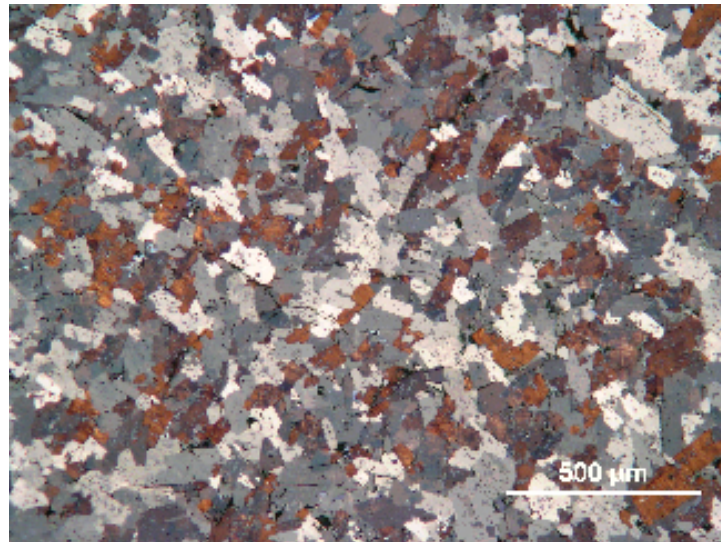
(b)



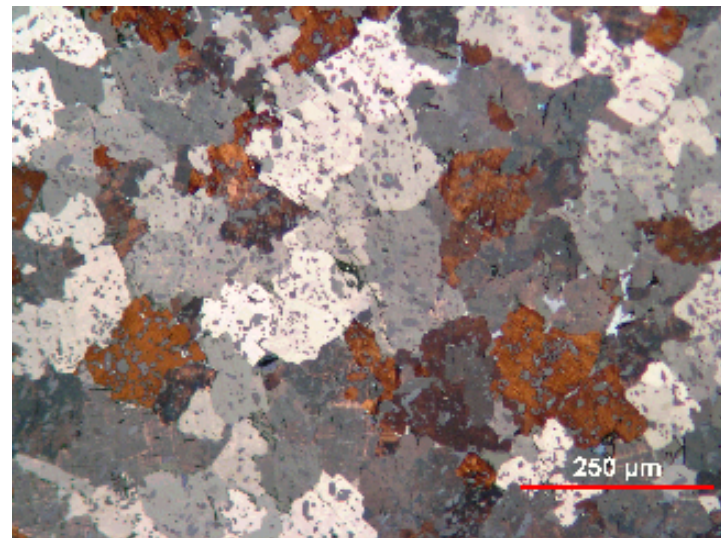
(c)

$x = 0.2, y = 0.06$

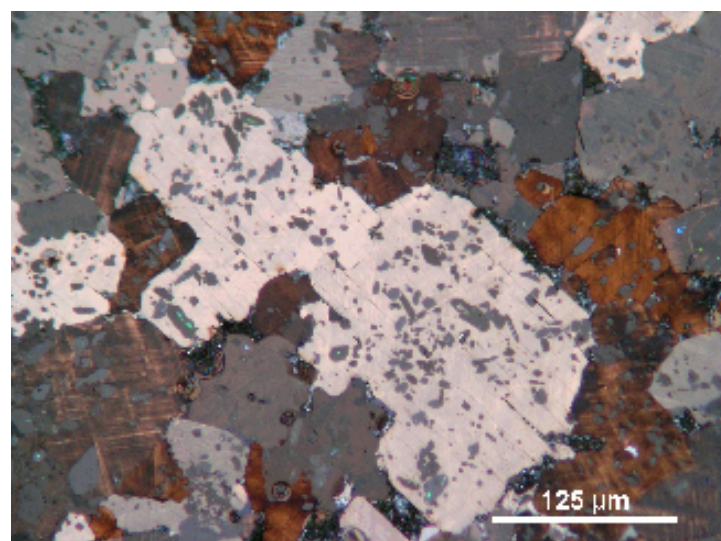




(a)

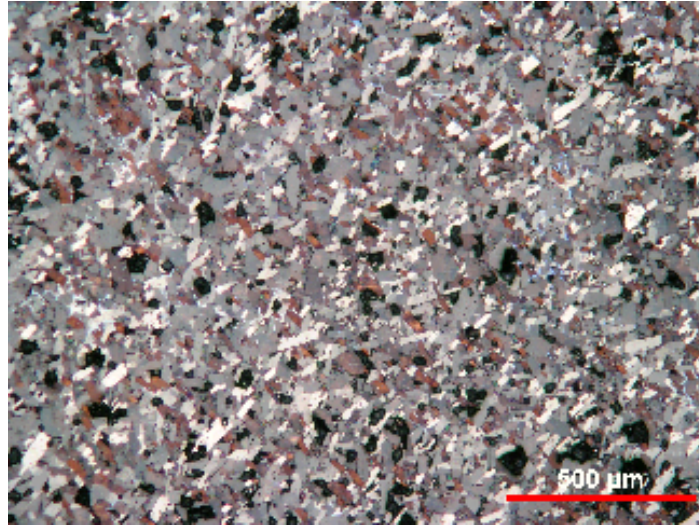


(b)

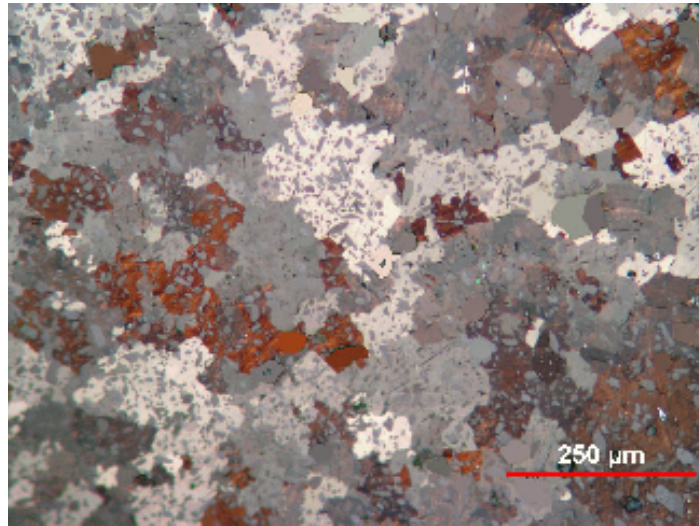


(c)

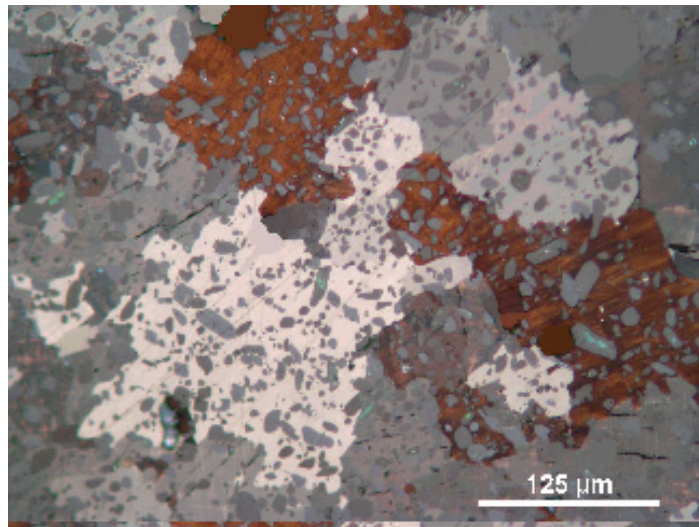
$x = 0.2, y = 0.09$



(a)



(b)

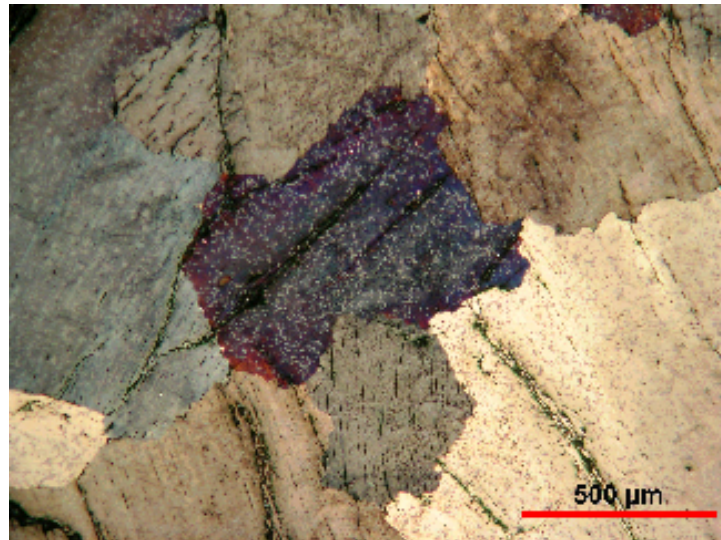


(c)

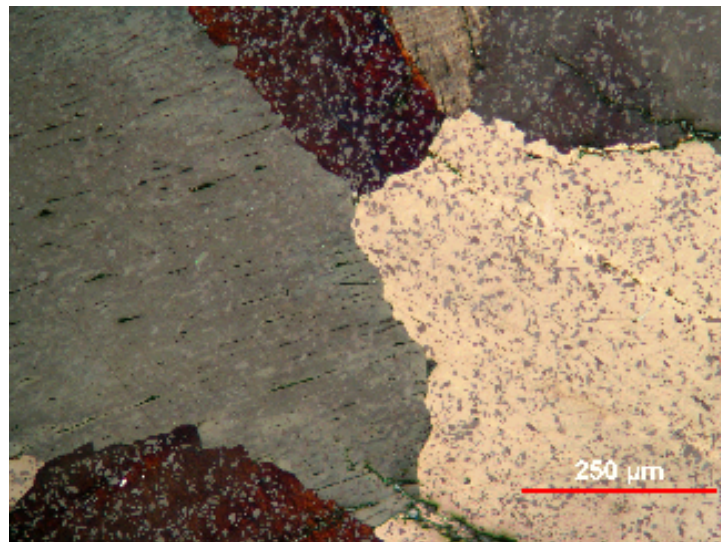
$x = 0.2, y = 0.12$

**Şekil 4.3:**  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7.8}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin üç farklı büyütmeye polarize ışık mikroskop fotoğrafları.

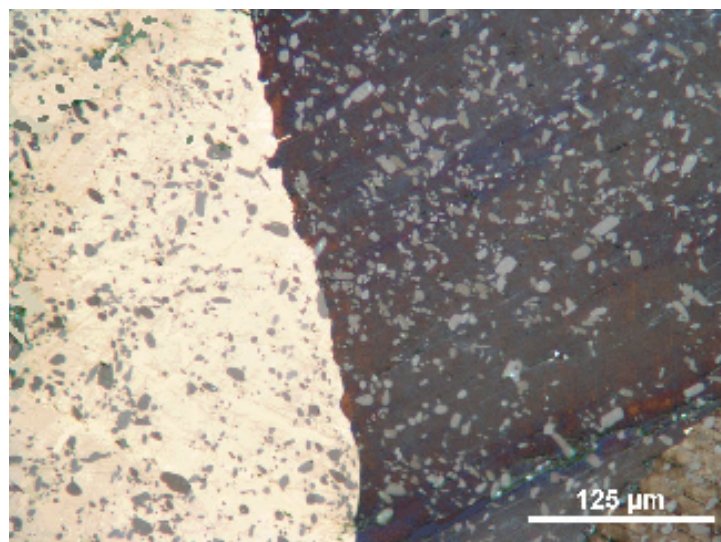




(a)

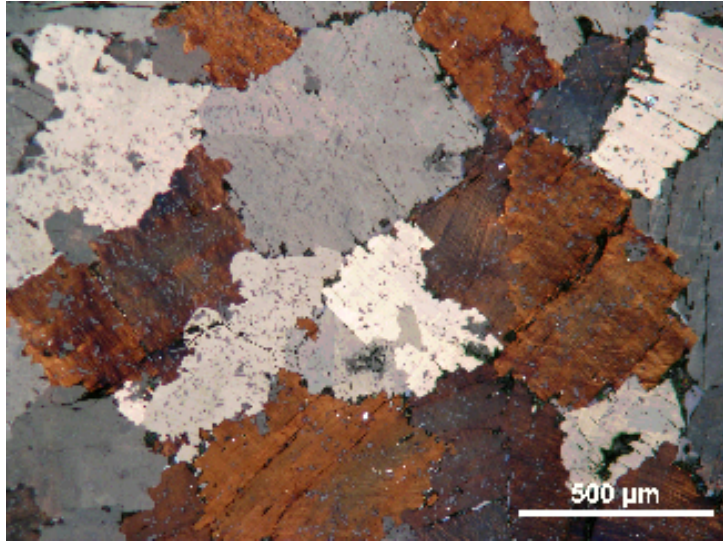


(b)

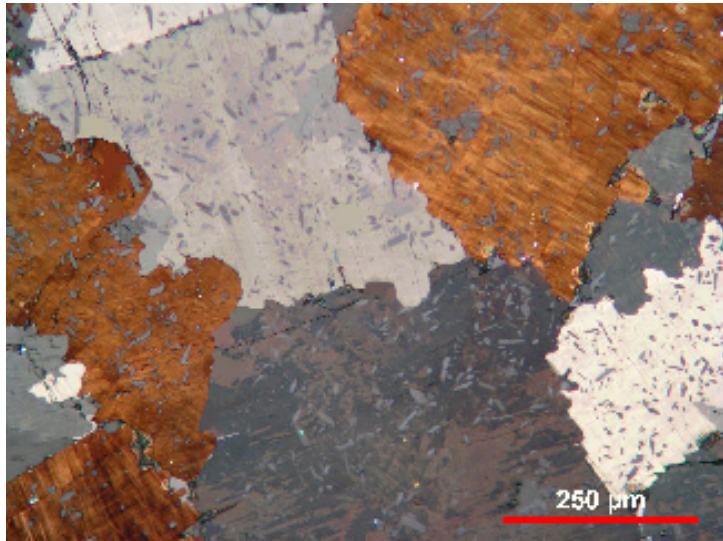


(c)

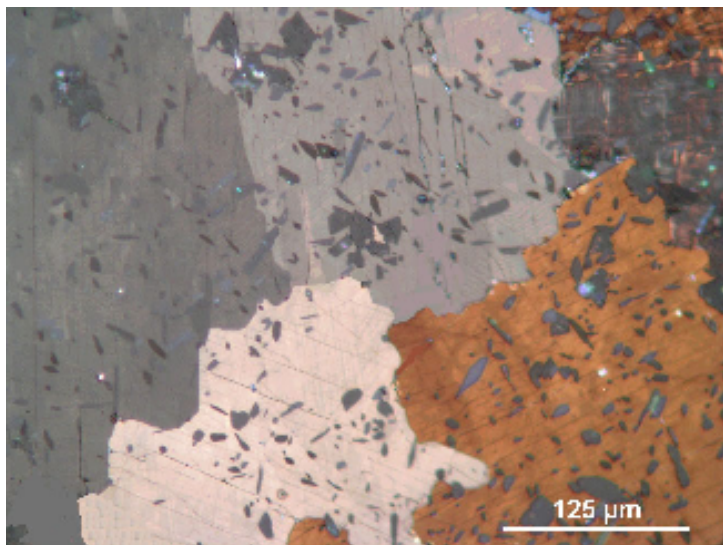
$x = 0.4, y = 0.0$



(a)



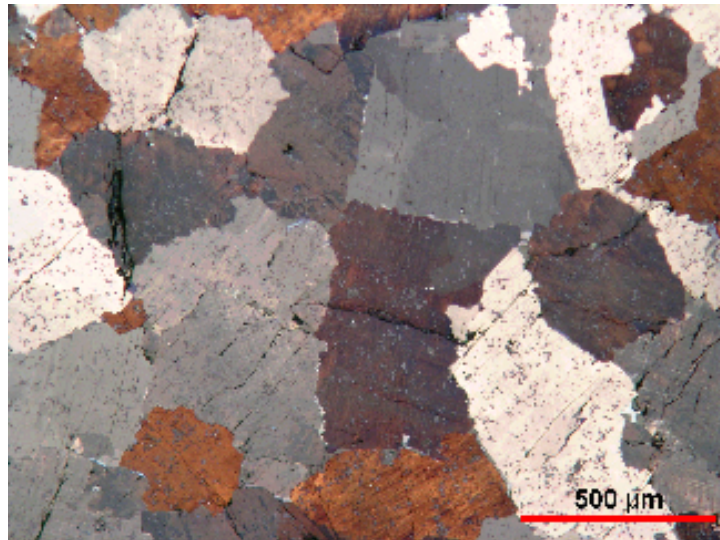
(b)



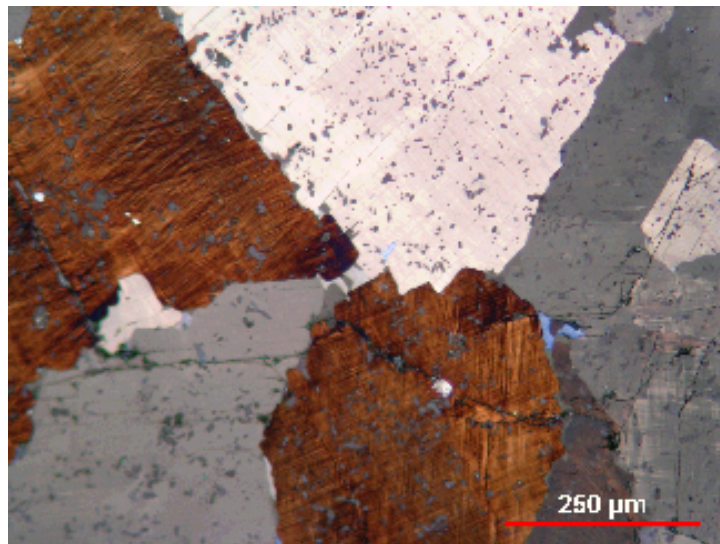
(c)

$x = 0.4, y = 0.03$

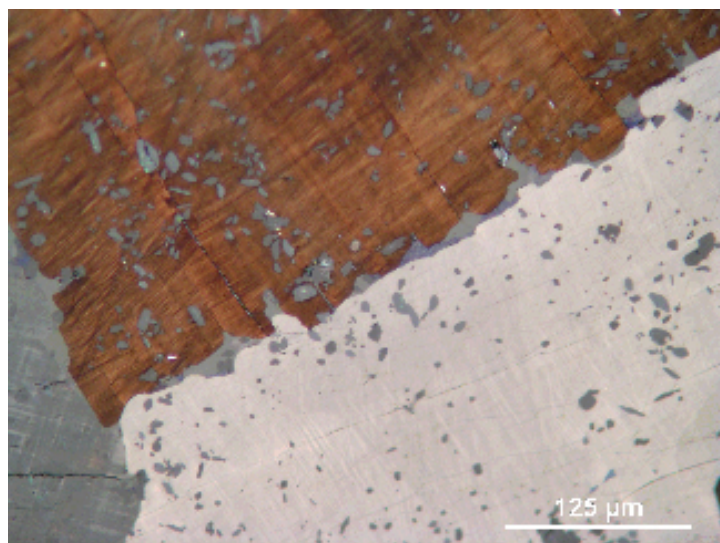




(a)

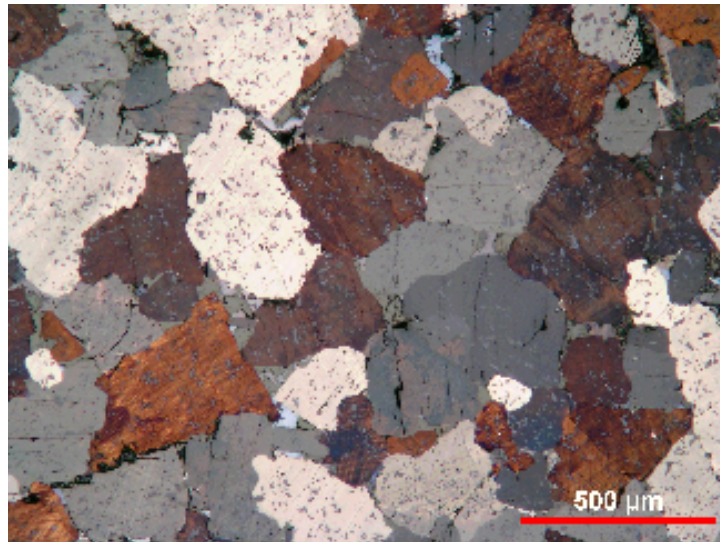


(b)

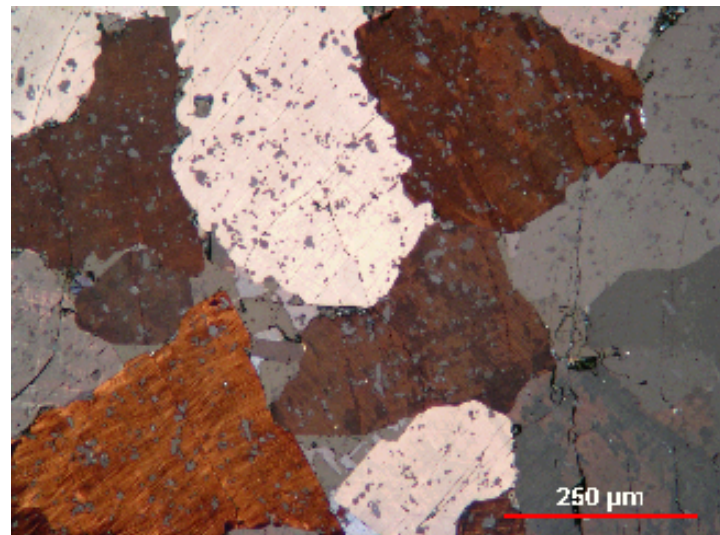


(c)

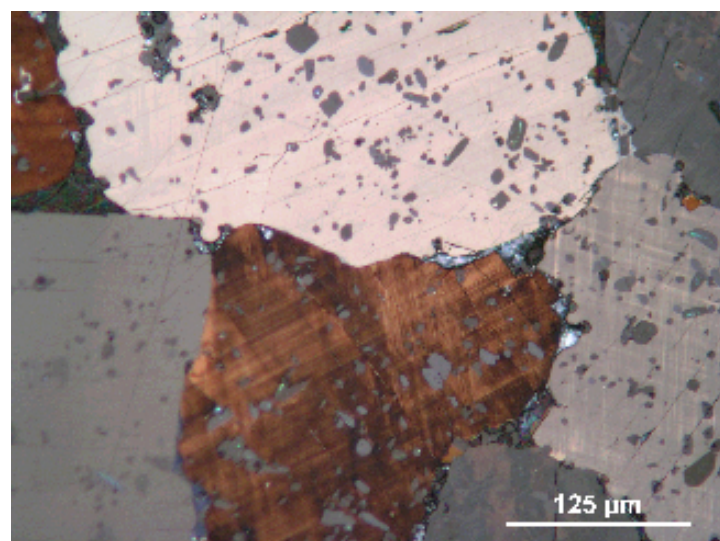
$x = 0.4, y = 0.06$



(a)



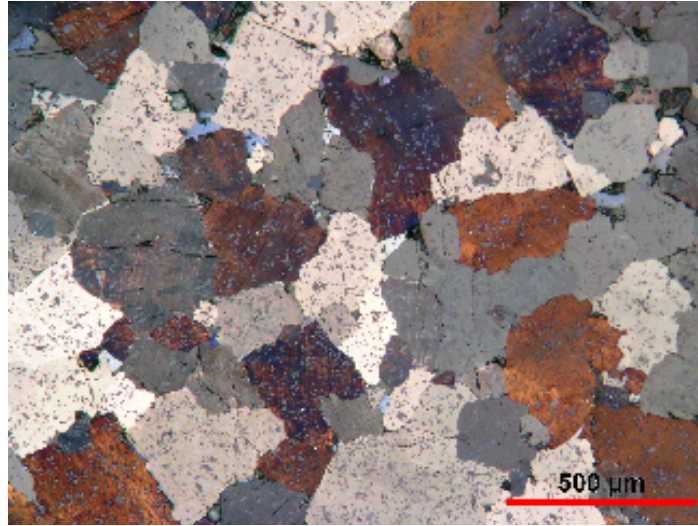
(b)



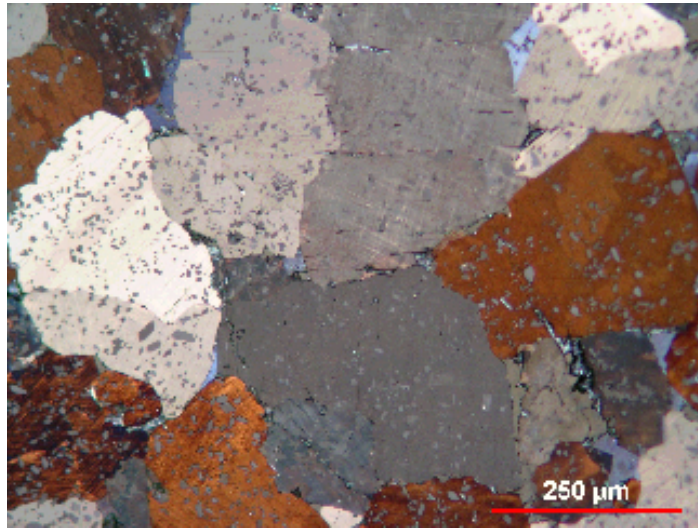
(c)

$x = 0.4, y = 0.09$

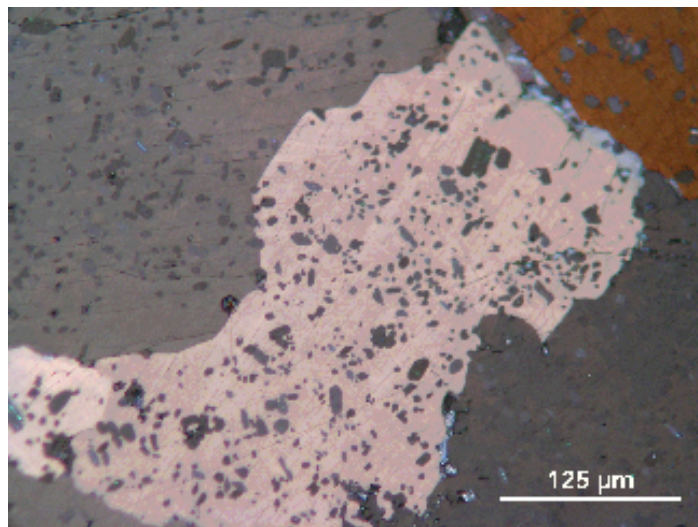




(a)



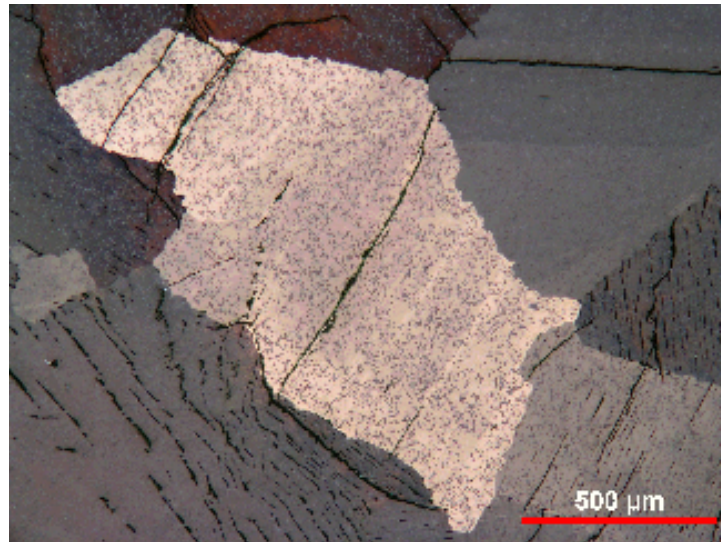
(b)



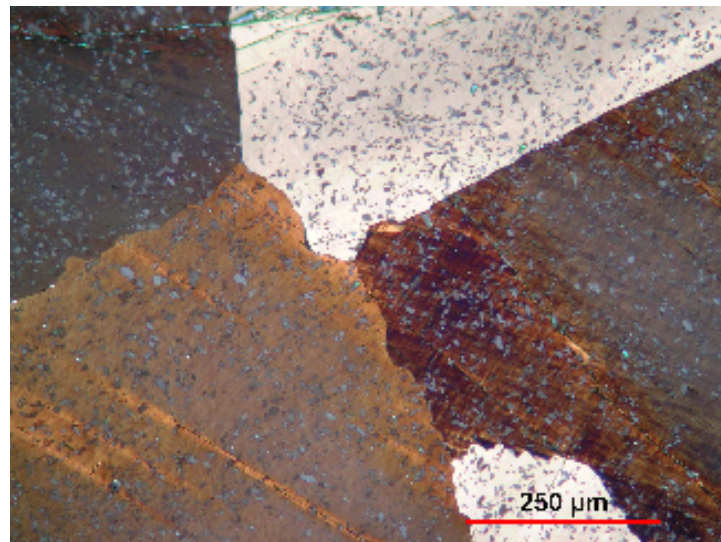
(c)

$x = 0.4, y = 0.12$

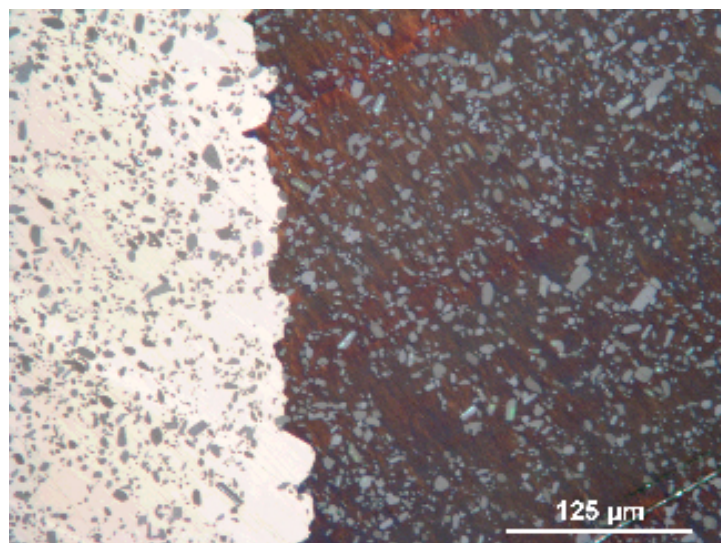
**Şekil 4.4:**  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin üç farklı büyütmede polarize ışık mikroskop fotoğrafları.



(a)



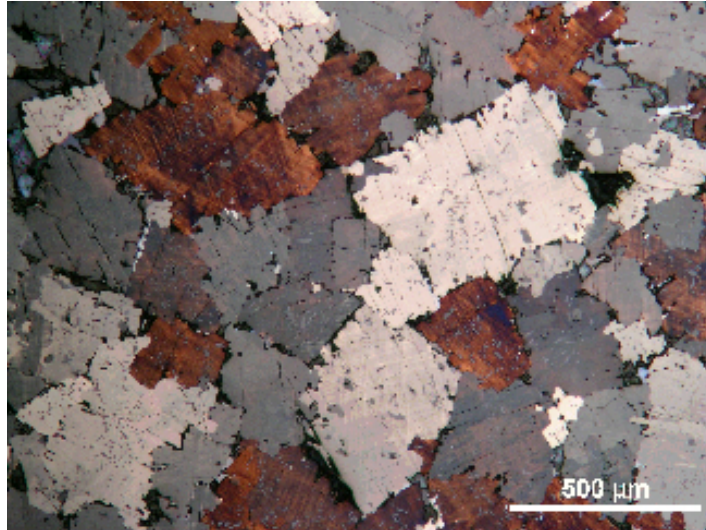
(b)



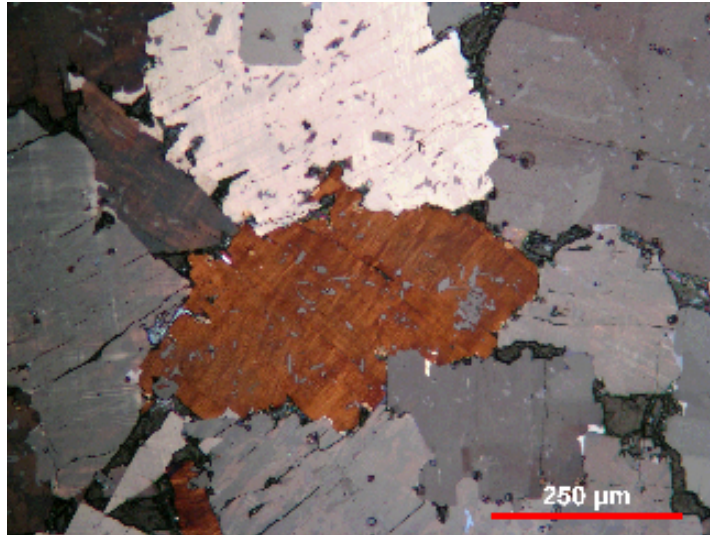
(c)

$x = 0.6, y = 0.0$

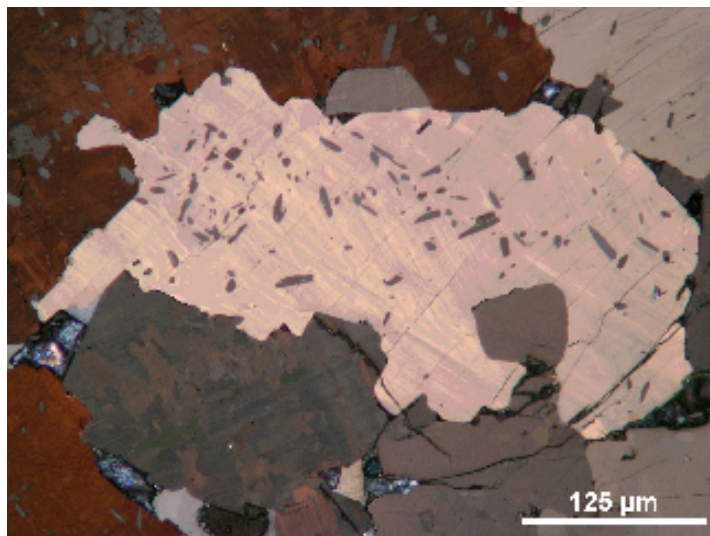




(a)

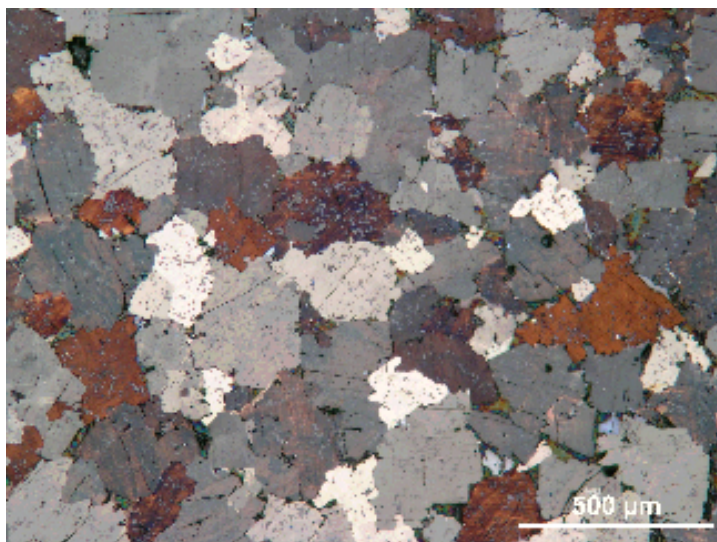


(b)

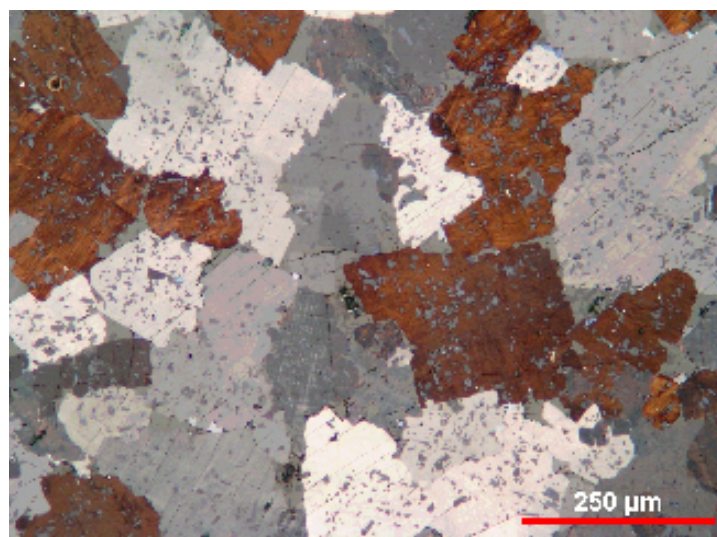


(c)

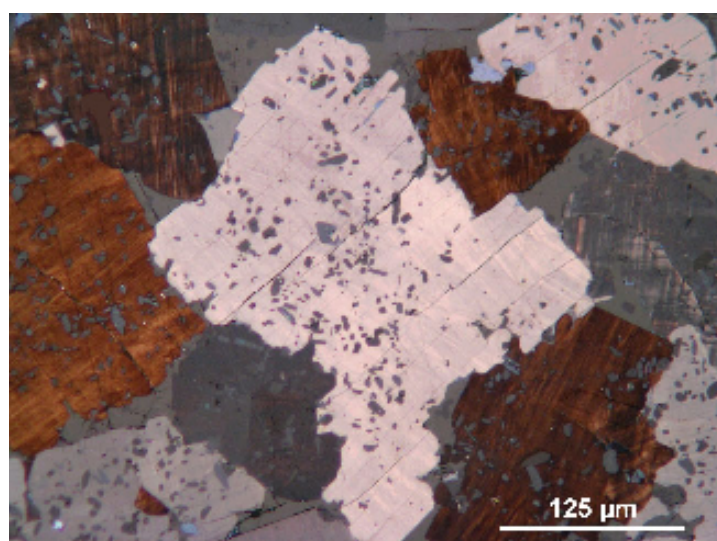
$x = 0.6, y = 0.03$



(a)



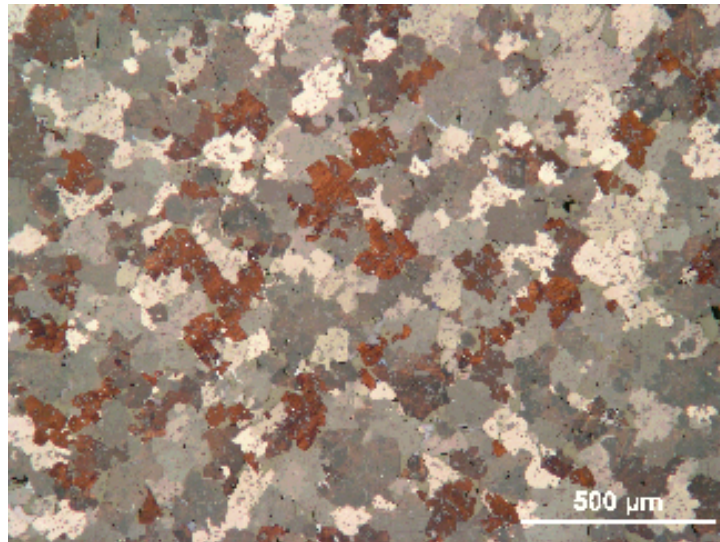
(b)



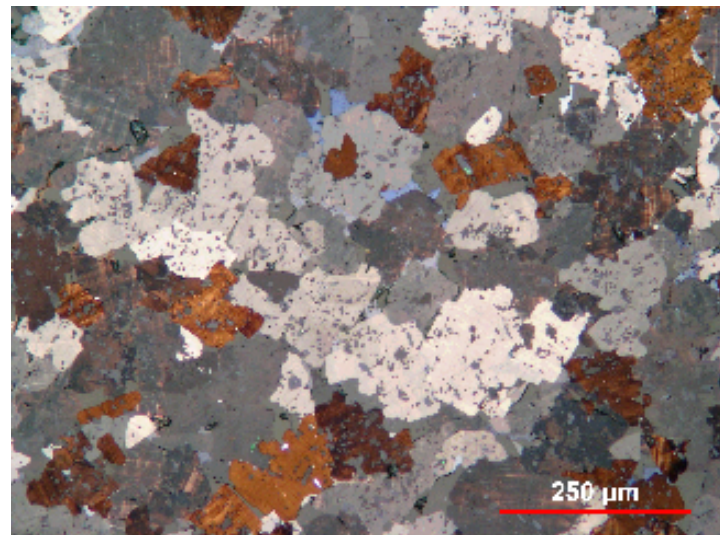
(c)

$x = 0.6, y = 0.06$

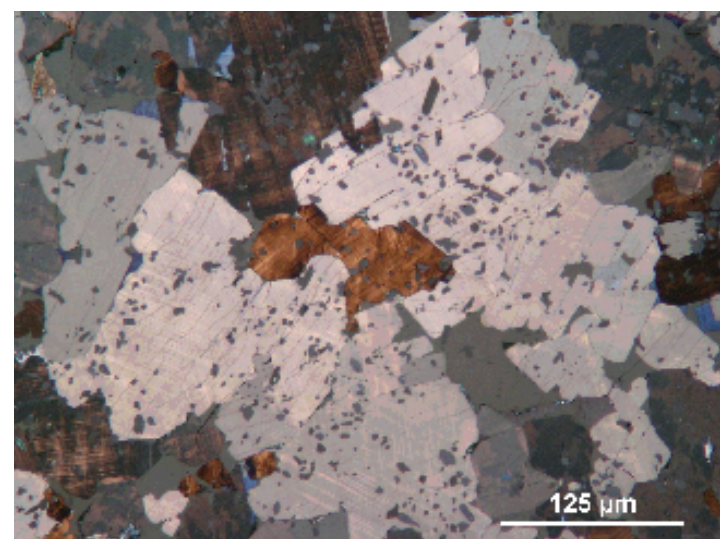




(a)

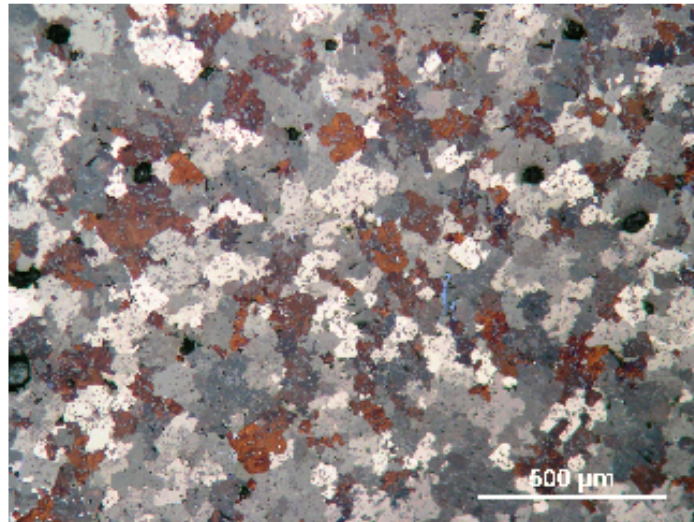


(b)

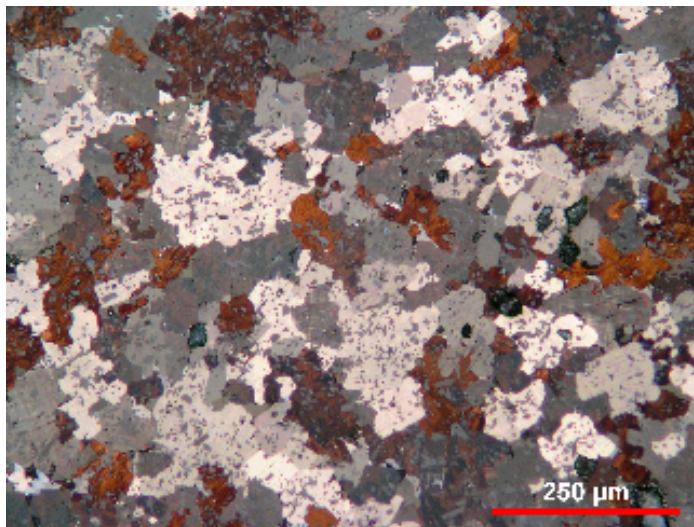


(c)

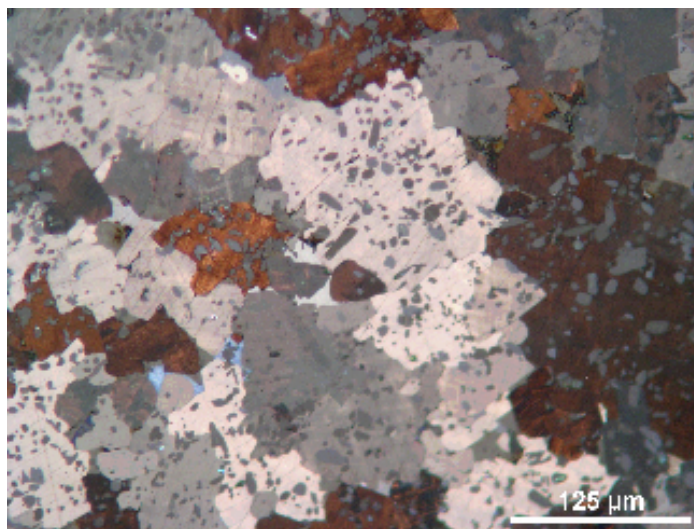
$x = 0.6, y = 0.09$



(a)



(b)



(c)

$x = 0.6, y = 0.12$

**Şekil 4.5:**  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin üç farklı büyütmede polarize ışık mikroskop fotoğrafları.



Şekil 4.1,  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  süperiletkeninde Y elementi yerine  $x = 0.2, 0.4, 0.6$  ve  $0.8$  oranlarında Ho elementi konulmasının mikroyapı üzerine etkisini göstermektedir. Y yerine Ho katkısı, Ho oranındaki artışa bağlı olarak tane büyüklüğünü artırmış, taneler arasındaki bağlantıyı ve tane sınırlarının kalitesini önemli derecede iyileştirmiştir. Ayrıca, 211 parçacıklarının büyüklüğünü ve dağılımını da oldukça değiştirmiştir. Bu sonuçlar Feng ve arkadaşlarının (1992) sonuçlarıyla iyi uyuşmaktadır. Feng ve arkadaşları (1996, 2001), Ho katkısının  $J_c$  kritik akım yoğunluğunu ve akı sabitlenmesini önemli derecede iyileştirdiğini ve 211 parçacıklarını küçülttüğünü rapor etmişlerdir. Son zamanlarda,  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  süperiletkeninde Ho ilavelerinin mikroyapı üzerine etkisi, HRTEM (High Resolution Transmission Electron Microscopy) ve EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) teknikleri kullanılarak, Goswami ve arkadaşları (2007) tarafından detaylı bir şekilde çalışılmıştır.

Eritme yöntemiyle üretilen polikristal REBCO için, tane sınırı yapısı süperiletkenin iletim özelliklerini belirlemede başat faktördür. Süperiletken yük taşıyıcıların koherens uzunluğu kısa (nanometre mertebesinde) olduğundan dolayı, taneler arasında Josephson eklemine benzer zayıf süperiletken bağlantıların oluşabileceği uzunlukta olan tane sınırlarındaki atomik düzensizlik, sınırlardan geçen akımı sınırlar (Lo 2000). Tane sınırlarındaki atomik düzensizliğin derecesi ile tanelerin hatalı yönlenme açısı arasında genellikle karşılıklı bir ilişki vardır. Küçük hatalı yönlenme açıları için, tane sınırı akım yoğunluğu (taneler arasındaki akım yoğunluğu  $J_{cGB}$ ) ile taneler içindeki akım yoğunluğu ( $J_{cGR}$ ) karşılaştırılabilir mertebededir. Hatalı yönlenme açısı  $5^\circ$  yi geçtiği zaman, tane sınırı akım yoğunluğu hızlı bir şekilde minimum bir değere düşer, bu değer  $77\text{ K}$  da  $J_{cGB} \approx 10^{-3} J_{cGR} \approx 10^2\text{ A/cm}^2$  dir (Lo 2000). İyi bir performans elde etmek için, Y123 içinde Y211 fazının ince dağılımı gibi istenen kusurların yüksek yoğunlukta meydana gelmesini sağlayacak bir üretim teknikleri geliştirilmelidir. Bunun için ya tane büyüklüğünü maksimize etmek (yüksek tane içi akım yoğunluğunun ( $J_{cGR}$ ) kullanımına izin verir) ya da süperiletken olmayan tabaka kalınlığı ve hatalı yönlenme açılarının kontrolü vasıtasıyla taneler arasındaki  $J_{cGB}$  akım yoğunluğunu büyütmek gerekir.

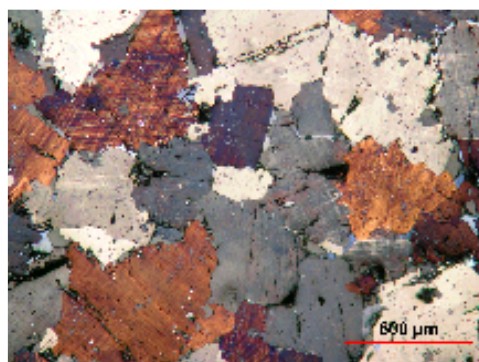
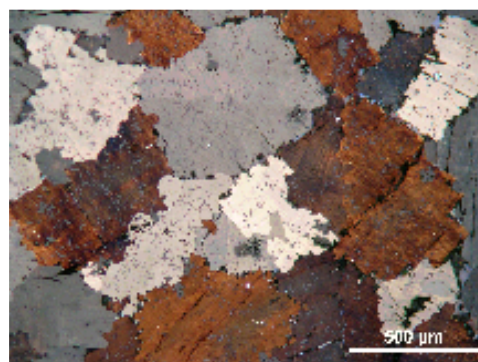
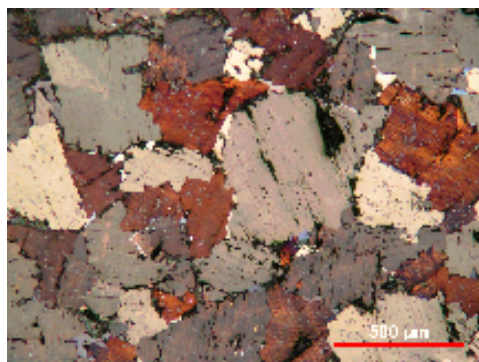
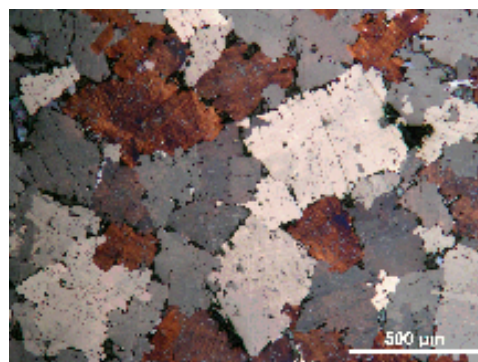
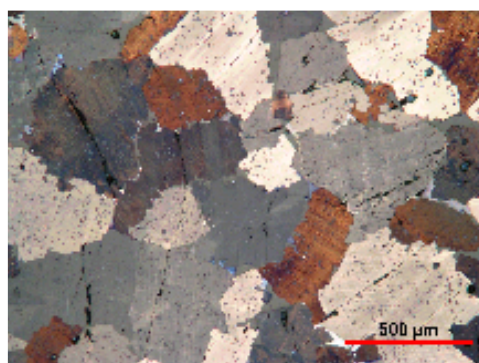
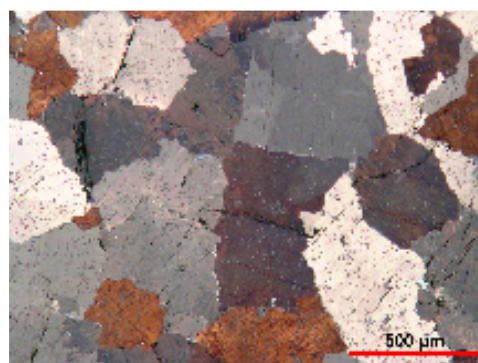
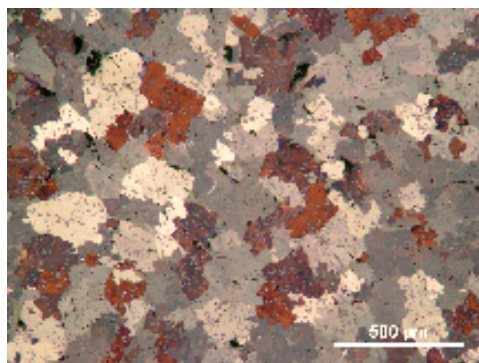
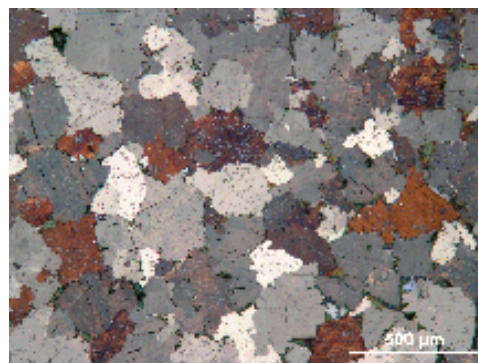
Şekil 4.2,  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  süperiletkeninde Cu elementi yerine  $y = 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$  oranlarında V elementi konulmasının mikroyapı üzerine etkisini göstermektedir. Vanadyum (V) katkısı, artan katkı oranına bağlı olarak tane büyüklüğünü küçültmüştür, fakat  $0.12$  katkı oranında taneler katkısız numuneninki kadar olmasa bile tekrar

irilemiştir. 0.03 ve 0.06 vanadyum katkılı numunelerin tane büyüklükleri yaklaşık aynıdır. Bütün numunelerde taneler içinde mikro çatlaklar görülmektedir. 0.06 ve 0.09 vanadyum katkılı numunelerde mikro çatlakların oranı diğer numunelere göre daha azdır. Vanadyum katkılı numunelerde mikro çatlaklar ab düzlemleri boyunca ilerlerken, katkısız numunede ab düzleminin dışında başka düzlemler boyunca da mikro çatlakların olduğu görülmektedir. Bu çatlaklar süperiletken numunenin kritik akım yoğunluğunu azaltır (Murakami 1992). Vanadyum katkısı, 0.03 katkılı numune haricinde diğer numunelerin tane sınırlarının kalitesini ve taneler arası bağlantıyı iyileştirmiş, 211 parçacıklarının sayısını önce azaltmış sonra artan katkı oranıyla artırmıştır. 0.06 – 0.12 katkılı numunelerde 211 fazlarının haricinde tane sınırlarında ikincil fazların olduğu da görülmektedir. Ionescu ve arkadaşları (1996), YBCO nun süperiletkenlik özellikleri üzerine V elementinin etkisini araştırmak için katıhal tepkime yöntemiyle hazırlanan  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0, 0.04, 0.06, 0.1$ ) numunelerini çalıştılar. Onlar, DTA (Differential Thermal Analysis), SEM (Scanning Electron Microscopy) ve EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) tekniklerini kullanarak, YBCO içinde vanadyumun çözünürlük limitinin  $y = 0.06 - 0.1$  aralığında olduğunu ve bu limitin yukarısında tane sınırlarında ikincil bir fazın oluşacağını belirlediler.

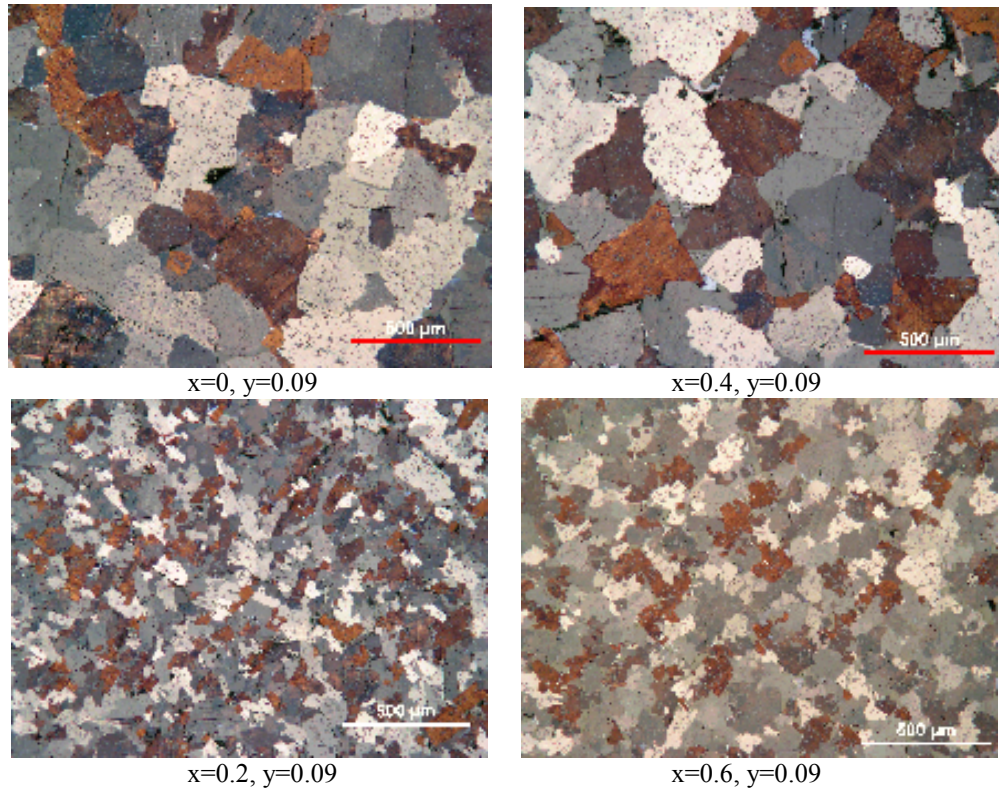
Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5, sırasıyla yitriyum elementi yerine 0.2, 0.4 ve 0.6 oranlarında holyum elementi katılan  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  (Y123) süperiletkenlerinde, yani  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ,  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ve  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  süperiletkenlerinde Cu elementi yerine 0.03, 0.06, 0.09, 0.12 oranlarında V elementi konulmasının mikroyapı üzerine etkisini göstermektedir. Yitriyum yerine holyum katılan bu numunelerde bakır yerine vanadyum konulması, vanadyum katkı oranı artarken tane büyüklüğünü önemli ölçüde küçültmüştür. Tane boyutlarındaki küçülme oranı, özellikle  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ve  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde, holyum ihtiva etmeyen  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numuneleriyle karşılaştırılmayacak derecede büyüktür.  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerindeki tane büyüklüğü  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin tane büyüklüğü ile karşılaştırılabilir düzeydedir, fakat daha küçüktür. Vanadyum katkısı tane büyüklüğünü küçültmenin yanı sıra, mikro çatlakların sayısını da önemli ölçüde azaltmıştır. Özellikle  $y = 0.09$  ve  $y = 0.12$  numunelerinde taneler çok küçüldüğü için mikro çatlaklar hemen hemen ortadan kalkmıştır. Vanadyum katkısı özellikle  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ve  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde önce  $y =$

0.03 katkı oranı için tane sınırlarının kalitesini düşürmüş ve taneler arası bağlantıyı zayıflatmıştır. Sonra diğer katkı oranları için katkı oranındaki artışa bağlı olarak tanelerin ve tane sınırlarının düzgün şeklini bozup iyice iç içe girmelerini sağlayarak taneler arası bağlantıyı iyileştirmiştir. 211 parçacıklarının sayısı, vanadyum katkı oranındaki artışla önce önemli derecede azalmış, sonra irileşerek artmıştır, fakat vanadyum ihtiva etmeyen Ho katkılı numunelerdeki sayıya ulaşamamıştır.

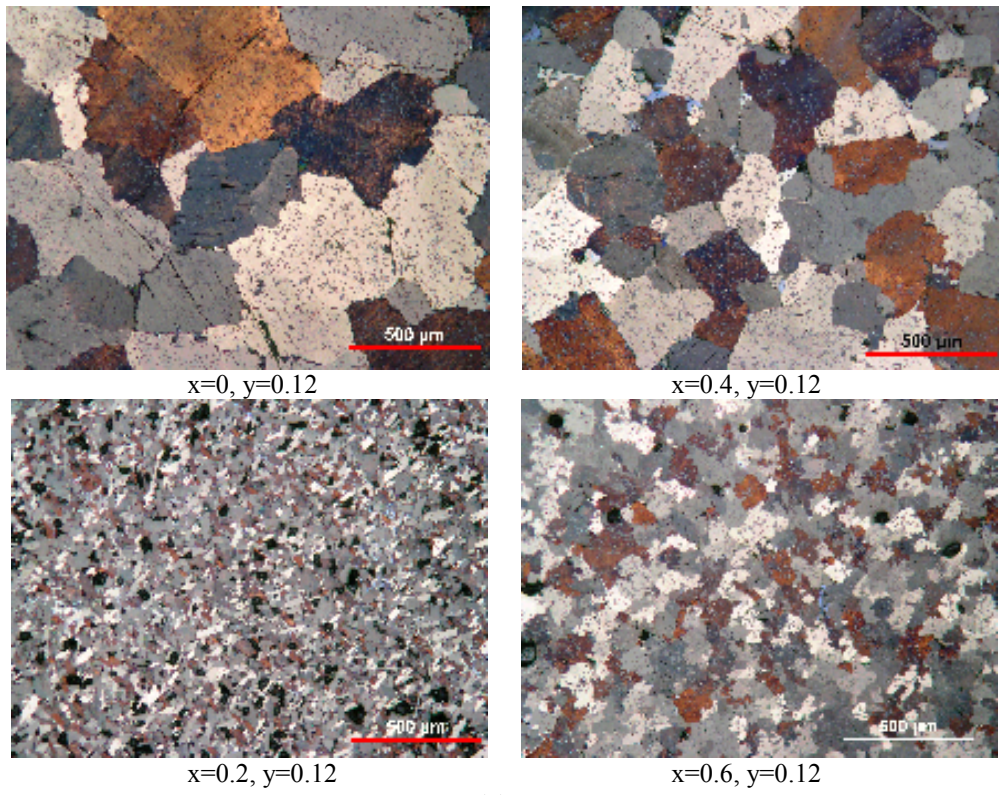
Şekil 4.6 da,  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.03}Cu_{2.97}O_{7-\delta}$ ,  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.06}Cu_{2.94}O_{7-\delta}$ ,  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.09}Cu_{2.91}O_{7-\delta}$  ve  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.12}Cu_{2.88}O_{7-\delta}$  numunelerinin tane büyüklüğü üzerine  $x = 0.0$ ,  $0.2$ ,  $0.4$ ,  $0.6$  oranlarında Ho katkısının etkisi de görülmektedir.  $y = 0.03$  oranında vanadyum ihtiva eden numunelerde yitriyum yerine belli oranlarda holyum katkısı tane büyüklüğünü önemli derecede etkilememiştir. Bakır yerine  $y = 0.06$ ,  $0.09$  ve  $0.12$  oranlarında vanadyum ihtiva eden numunelerde holyum katkısı tane büyüklüğünü önce küçültmüş, sonra büyütmüş ve daha sonra tekrar küçültmüştür.  $y = 0.06$  numune serisinde  $x = 0.0$  ile  $x = 0.4$  numunelerinin,  $x = 0.2$  ile  $x = 0.12$  numunelerinin tane büyüklükleri yaklaşık aynıdır. Fakat  $x = 0.0$  ile  $x = 0.4$  numunelerinin taneleri diğerlerinden yaklaşık 3 – 4 kat daha büyüktür.  $y = 0.09$  ve  $y = 0.12$  serilerinde de  $y = 0.06$  serisindekiyle benzer durum söz konusudur.  $y = 0.09$  serisinde  $x = 0.0$  ile  $x = 0.4$  numunelerinin ve  $x = 0.2$  ile  $x = 0.12$  numunelerinin tane büyüklükleri yaklaşık aynıdır. Bununla birlikte bu iki grup numune için tane büyüklükleri arasındaki fark yaklaşık 8 – 10 kat mertebesinde.  $y = 0.12$  serisinde ise  $y = 0.06$  ve  $y = 0.09$  serilerindekine benzer olarak  $x = 0.0$  ile  $x = 0.4$  numunelerinin ve  $x = 0.2$  ile  $x = 0.12$  numunelerinin tane büyüklükleri kendi aralarında karşılaştırılabilir düzeydedir. Fakat  $x = 0.0$  numunesinin tane büyüklüğü  $x = 0.4$  numunesinin tane büyüklüğünden,  $x = 0.6$  numunesinin tane büyüklüğü de  $x = 0.2$  numunesinin tane büyüklüğünden fark edilebilir derecede daha büyüktür. İki grubun tane büyüklükleri arasındaki fark  $y = 0.09$  serisindekine yakındır.

 $x=0, y=0.03$  $x=0.4, y=0.03$  $x=0.2, y=0.03$  $x=0.6, y=0.03$ **(a)** $x=0, y=0.06$  $x=0.4, y=0.06$  $x=0.2, y=0.06$  $x=0.6, y=0.06$ **(b)**





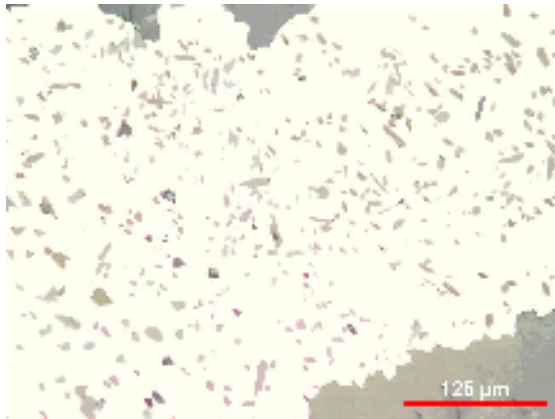
(c)



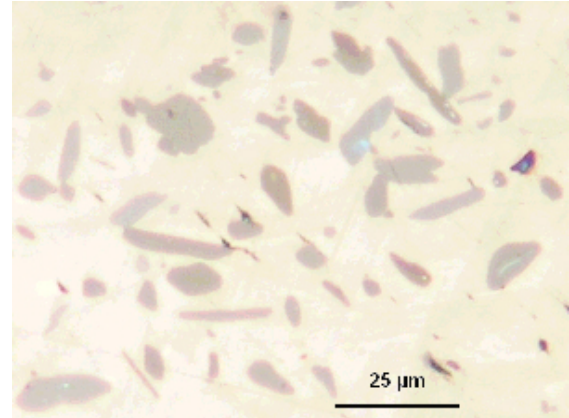
(d)

**Şekil 4.6.** a)  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.03}Cu_{2.97}O_{7-\delta}$ , b)  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.06}Cu_{2.94}O_{7-\delta}$ , c)  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.09}Cu_{2.91}O_{7-\delta}$  ve d)  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_{0.12}Cu_{2.88}O_{7-\delta}$  numunelerinde tane büyüklüğü üzerine  $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6$  oranlarında Ho katkısının etkisini gösteren polarize ışık mikroskobu fotoğrafları.

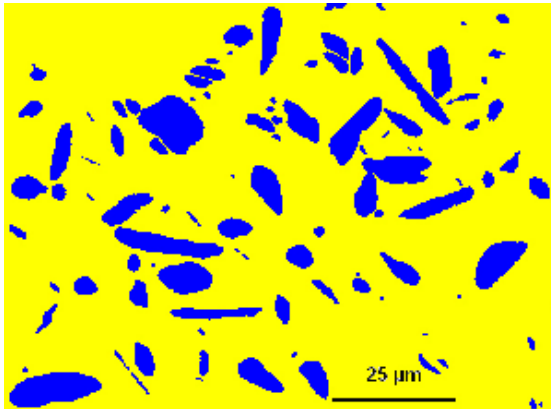
Şekil 4.7- Şekil 4.11 de sırasıyla,  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ),  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ),  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ),  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) ve  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin taneleri içinde RE211 parçacıklarının dağılımını gösteren iki farklı büyütmede polarize ışık fotoğrafları (Şekil a ve b), 211 parçacıklarının matris içinde dağılımı ve yönelimini gösteren resimler (Şekil c ve d), 211 parçacıklarının yüzey alanlarına göre (Şekil e), dairesel yarıçaplarına göre (Şekil f), küresel yarıçaplarına göre (Şekil g) ve aralarındaki mesafeye göre (Şekil h) dağılımını gösteren sütun grafikleri verilmiştir.  $Y_2BaCuO_5$  (Y211) veya  $RE_2BaCuO_5$  (RE211) normal fazı  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  (Y123) veya  $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  (RE123) süperiletkenlerinin oluşması sırasında meydana gelen bir ön-peritektik fazdır. Süperiletken olmayan bu faz, Y123 süperiletkeninin özelliklerini tanımlamada Y-Ba-Cu-O sisteminde önemli bir rol oynar. Eritme yöntemiyle üretilen RE123 süperiletkenlerinin akım yoğunluklarını artırmak için RE123 matrisi içine hapsedilen RE211 parçacıklarının büyüklüğü, şekli ve dağılımı önemlidir. Y211 normal faz parçacıklarının Y123 süperiletken fazı içinde manyetik akı sabitleme merkezleri olarak rol oynadıkları bilinmektedir (Feng vd 1998, Lou vd 2000, Nariki vd 2002, Shlyk vd 2003, Shlyk vd 2004, Dias vd 2004, Seiki vd 2004, Koblischka-Veneva vd 2005). Bu sebepten, Y211 parçacıklarının taneler içinde dağılım şekli, sayıları, büyüklükleri ve hacimsel oranları kritik akım yoğunluğu, manyetik kaldırma kuvveti gibi elektriksel ve manyetik özellikler açısından büyük önem arz etmektedir. Çünkü RE123 içinde akı sabitleme yerleri olarak rol oynayabilen RE211 yerlerinin etrafındaki kusur yoğunluğu ve RE123/RE211 ara yüzeylerinin alanları bu faktörlere bağlı olarak değişir (Kim vd 1996). Kritik akım yoğunluğu  $J_c$ , eritme yöntemiyle hazırlanan RE-Ba-Cu-O için endüstriyel uygulamalarda en önemli özelliklerden biridir. Kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ), Lorentz kuvvetine ( $\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B}$ ) karşı akı hareketini önleyen mikroskobik kusurların dağılımıyla belirlenir (Murakami 1992, 2000). Bu sebepten, büyük akım yoğunluklu balk RE-Ba-Cu-O nun üretimi için mikroyapısal kontrol, kritik öneme sahiptir. Bu yöntemle üretilen RE-Ba-Cu-O da  $J_c$  yi artırmak için en faydalı yöntemlerden biri ince RE211 parçacıklarının dağılımıdır (Murakami vd 1990). İnce dağılmış 211 parçacıklarına sahip numunelerin akım yoğunluğu, daha büyük 211 parçacıklarını ihtiva eden numunelerin akım yoğunluğundan daha büyüktür (Chow vd 1998).



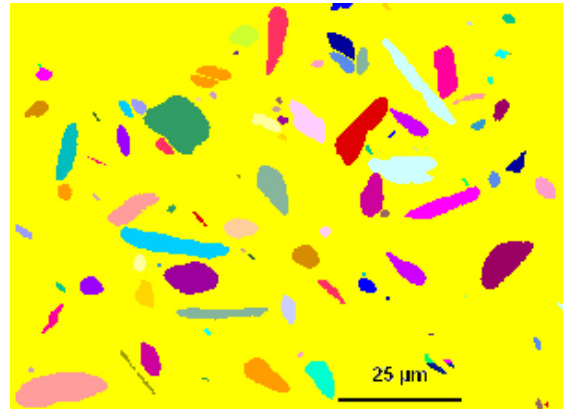
(a)



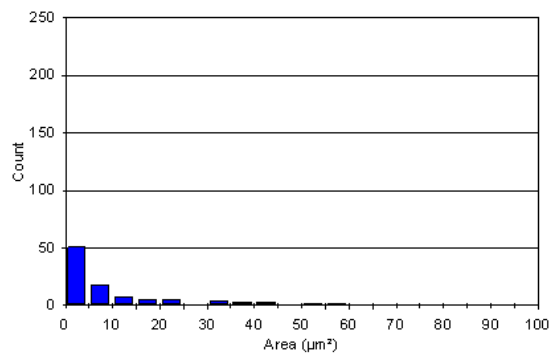
(b)



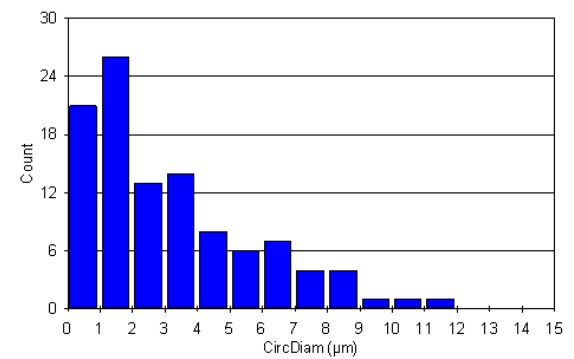
(c)



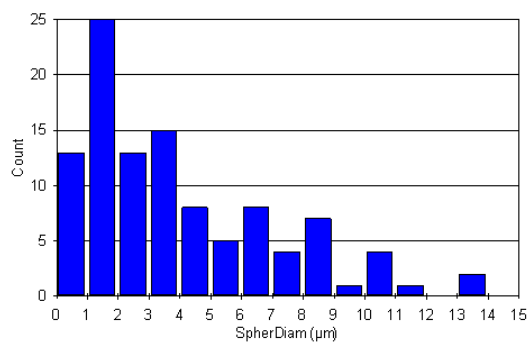
(d)



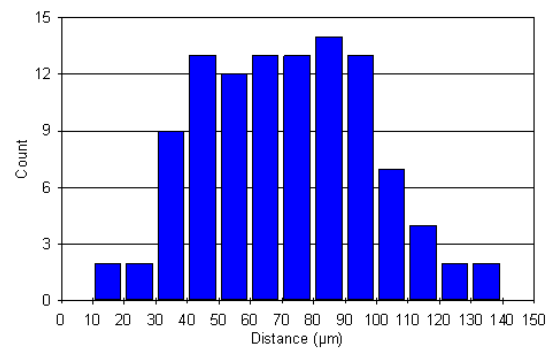
(e)



(f)



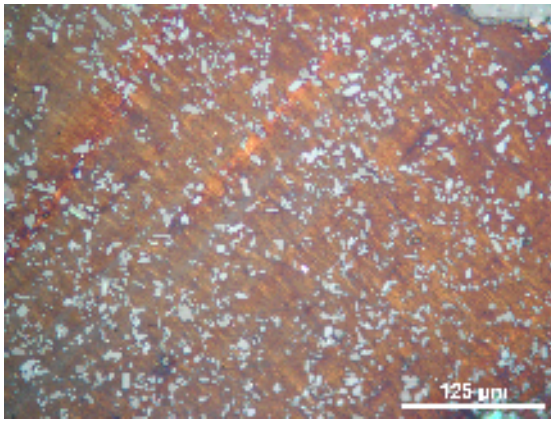
(g)



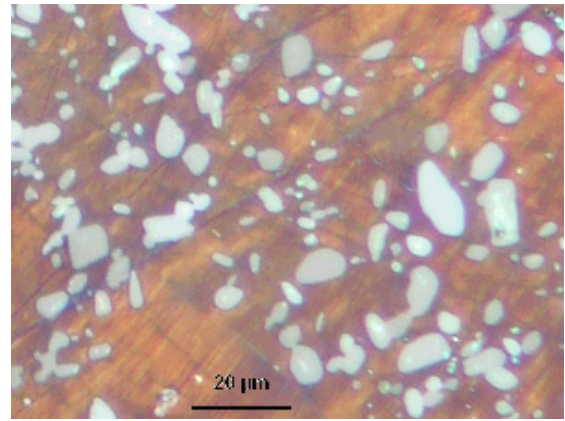
(h)

$x = 0$

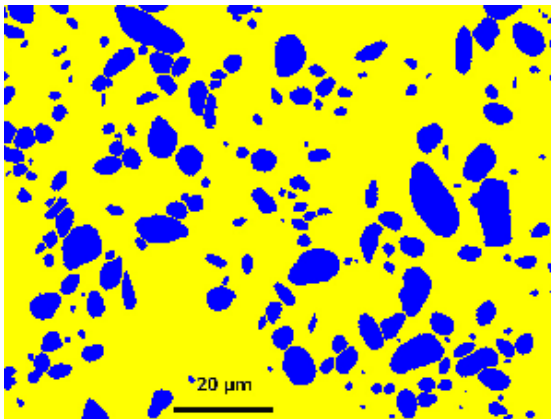




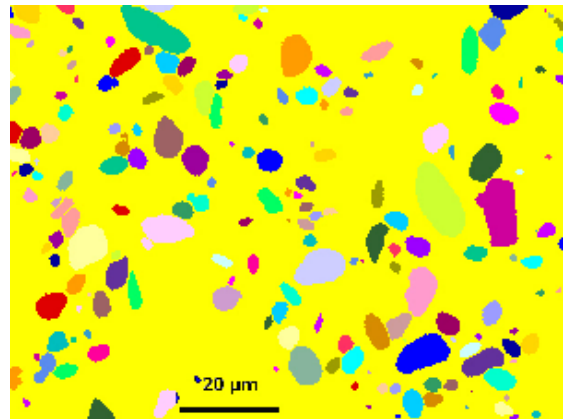
(a)



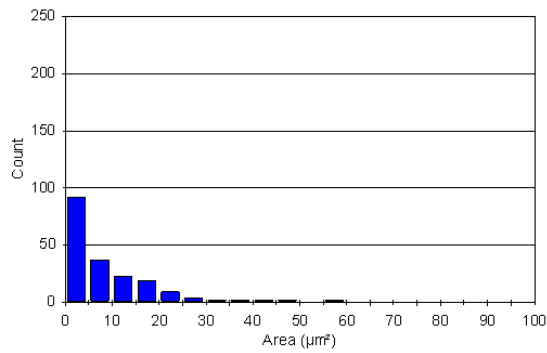
(b)



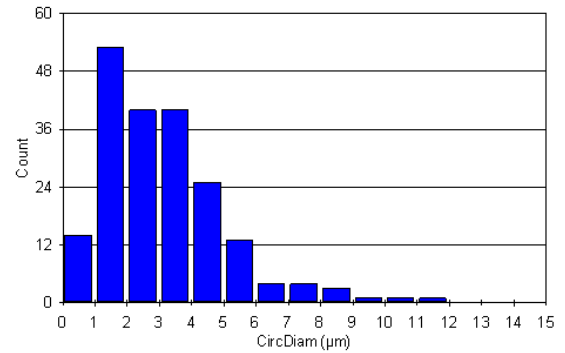
(c)



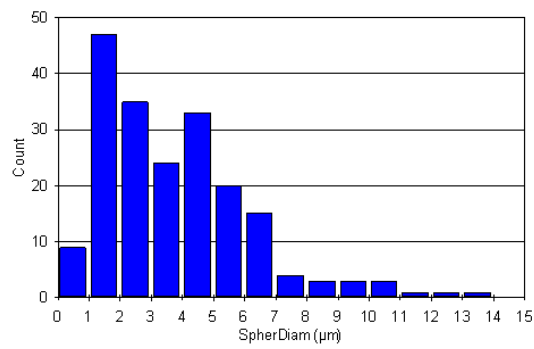
(d)



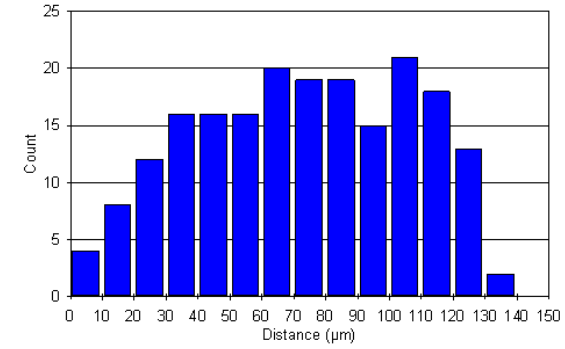
(e)



(f)



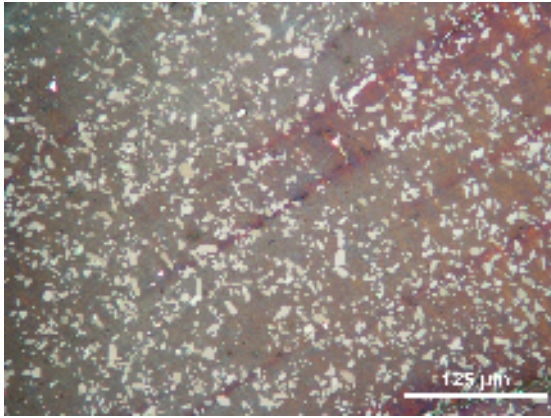
(g)



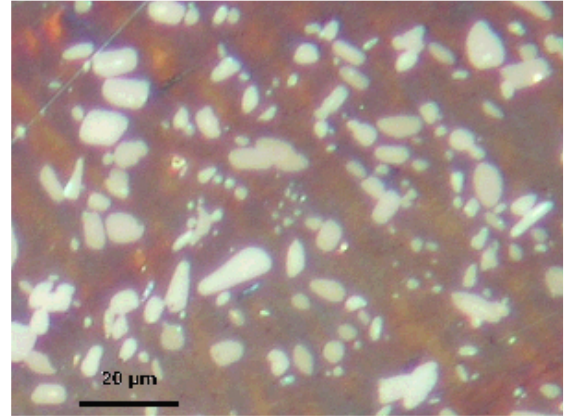
(h)

x = 0.2

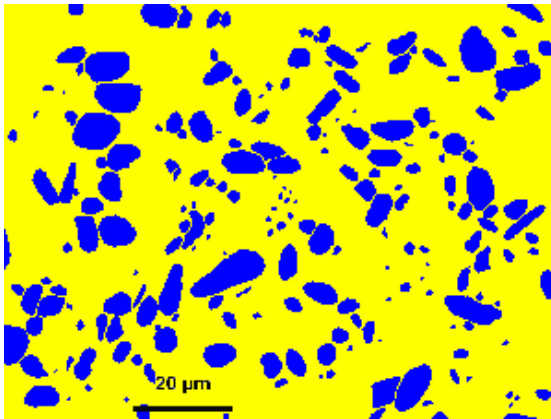




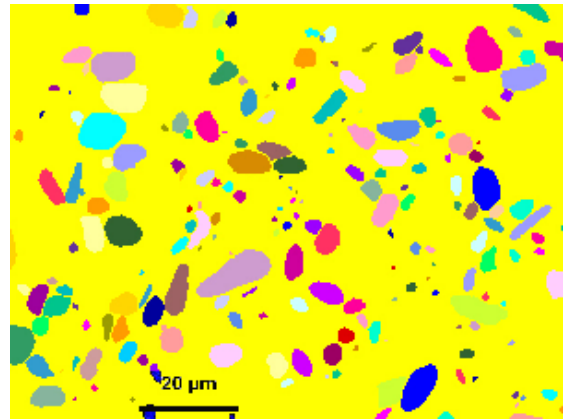
(a)



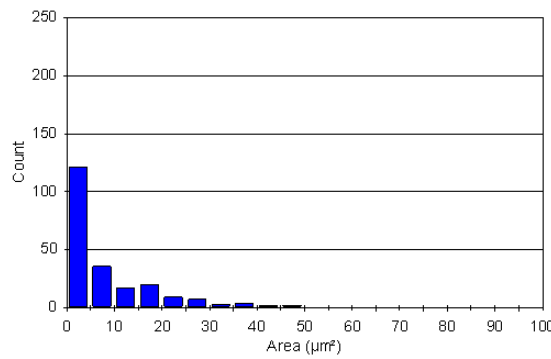
(b)



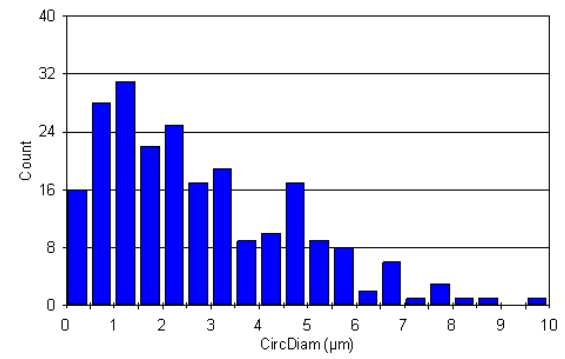
(c)



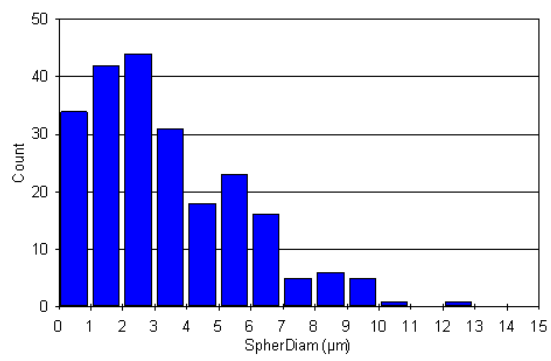
(d)



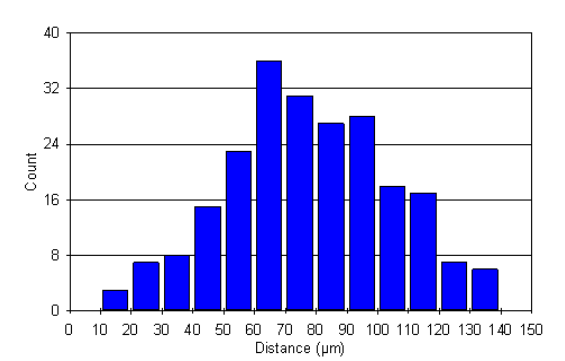
(e)



(f)

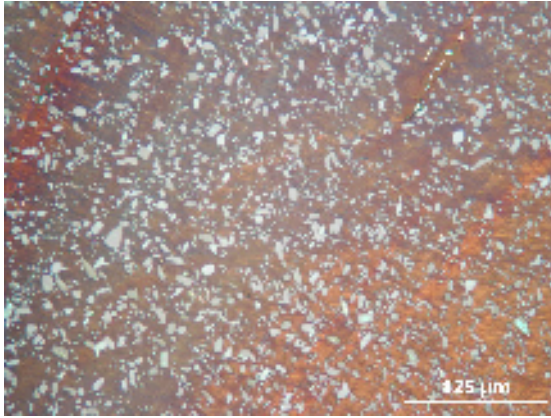


(g)

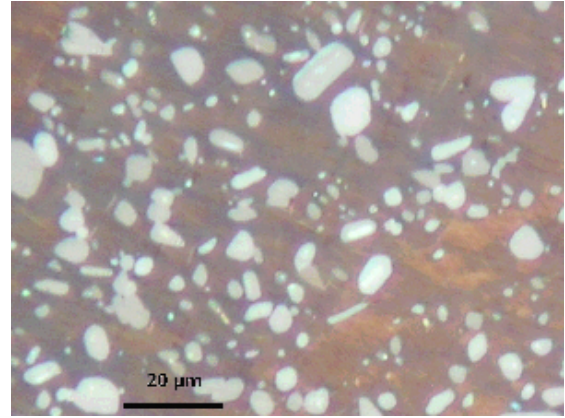


(h)

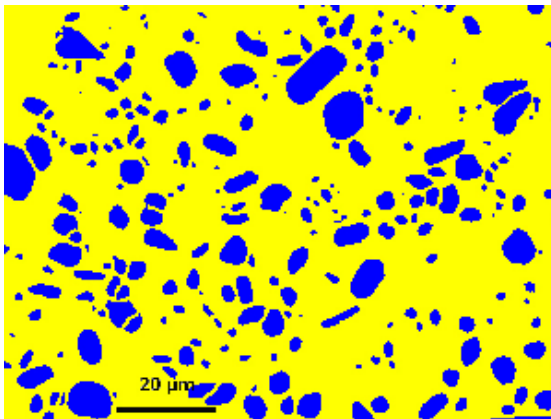
$x = 0.4$



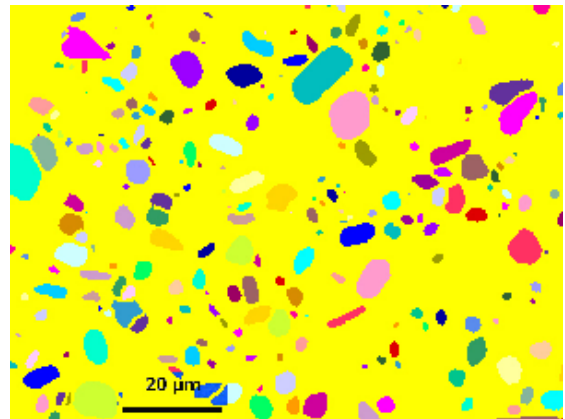
(a)



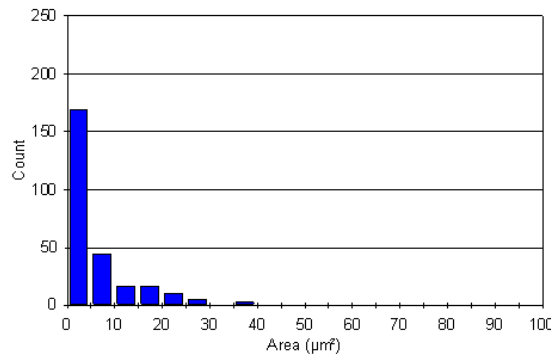
(b)



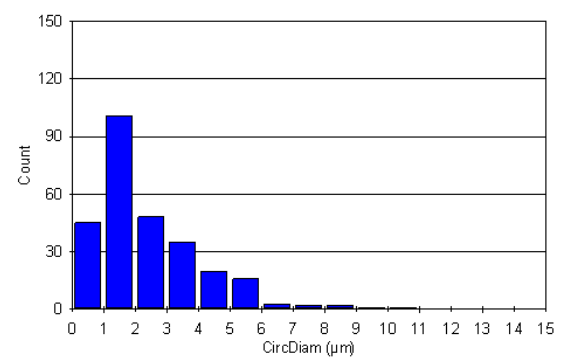
(c)



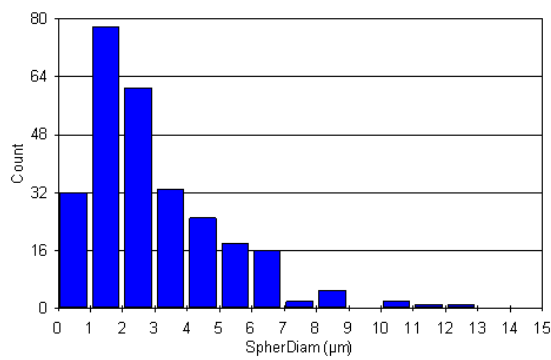
(d)



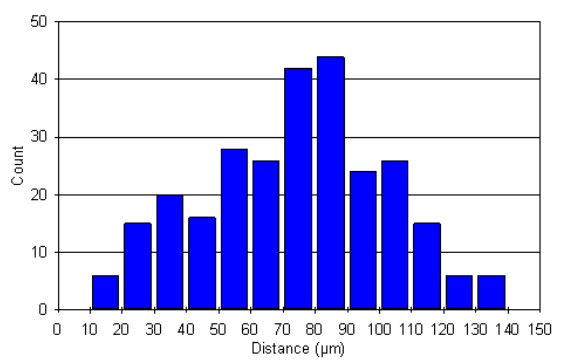
(e)



(f)

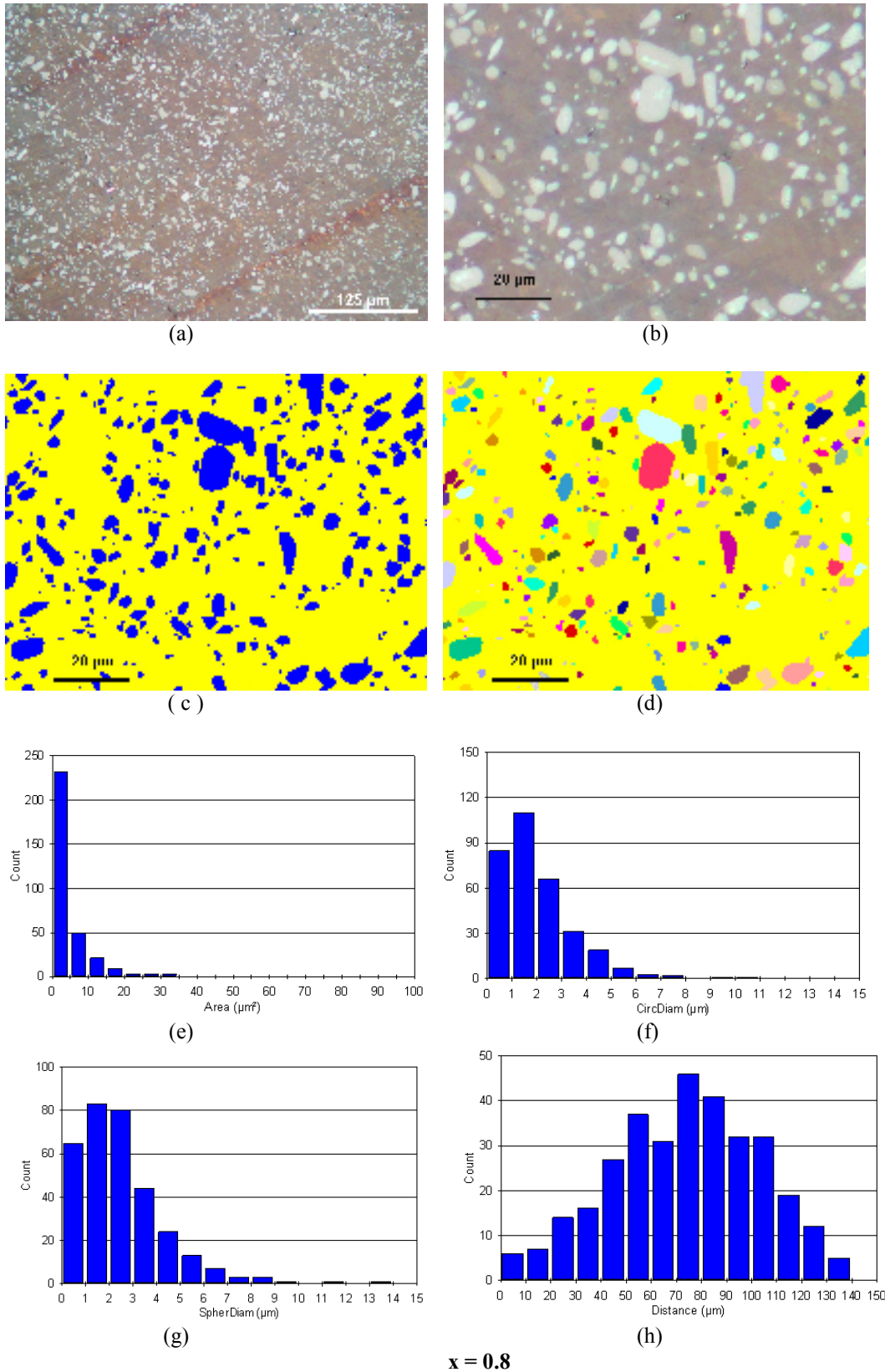


(g)

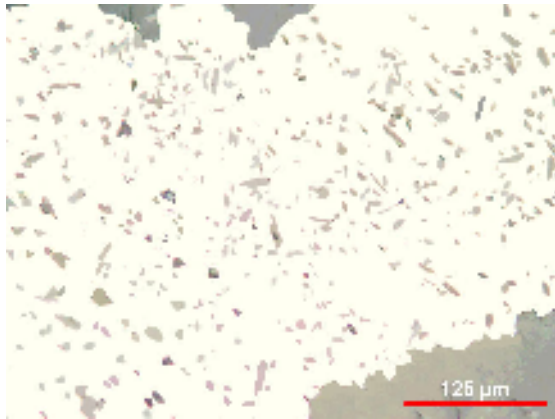


(h)

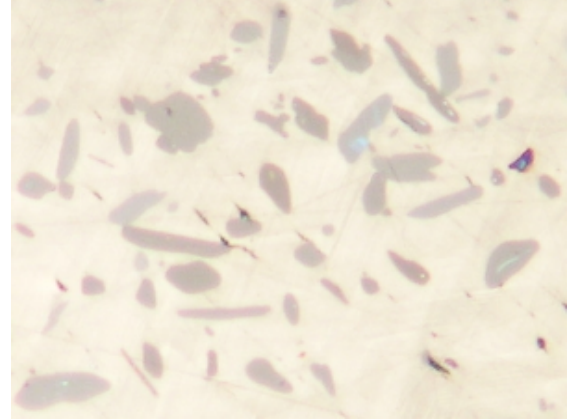
$x = 0.6$



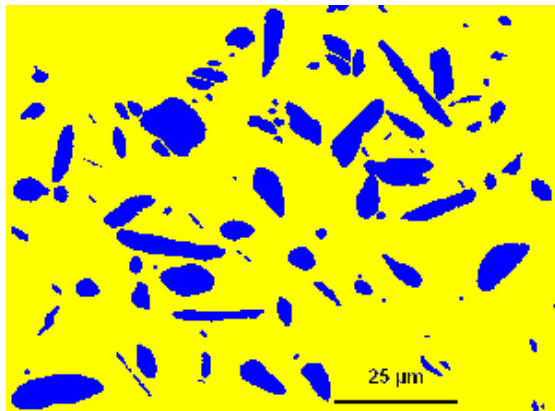
**Şekil 4.7**  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) numunelerinin taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmeye polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d) Y211 parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.



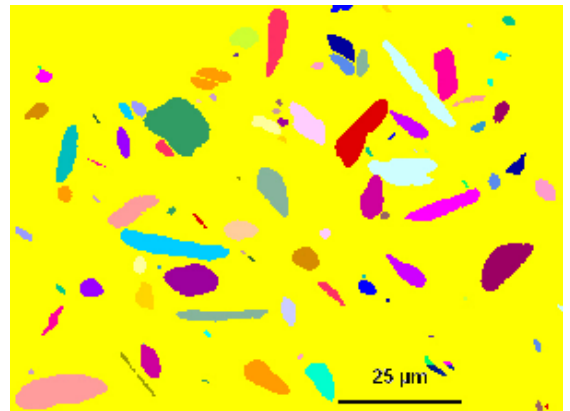
(a)



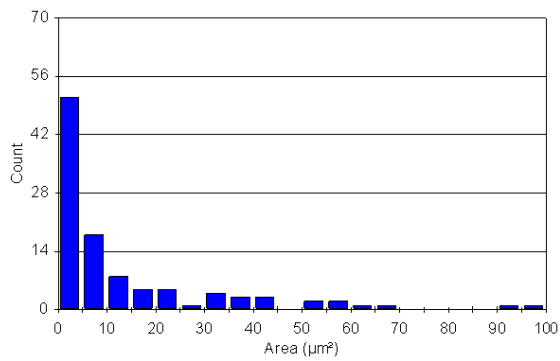
(b)



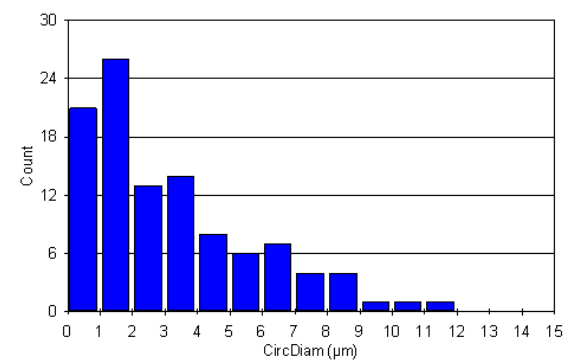
(c)



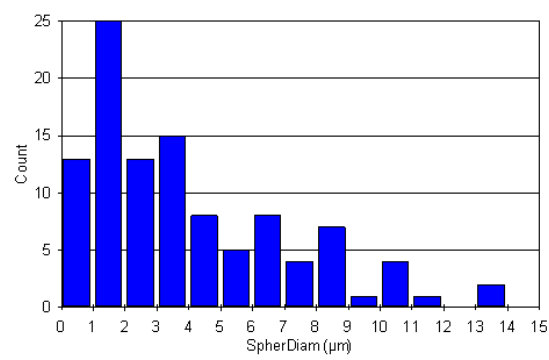
(d)



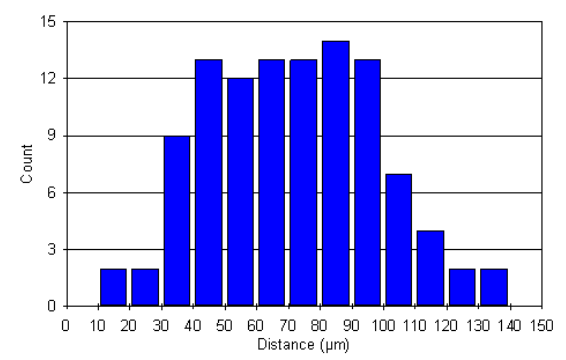
(e)



(f)



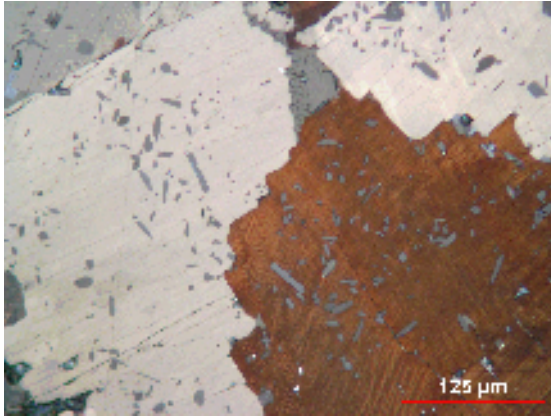
(g)



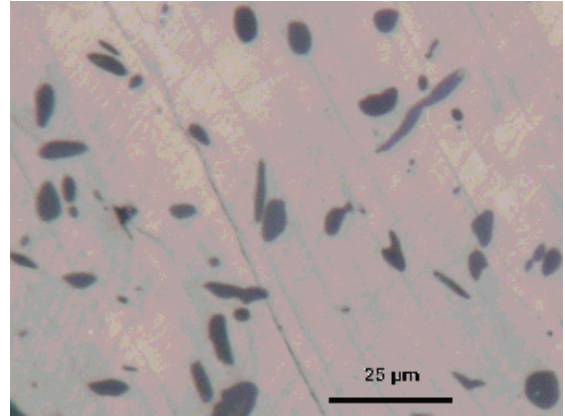
(h)

$$y = 0.0$$

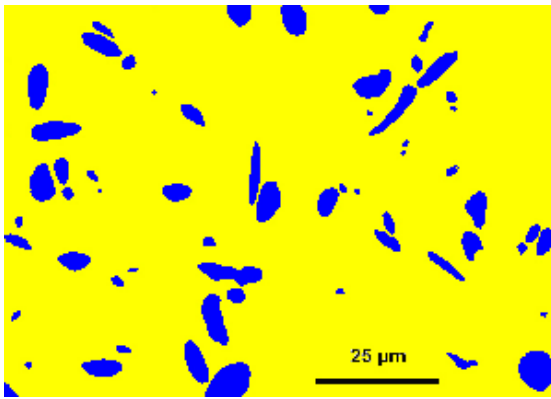




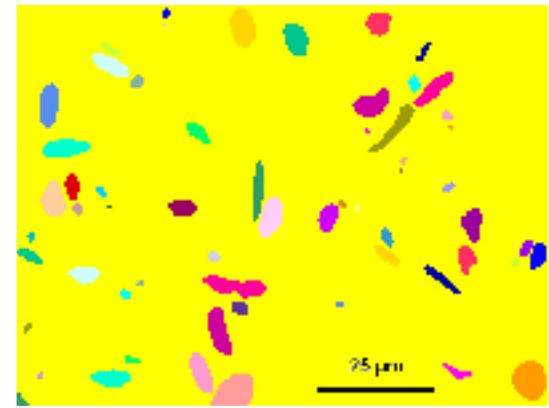
(a)



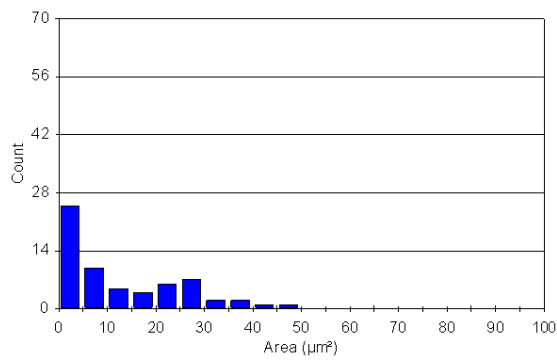
(b)



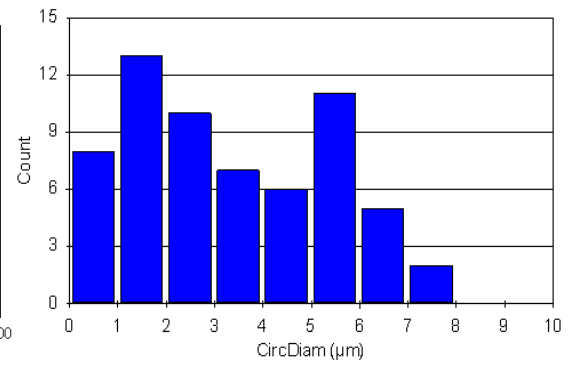
(c)



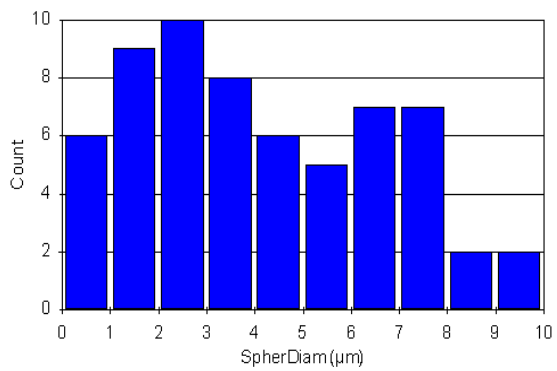
(d)



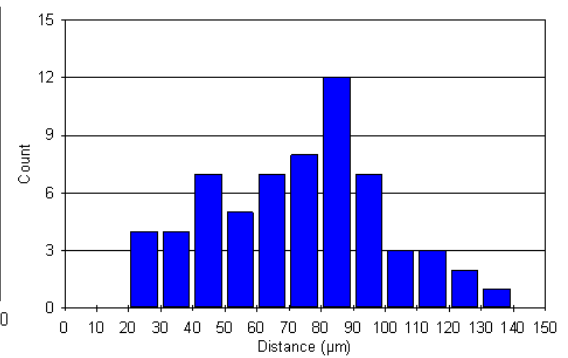
(e)



(f)

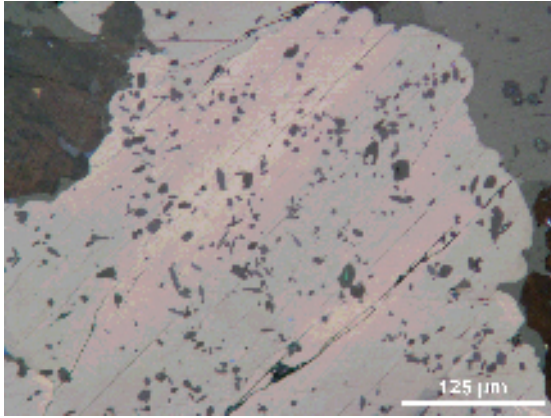


(g)

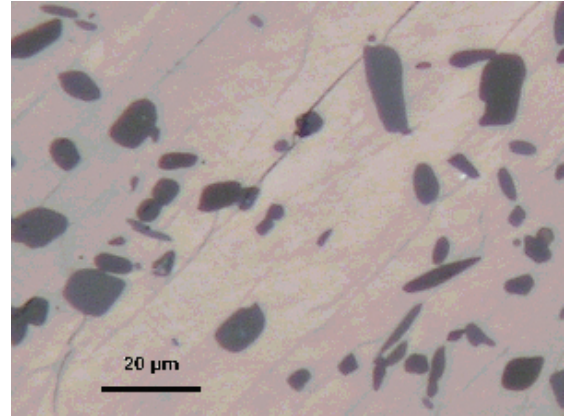


(h)

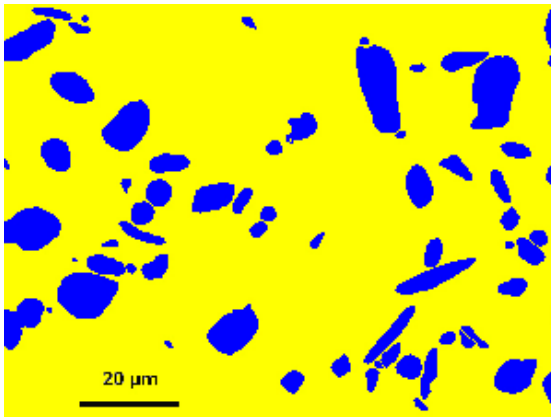
$$y = 0.03$$



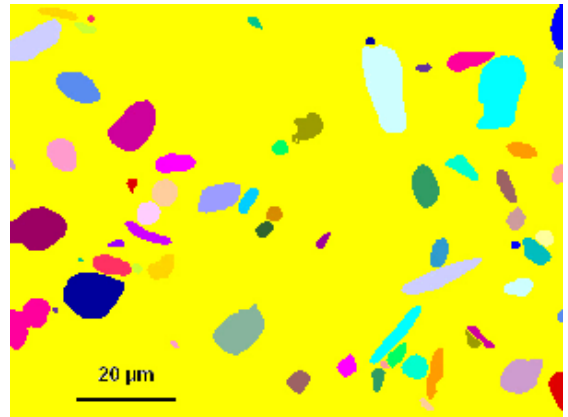
(a)



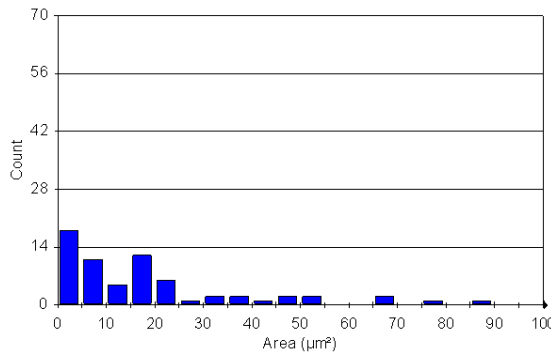
(b)



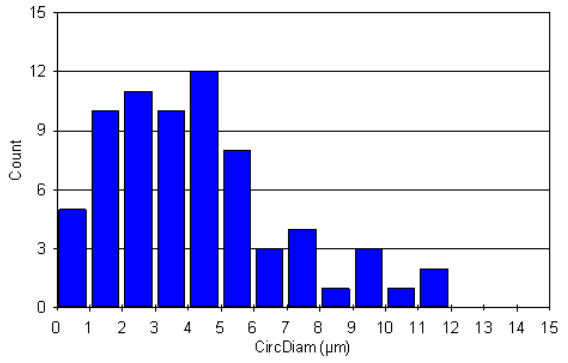
(c)



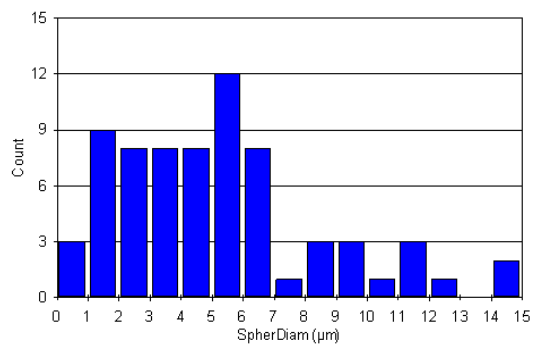
(d)



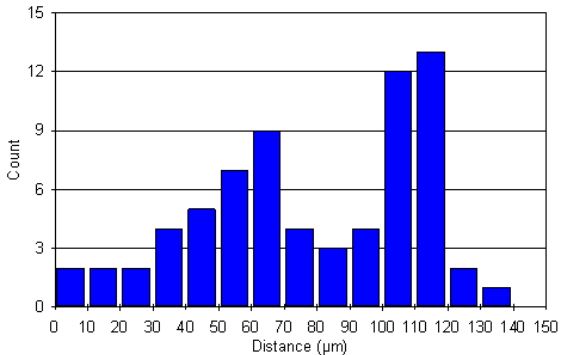
(e)



(f)

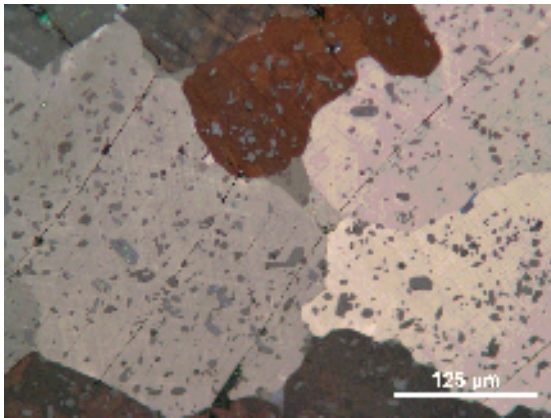


(g)

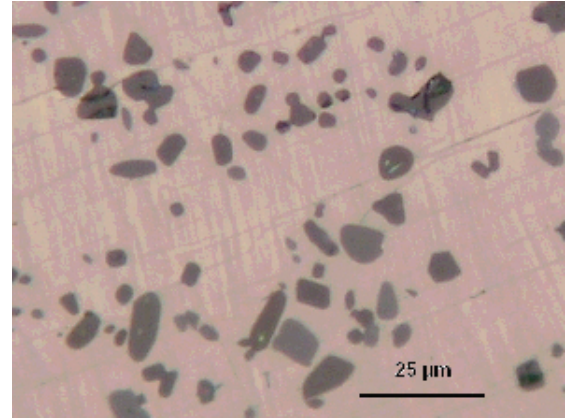


(h)

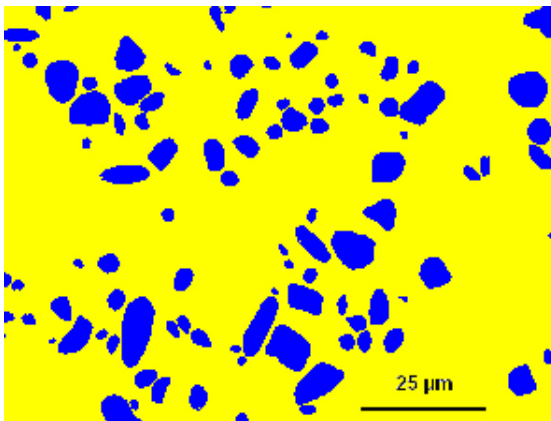
$y = 0.06$



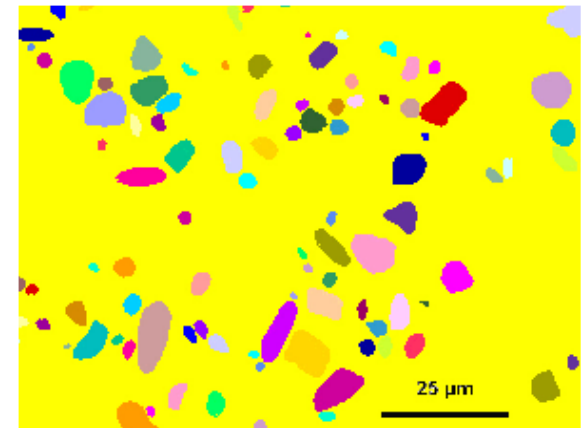
(a)



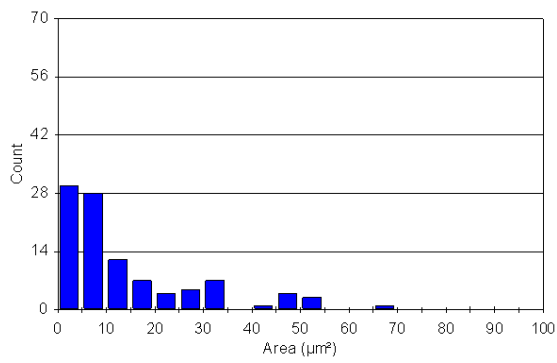
(b)



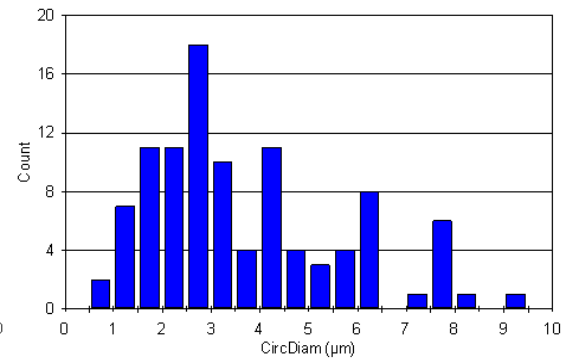
(c)



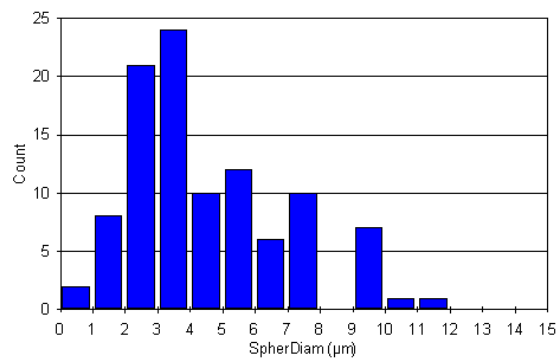
(d)



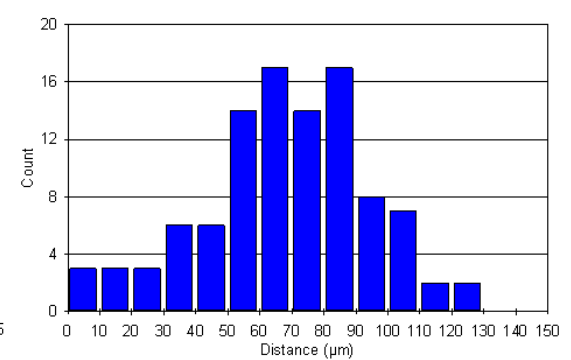
(e)



(f)

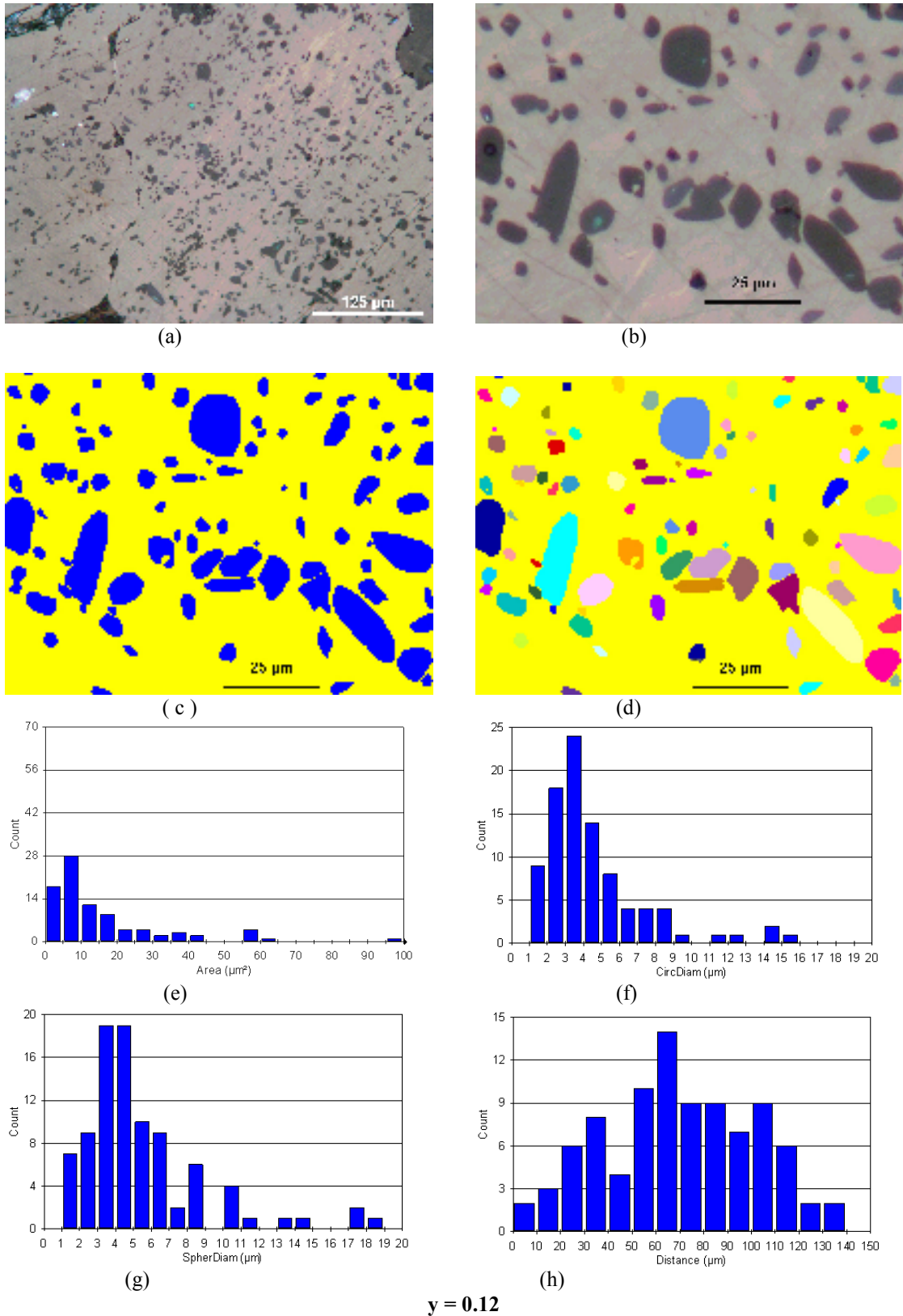


(g)



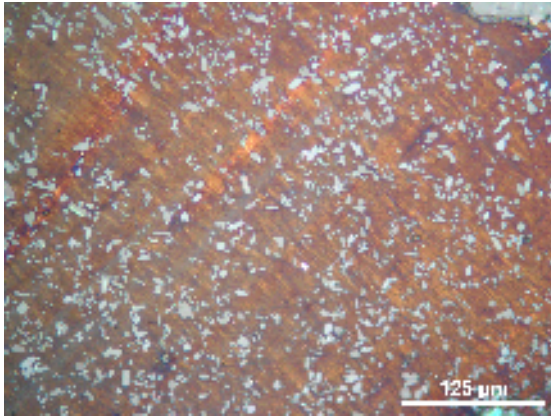
(h)

$$y = 0.09$$

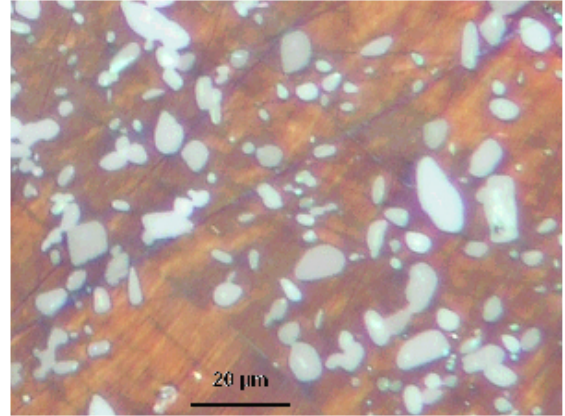


**Şekil 4.8:**  $\text{YBa}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmede polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d) Y211 parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.

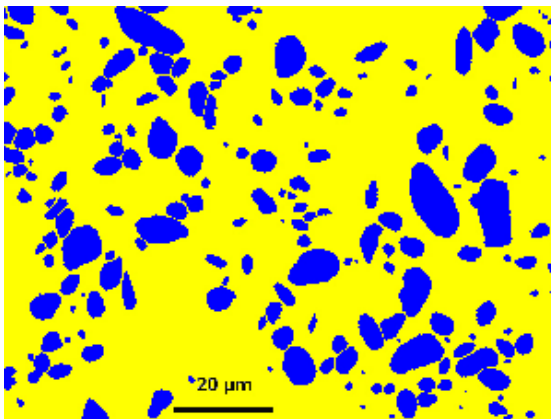




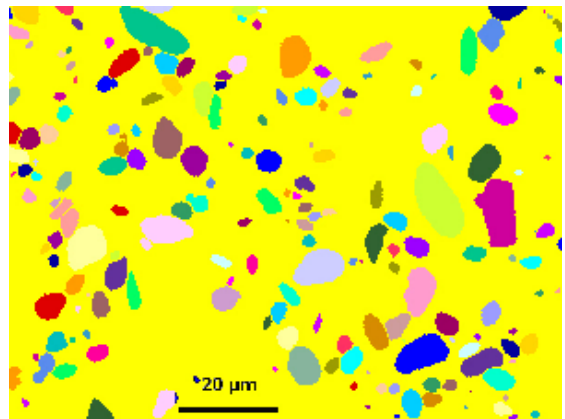
(a)



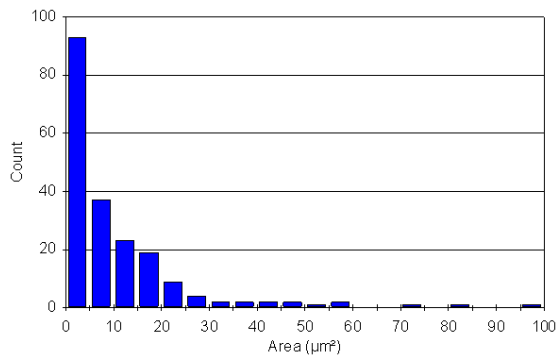
(b)



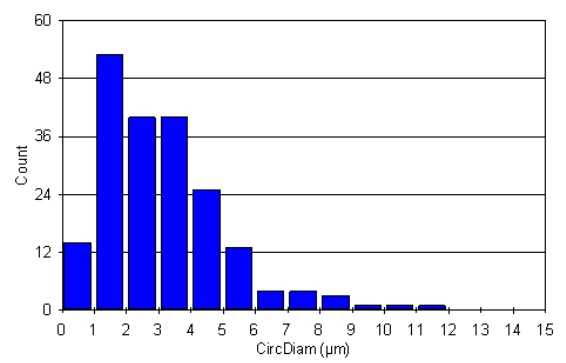
(c)



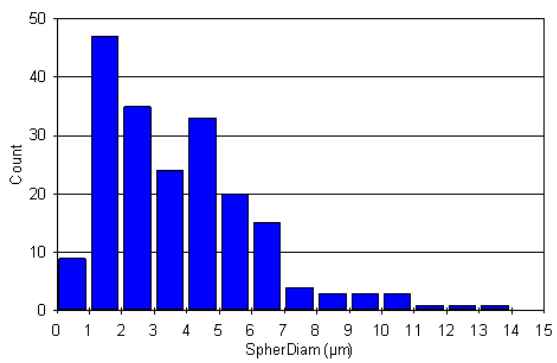
(d)



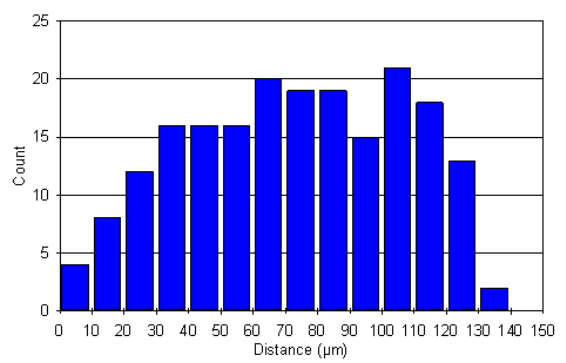
(e)



(f)

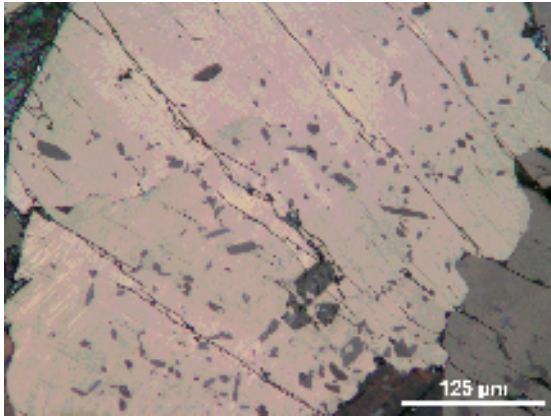


(g)

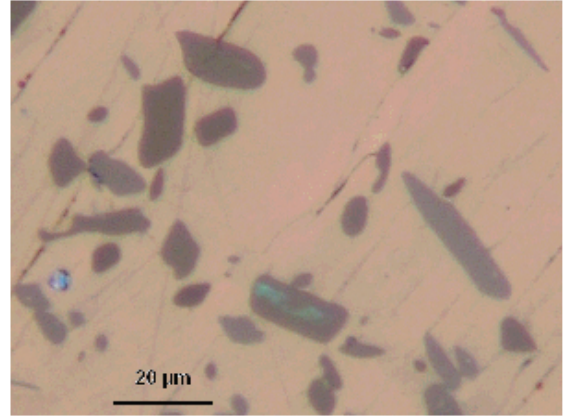


(h)

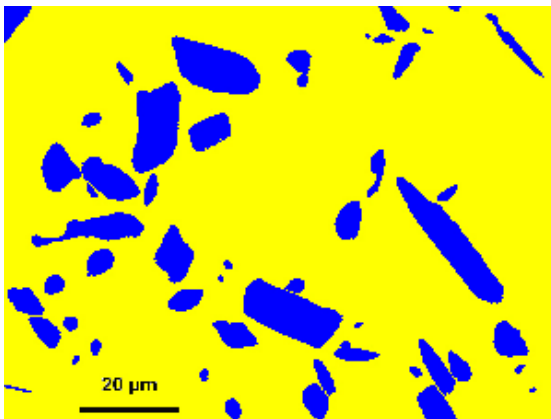
$x = 0.2, y = 0$



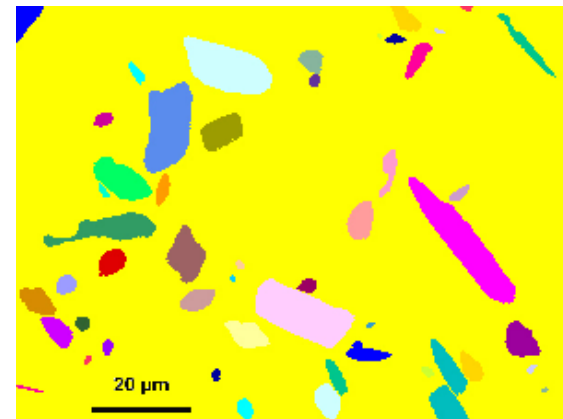
(a)



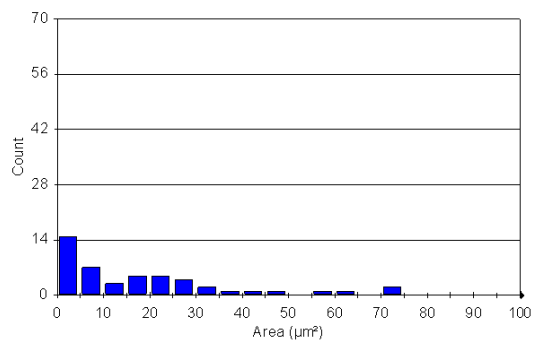
(b)



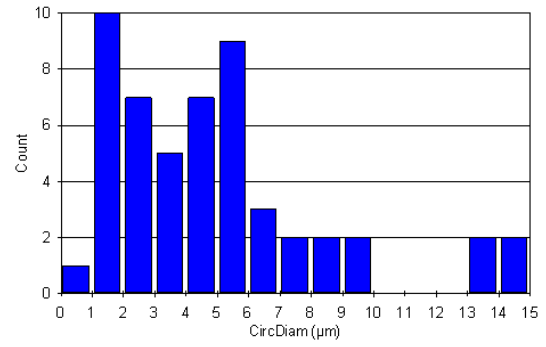
(c)



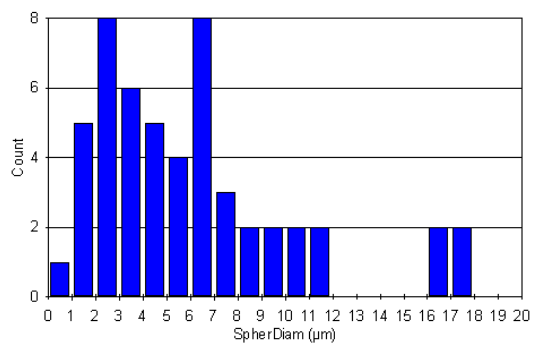
(d)



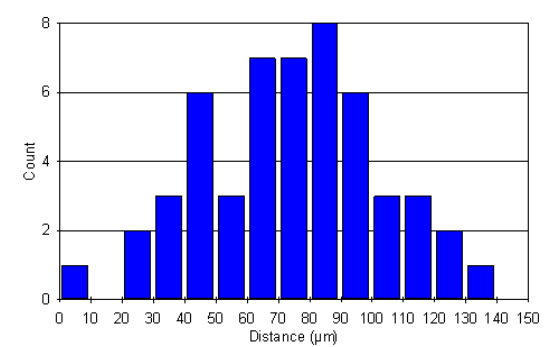
(e)



(f)

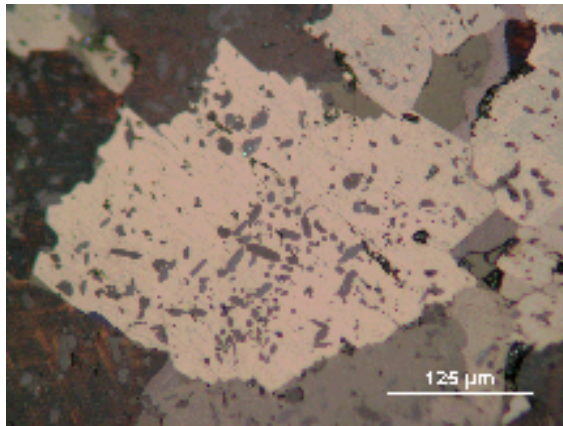


(g)

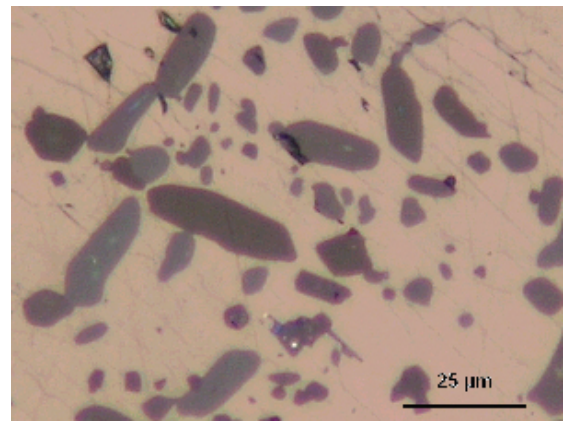


(h)

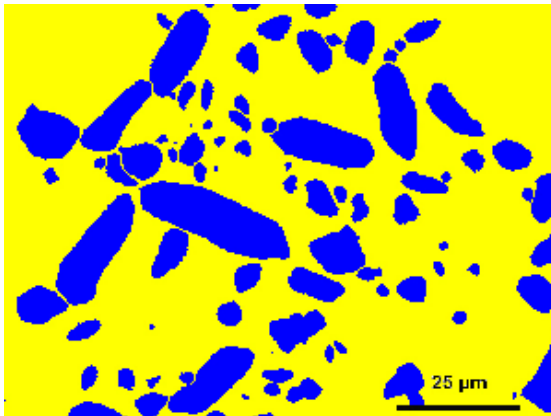
$$x = 0.2, y = 0.03$$



(a)



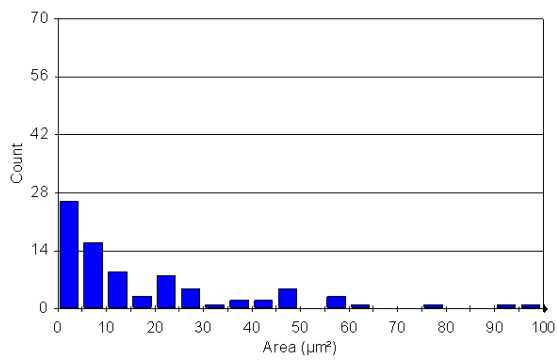
(b)



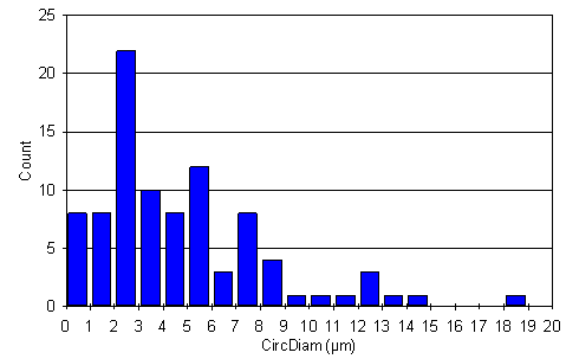
(c)



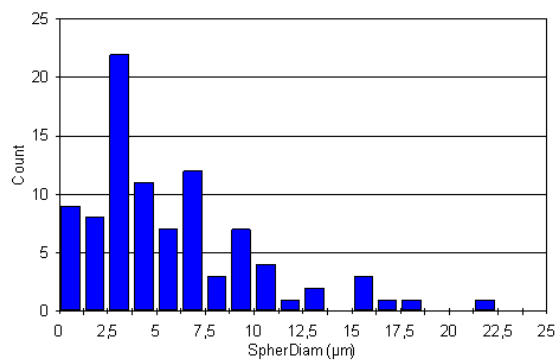
(d)



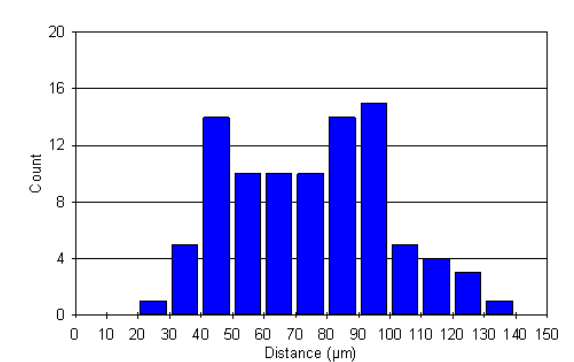
(e)



(f)

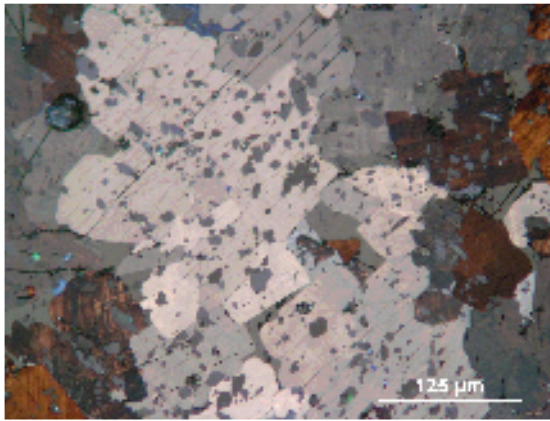


(g)

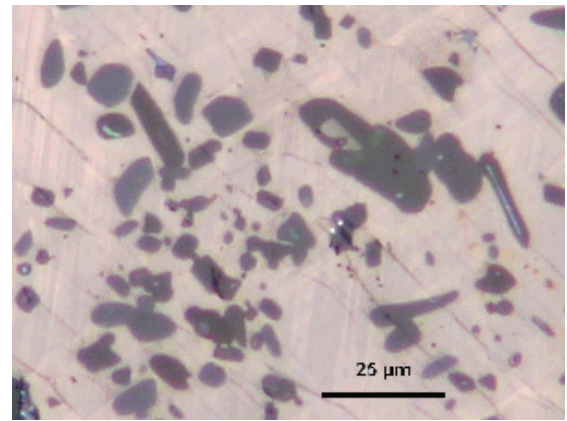


(h)

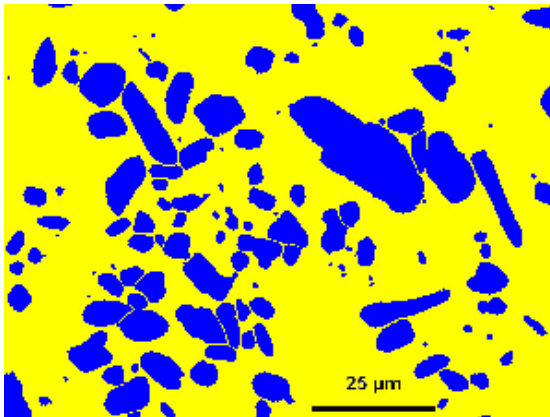
$x = 0.2, y = 0.06$



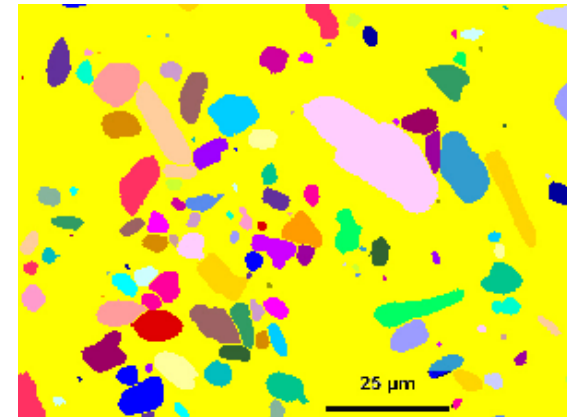
(a)



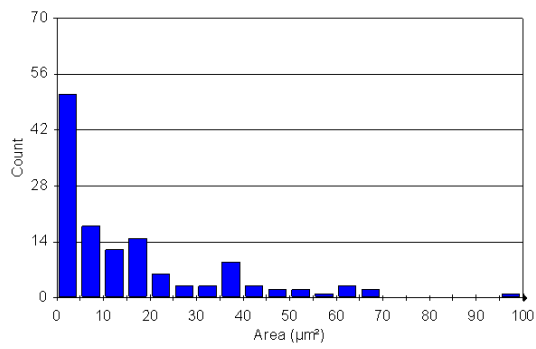
(b)



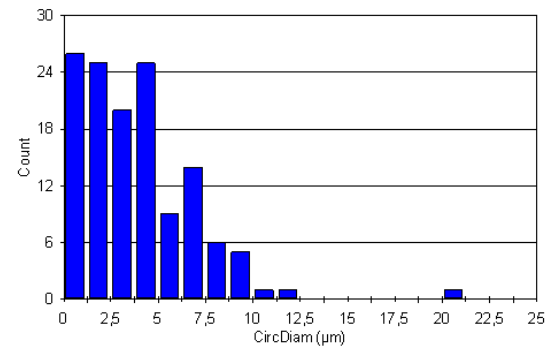
(c)



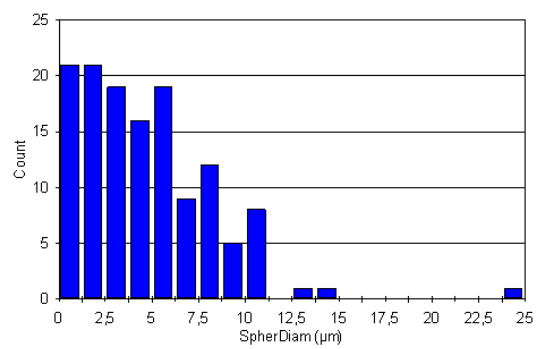
(d)



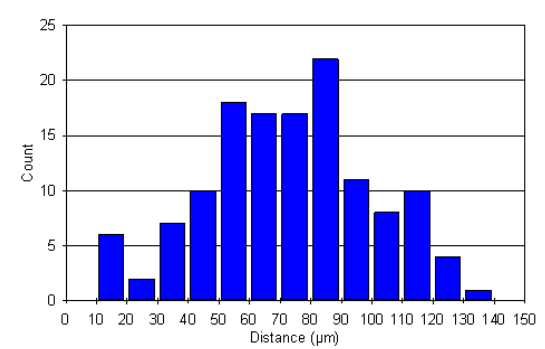
(e)



(f)



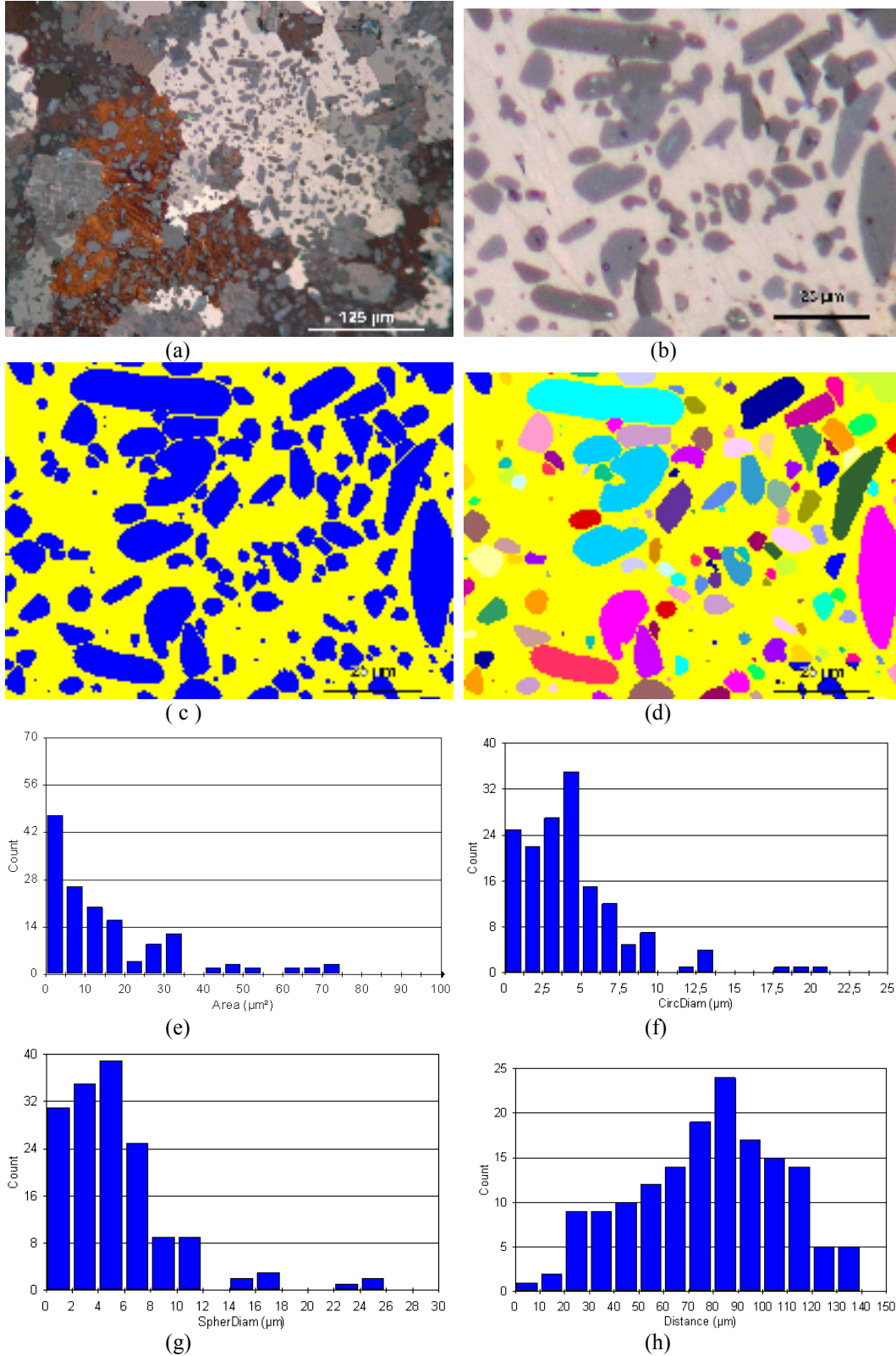
(g)



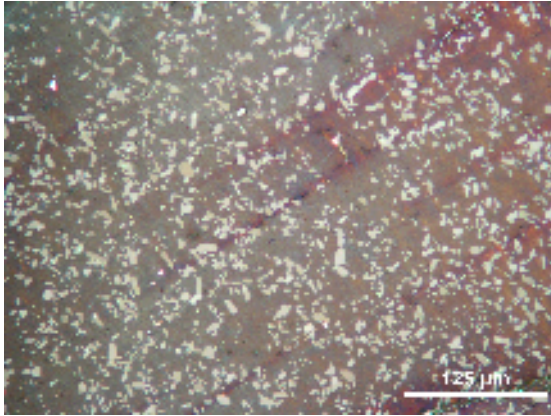
(h)

$$x = 0.2, y = 0.09$$

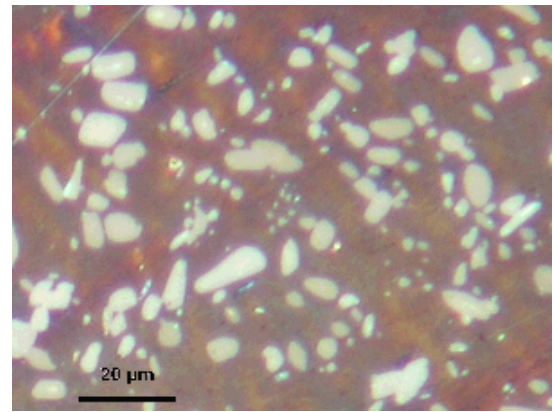




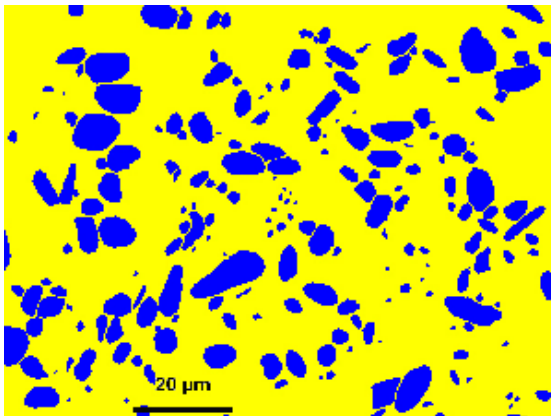
**Şekil 4.9:**  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-d}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmede polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d) Y211 parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.



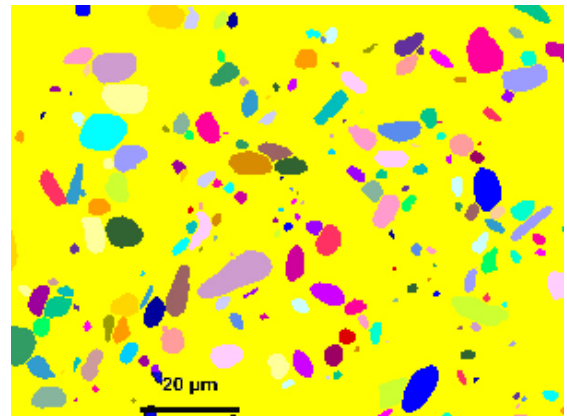
(a)



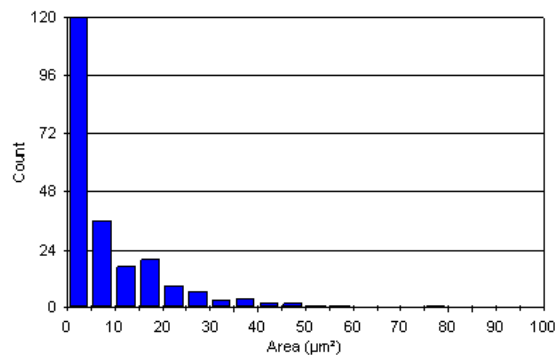
(b)



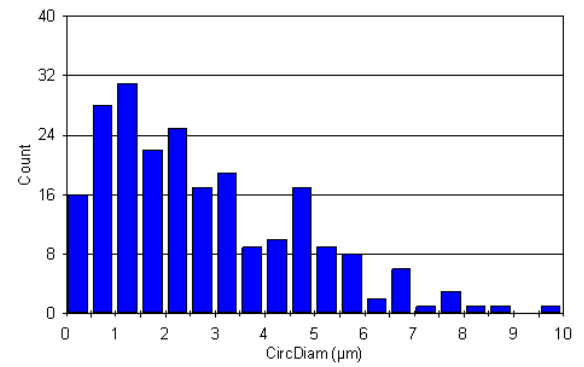
(c)



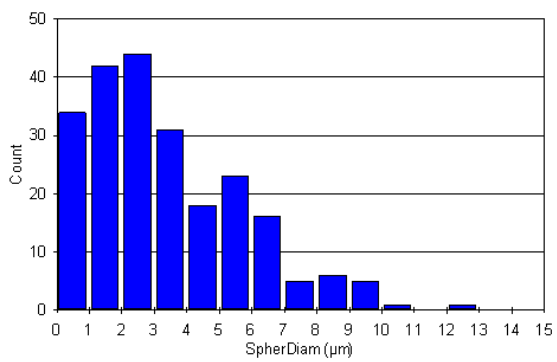
(d)



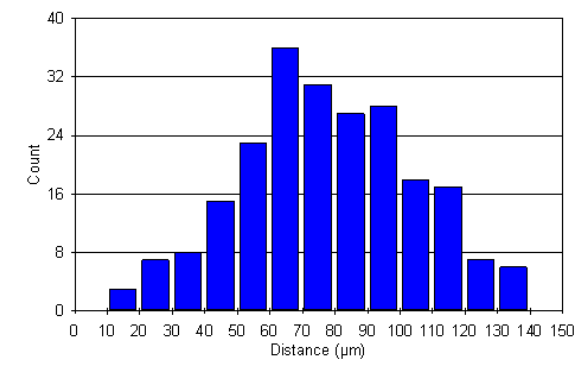
(e)



(f)

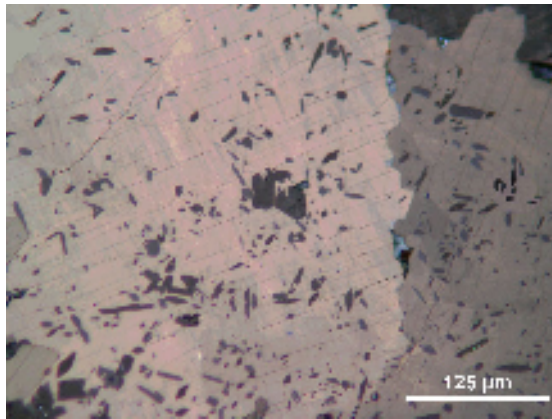


(g)

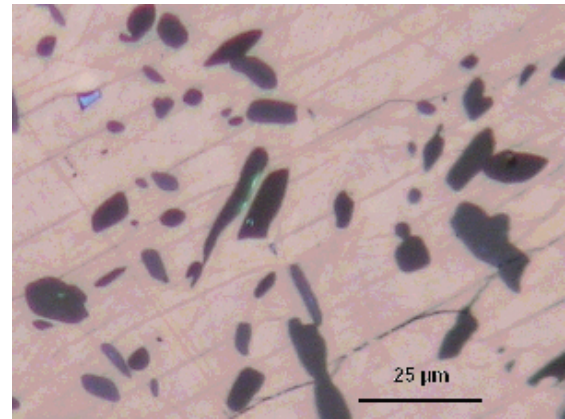


(h)

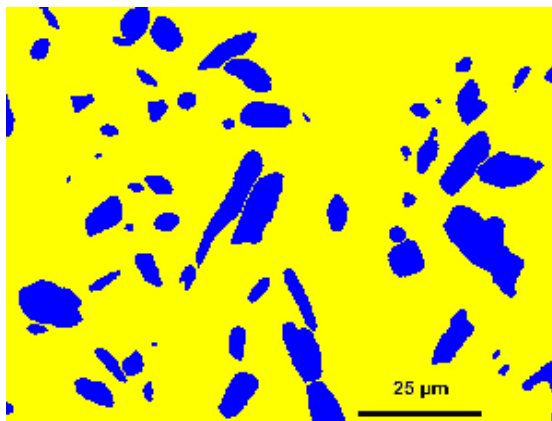
$x = 0.4, y = 0$



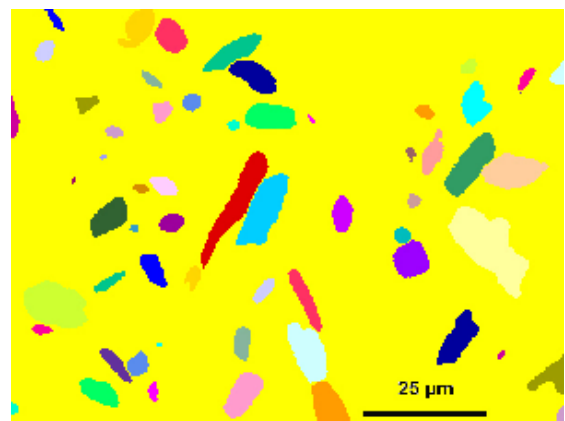
(a)



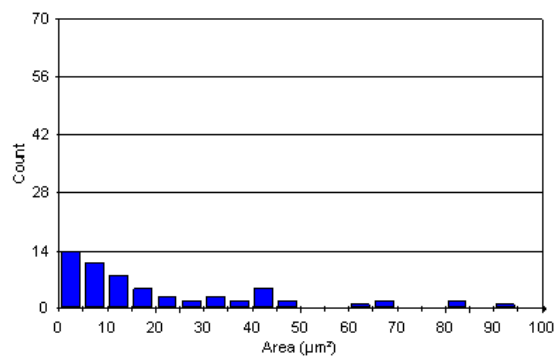
(b)



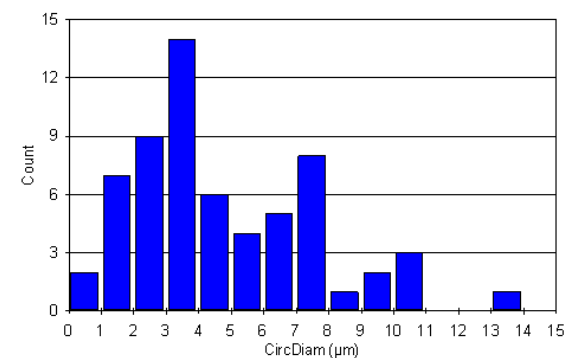
(c)



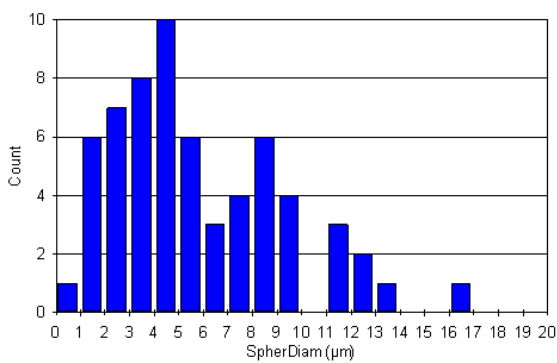
(d)



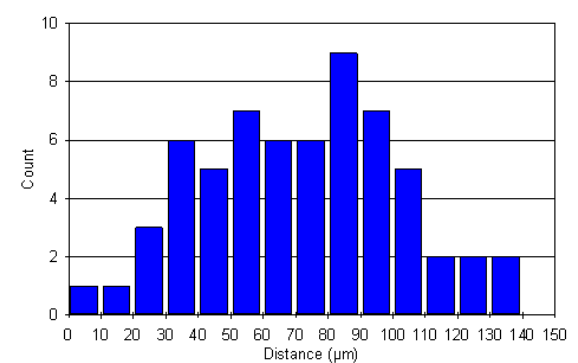
(e)



(f)



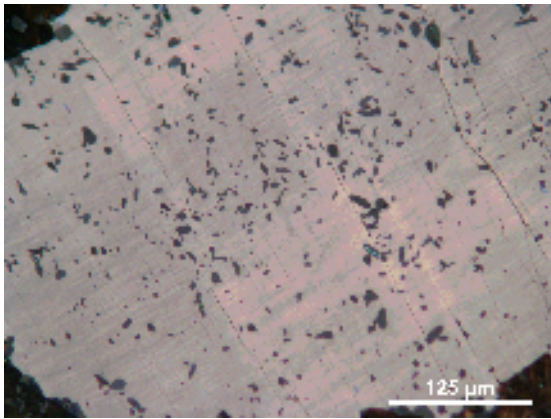
(g)



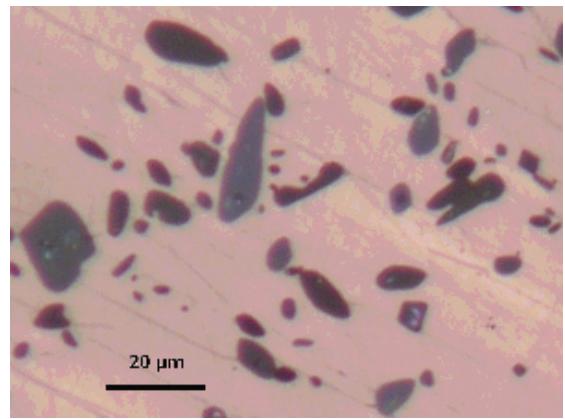
(h)

$x = 0.4, y = 0.03$

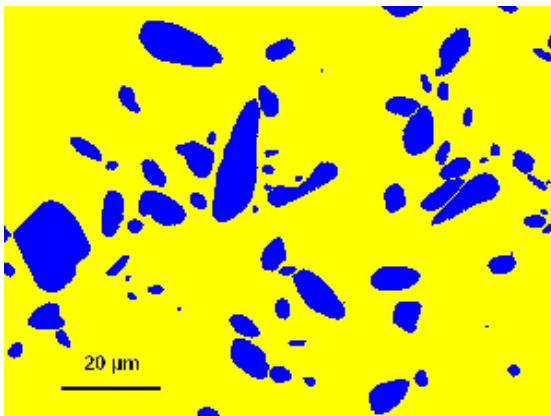




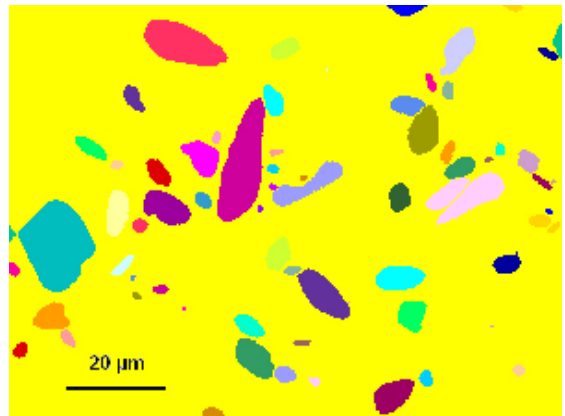
(a)



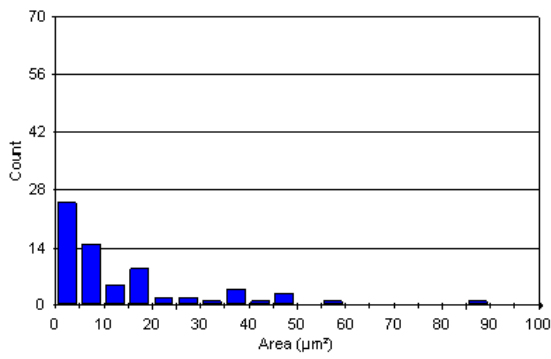
(b)



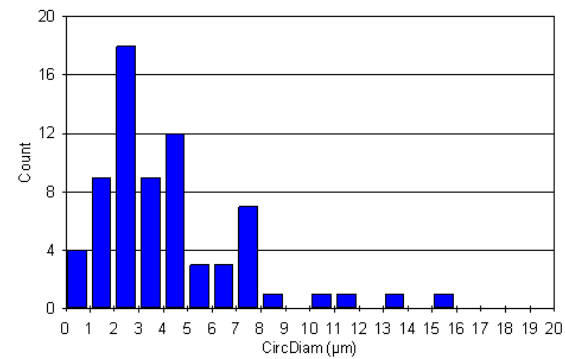
(c)



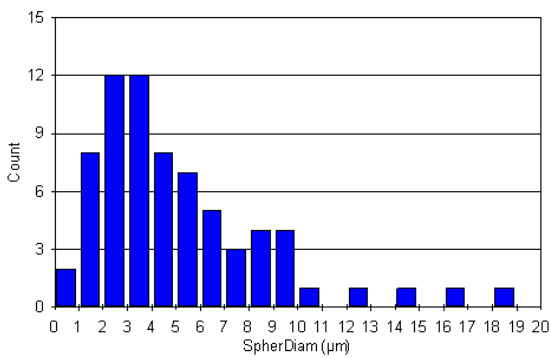
(d)



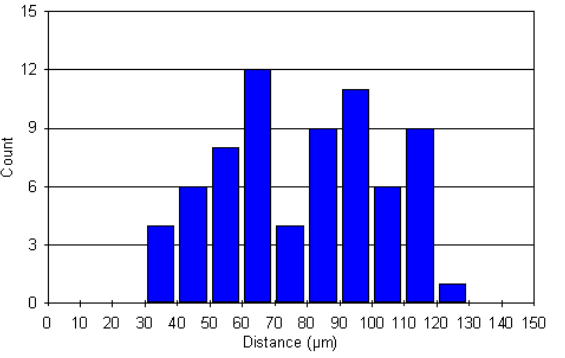
(e)



(f)

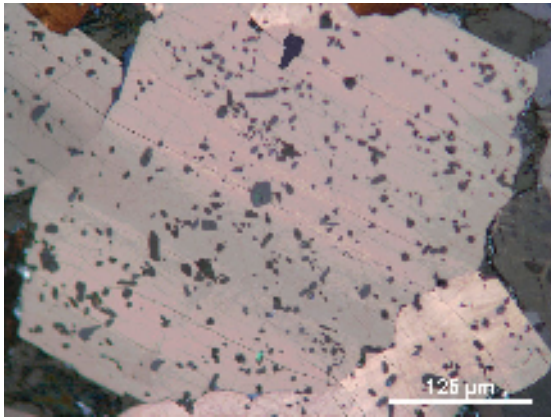


(g)

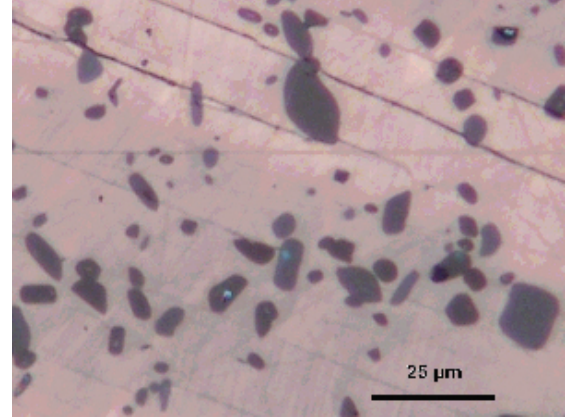


(h)

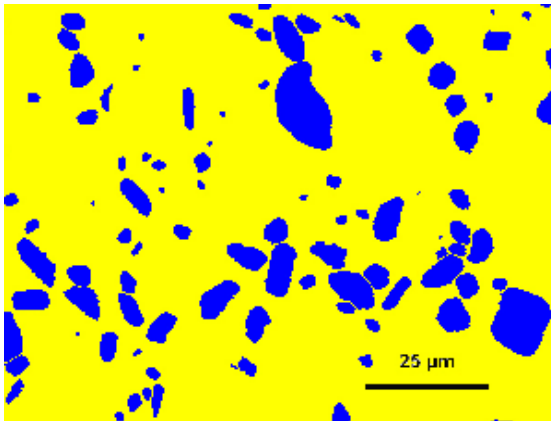
$x = 0.4, y = 0.06$



(a)



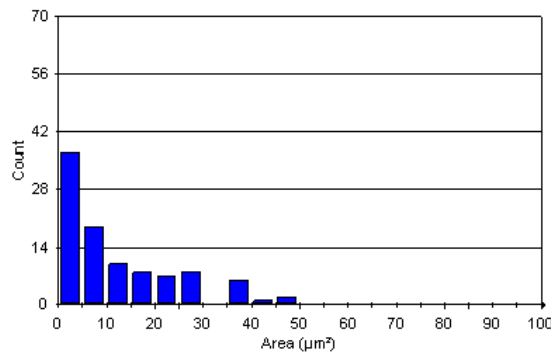
(b)



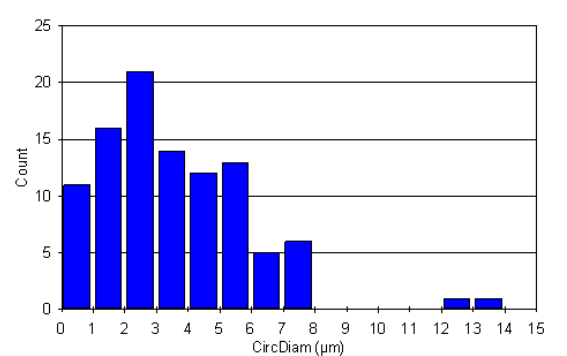
(c)



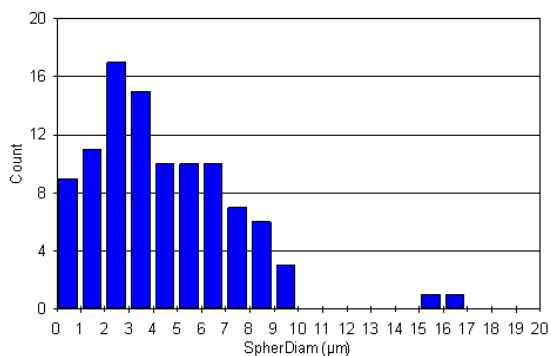
(d)



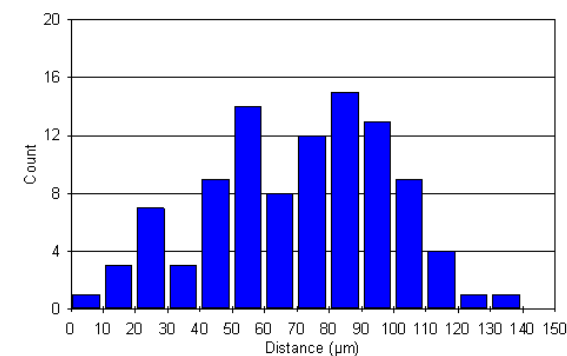
(e)



(f)

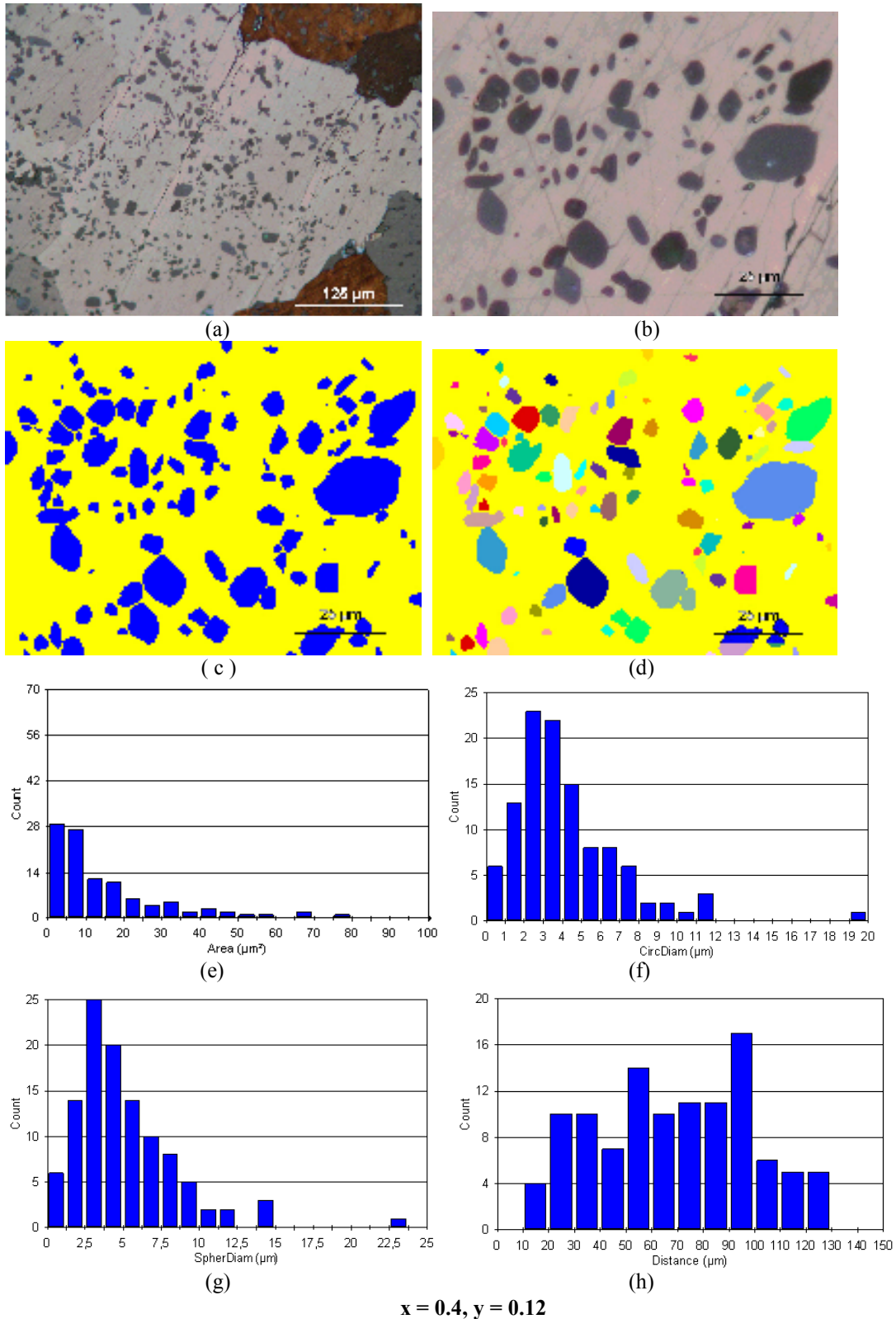


(g)

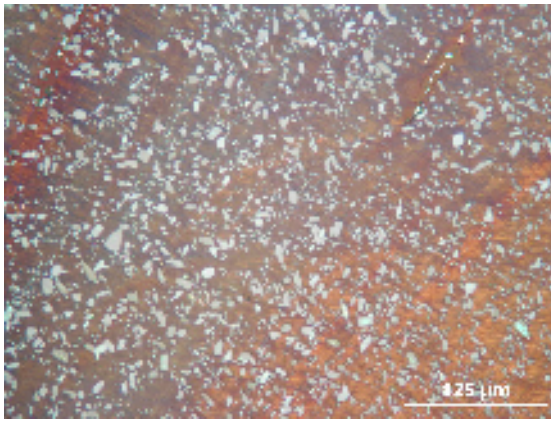


(h)

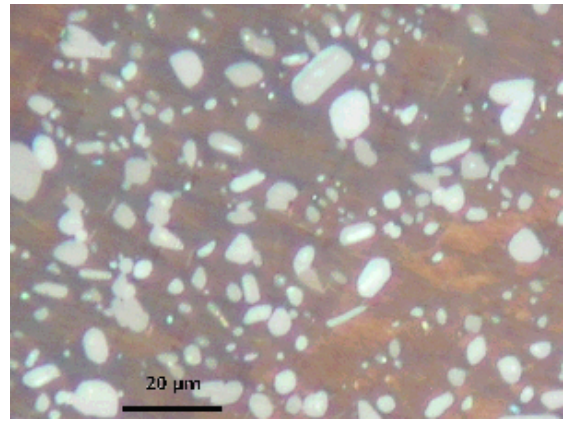
**x = 0.4, y = 0.09**



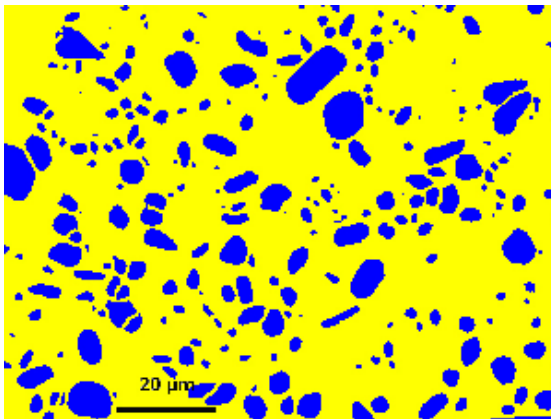
**Şekil 4.10:**  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin taneleri içinde  $Y_{211}$  parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmde polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d)  $Y_{211}$  parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla  $Y_{211}$  parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.



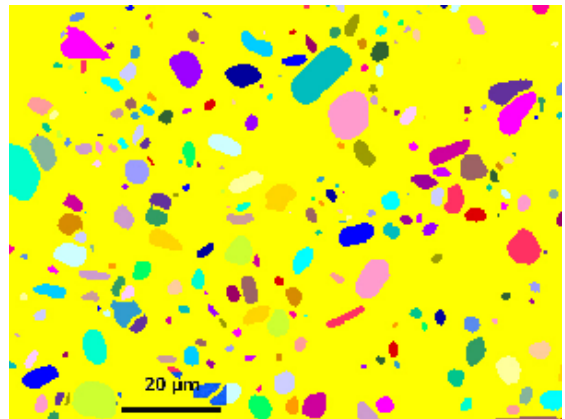
(a)



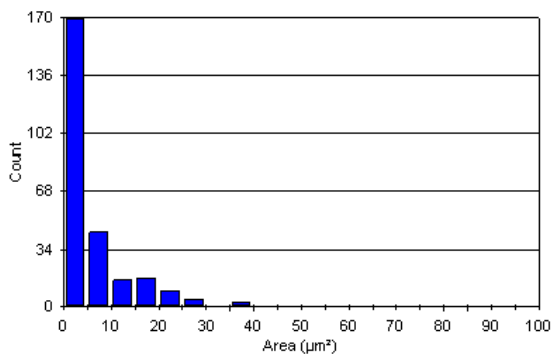
(b)



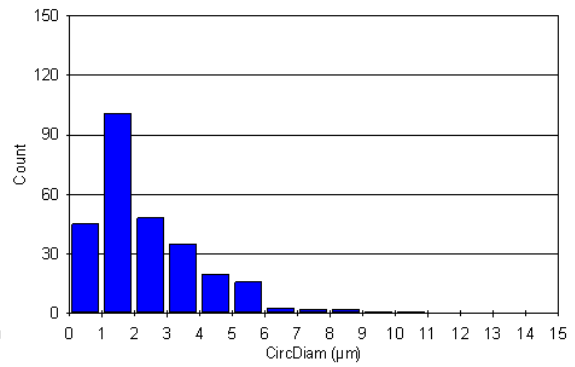
(c)



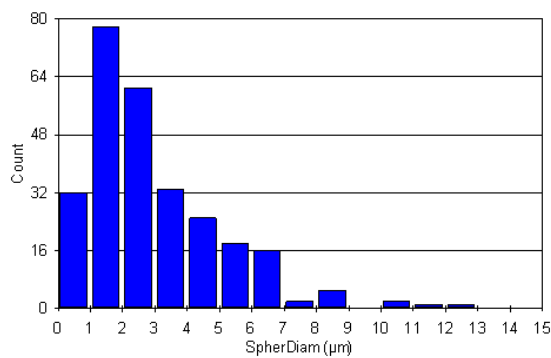
(d)



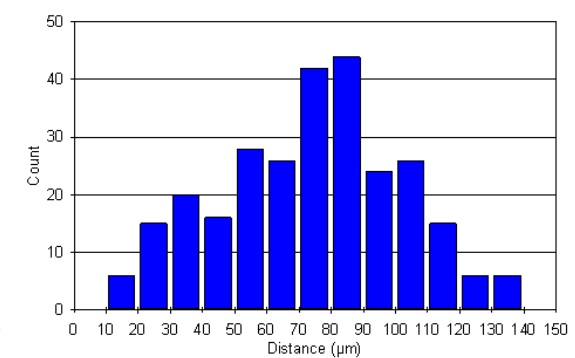
(e)



(f)



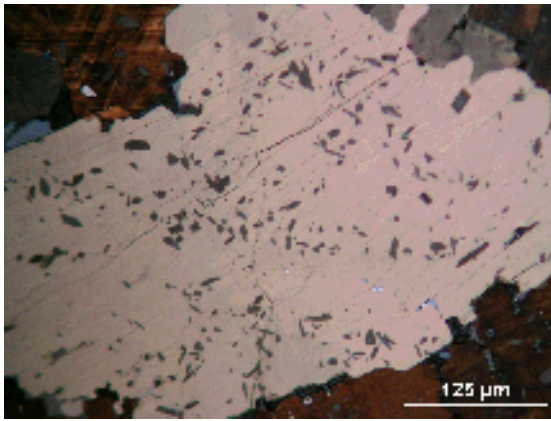
(g)



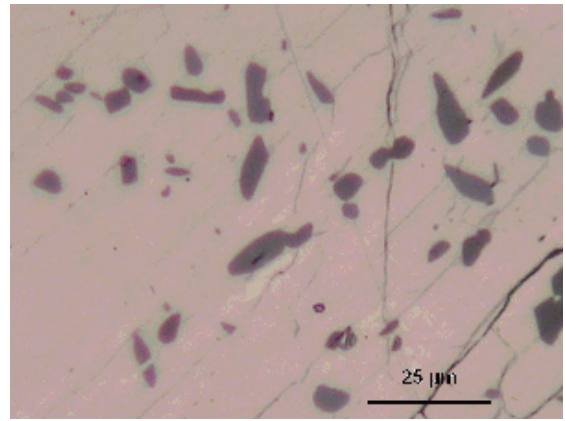
(h)

**x = 0.6, y = 0.0**

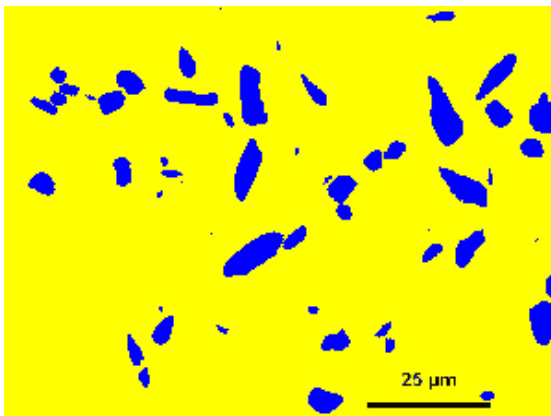




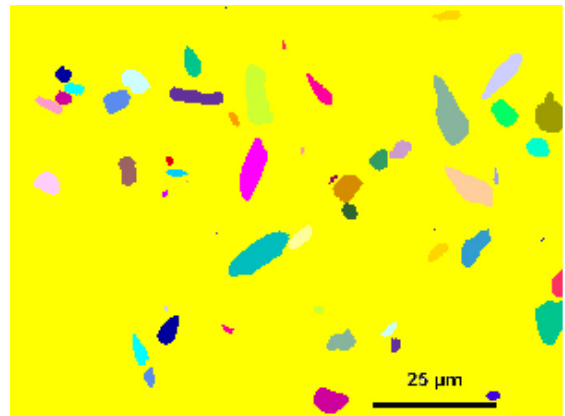
(a)



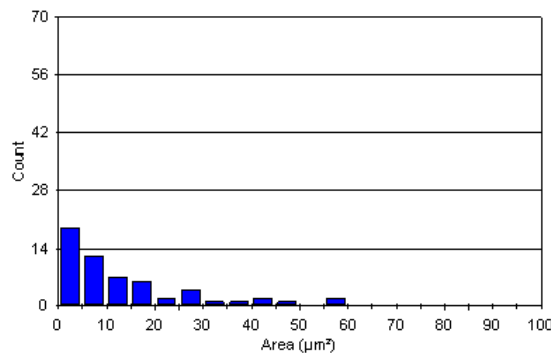
(b)



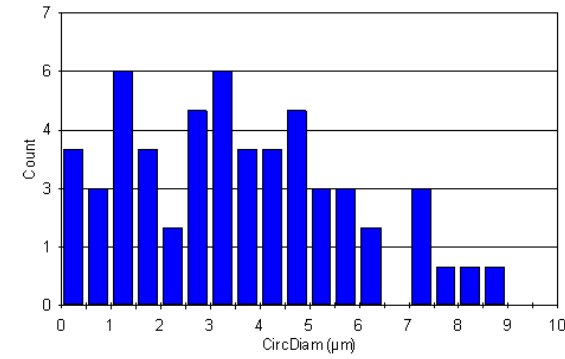
(c)



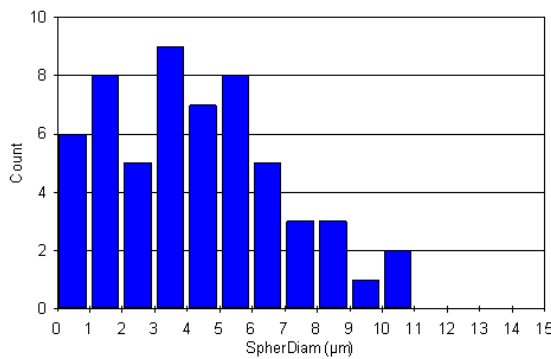
(d)



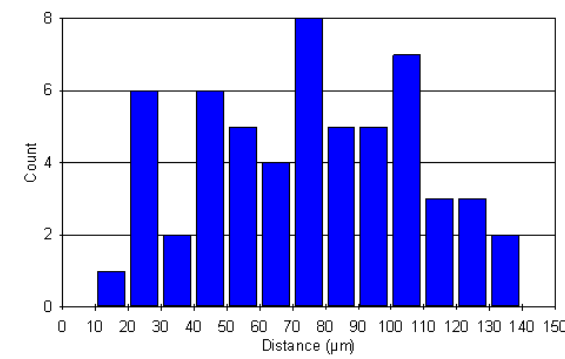
(e)



(f)



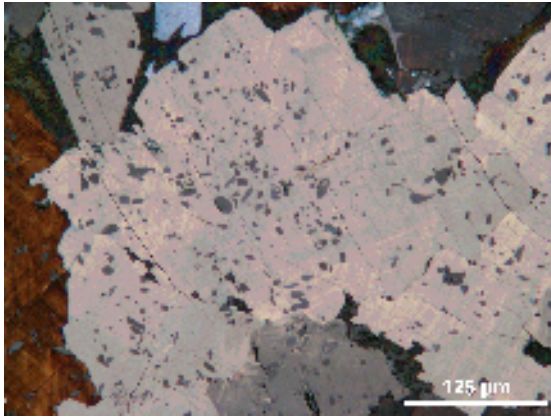
(g)



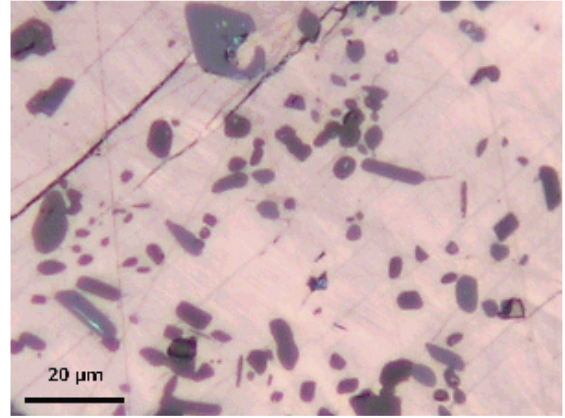
(h)

$x = 0.6, y = 0.03$

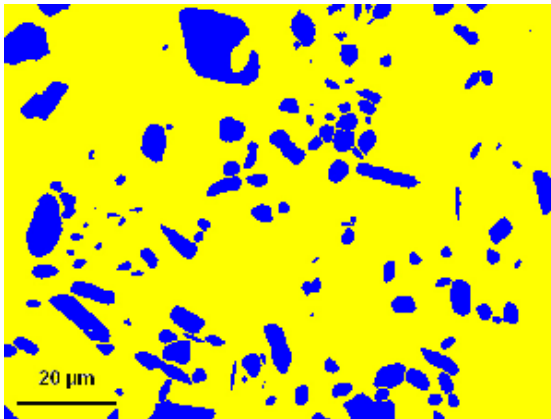




(a)



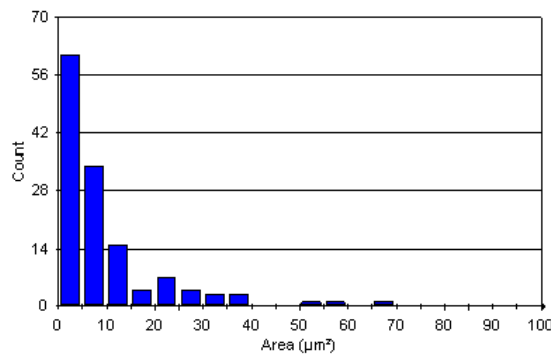
(b)



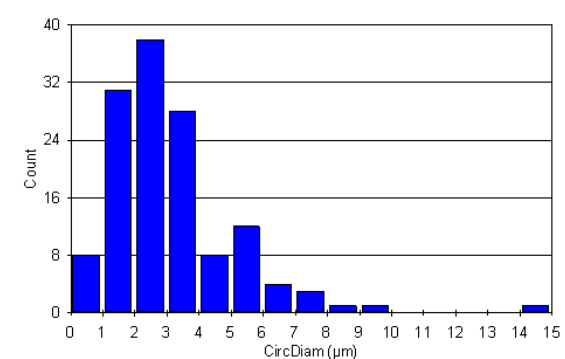
(c)



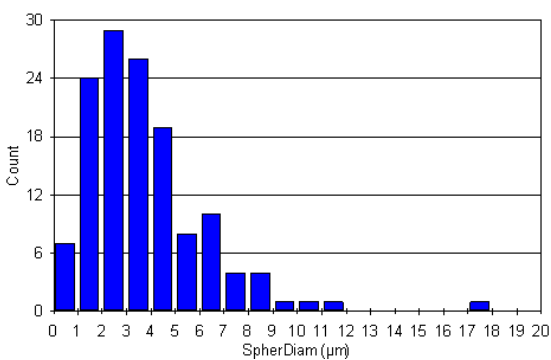
(d)



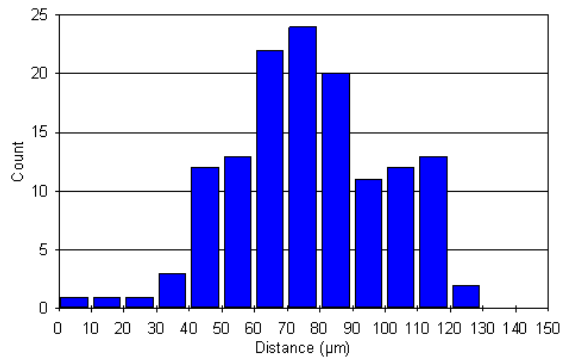
(e)



(f)

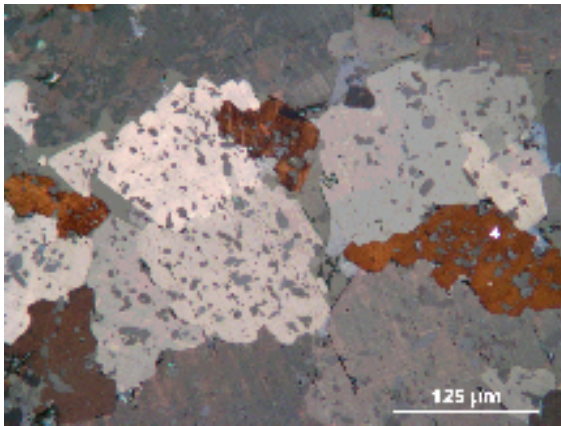


(g)

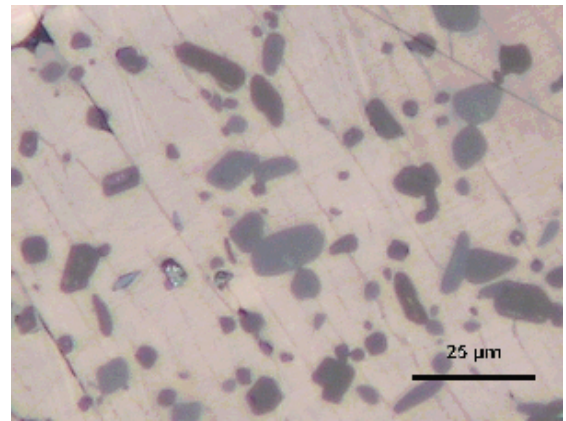


(h)

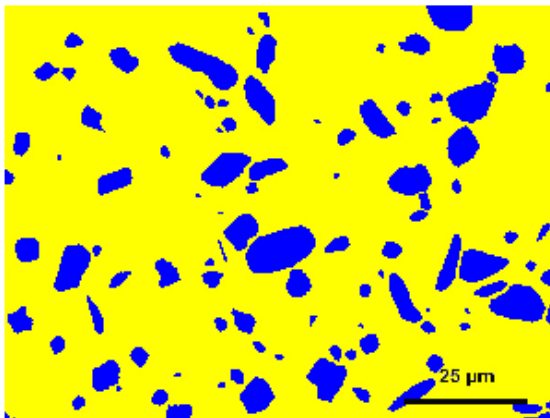
$x = 0.6, y = 0.06$



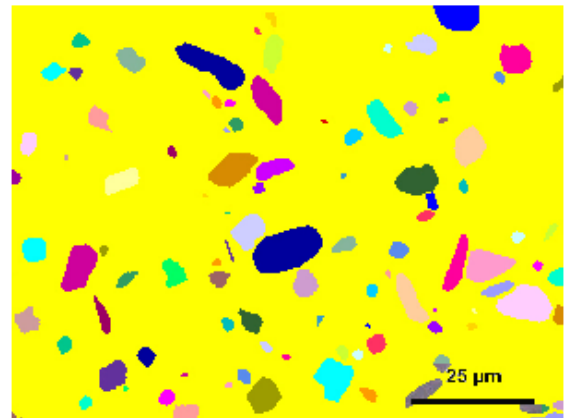
(a)



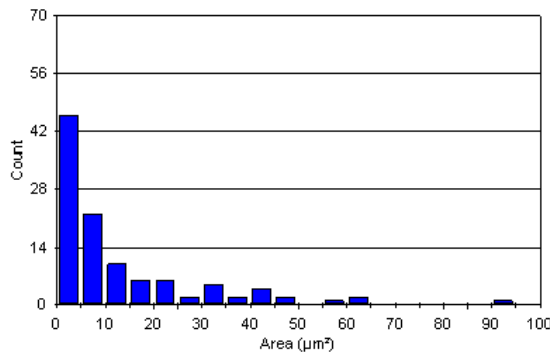
(b)



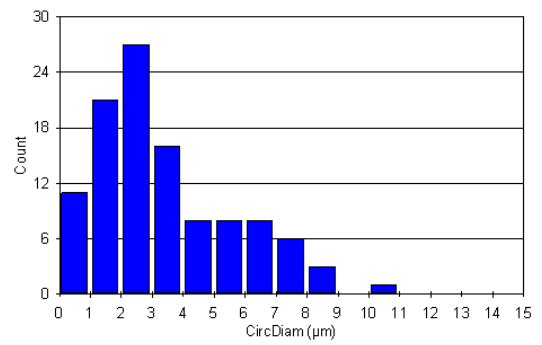
(c)



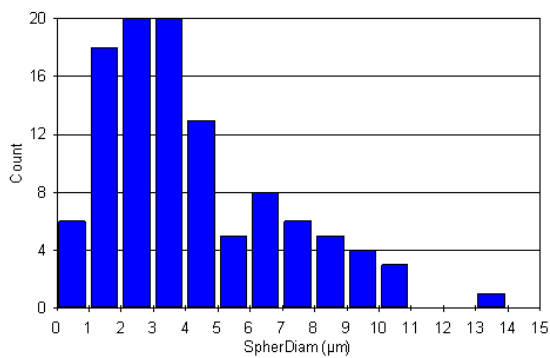
(d)



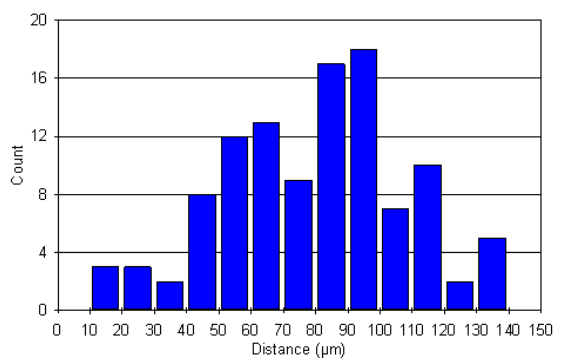
(e)



(f)

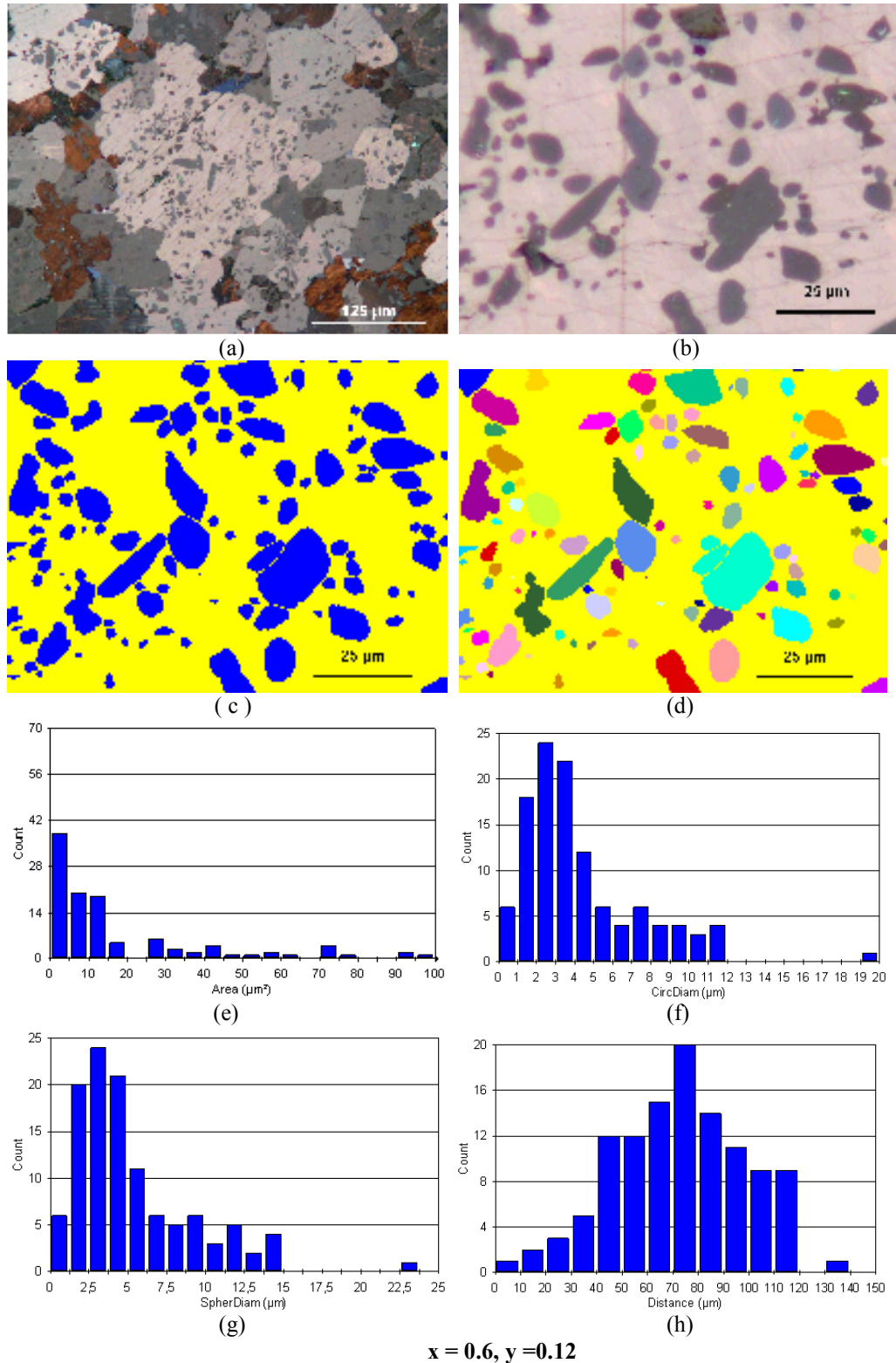


(g)



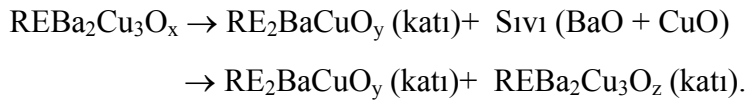
(h)

$x = 0.6, y = 0.09$



**Şekil 4.11**  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-d}$  ( $y = 0.00, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımı. a) ve b) iki farklı büyütmede polarize ışık mikroskop fotoğrafları, c) Şekil b de verilen fotoğrafın Clemex programında istatistik analiz yapılacak hale getirilmiş hali. d) Y211 parçacıklarının farklı yönelimini gösteren şekil. e), f), g) ve h) sırasıyla Y211 parçacıklarının büyüklüklerine, dairesel çaplarına, küresel çaplarına ve aralarındaki mesafelere göre sayısal dağılımı.

RE-Ba-Cu-O süperiletkenler peritektik reaksiyona dayandırılan eritme yöntemi teknikleriyle üretilir (Jin vd 1988, Murakami 1992, Schmitz ve Nestler, 1998, Salama ve diğ., 1989, Salama ve Lee, 1994, Diko 2000, Zhou vd 2001, Cloots vd 2005). Bu teknikte sinterlenmiş YBCO numuneler eritme ve ayrıştırma için hızlı bir şekilde peritektik sıcaklık olarak bilinen  $T_p$  ( $\approx 1010$  °C) sıcaklığın üzerindeki bir sıcaklığa (1050 – 1200 °C) ısıtılır (bu sıcaklıkta RE123, katı RE211 ve sıvı faza ayrışır), sonra peritektik sıcaklığın altına yavaş soğutma ile katılaşma reaksiyonu gerçekleşir;



Bu reaksiyon sonucunda RE211 parçacıkları RE123 matrisi içine dağılır. RE211 parçacıklarının büyüklüğü koherens uzunluğa veya kuantumlanmış fluxoidin çapına göre daha büyüktür. Bu sebepten RE123/RE211 ara yüzeyi bir akı sabitleme yeri sağlar (Murakami 2000a). Y-Ba-Cu-O da  $J_c$  akım yoğunluğunun  $V_{211}/d_{211}$  ile orantılı olduğu gösterilmiştir (Murakami 1992). Burada  $V_{211}$  ve  $d_{211}$  sırasıyla 211 parçacıklarının hacim oranı ve ortalama büyüklüğü (ortalama çapı) dır.  $V_{211}/d_{211}$  oranı birim hacim başına RE211/RE123 ara yüzeyinin efektif (etkili) yüzey alanıdır. Bu yüzden, akı sabitlemesini artırmak için RE211 parçacıklarının ince dağılımına ihtiyaç duyulur. RE211 parçacıklarının büyüklüğünü inceltmede ve dolayısıyla akım yoğunluğunu iyileştirmede RE123'e platin (Ogava vd 1991) ve  $\text{CeO}_2$  (Kim ve McGinn 1994) katılmasının etkili olacağı bilinmektedir.

Balk YBCO veya REBCO içinde küçük 211 parçacıklarının homojen bir dağılımının yüksek manyetik alanlarda kullanılabilen daha iyi süperiletken malzeme yapımı için de çok önemli olduğuna inanılır (Murakami vd 1991, Nikolo 1993, Lee vd 1992, Matsushita 2000). 211 normal faz parçacıklarının süperiletken tane içerisinde ne kadar ince (küçük) ve homojen dağılmışsa süperiletken malzemenin manyetik özellikleri o ölçüde iyileşir. Y123 matrisi içinde ince ve homojen dağılmış 211 parçacıkları hazırlamak için çeşitli araştırmacılar tarafından değişik metodlar geliştirilmiştir (Zhou vd 2001, Chen vd 2002, Zhao vd 2000, Meignan ve McGinn 1997, Li vd 2006). Birkaç tesla manyetik alan altında  $10^4$  A/cm<sup>2</sup> değerini aşan kritik akım yoğunluklu Y-Ba-Cu-O süperiletkenlerinin üretimi için (Jin vd 1988, Salama vd 1989, Murakami vd 1989, Zhou

vd 1990, McGinn vd 1990) yaygın bir şekilde kullanılan MTG (Melt Texture Growth) yönteminin (Jin vd 1988) geliştirilmesinden bu yana, eritme metoduyla üretilen Y-Ba-Cu-O sisteminin mikro yapısı oksit süperiletkenlerin akı sabitleme mekanizmasını anlamak amacıyla 1990'lı yıllarda yoğun bir şekilde çalışıldı (Yamaguchi vd 1990, 1991, Wang vd 1993, Zanota vd 1993, Alexander vd 1992, Mironova vd 1993, Shi vd 1990, Wang vd 1990, Zhang vd 1995a,b, Sandiumenge vd 1994, Kim vd 1996). Bu çalışmaların sonucu olarak, Y123 bölgesi içinde dönüşüm ikizlenmeleri, yığılma hataları, dislokasyonlar ve oksijen eksiklikleri gibi çeşitli mikroyapısal kusurlar gözlemlendi ve bu kusurlar YBCO malzemeler için akı sabitleme yerleri olarak teklif edildi. Bunlara ilave olarak, eritme yöntemiyle üretilen  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  (Y123) içine süperiletken olmayan  $Y_2BaCuO_5$  (Y211) fazı katılarak  $J_c$  akım yoğunluğunun artırılacağı rapor edildi (Murakami vd 1990, 1992). Murakami ve arkadaşları (1990), ince 211 parçacıkları ihtiva eden eritme yöntemiyle üretilmiş Y123 süperiletken malzemesinin  $J_c$  akım yoğunluğunun Y123 bölgesine gömülmüş Y211 parçacıklarının miktarıyla yakından ilgili olduğunu gösterdiler. Lee ve arkadaşları da (1992),  $J_c$  akım yoğunluğunun en yüksek değeri için kritik bir Y211 büyüklüğü ve miktarı olduğunu rapor ettiler.

Yamaguchi ve arkadaşları (1990, 1991) yapmış oldukları mikroyapısal incelemelerin sonucu olarak, Y123/Y211 ara yüzeylerinin ince bir amorf tabakanın varlığı dışında temiz ve keskin olduğunu, Y123 ile Y211 arasında atomik uyumsuzluk olmadığını ve kristalografik kusurların gözlenmediğini söylediler. Bu sebepten, Y123/Y211 ara yüzeylerinin bir akı sabitleme yeri olarak rol yapacağını öne sürdüler. Bu görüş Sandiumenge ve arkadaşları (1994) tarafından da desteklendi. Bu görüşün aksine, diğer araştırmacıların yapmış oldukları mikroyapısal incelemeler (Wang vd 1993, Mironova vd 1993, Wang vd 1990, Kim vd 1996, Zhang vd 1995a,b) Y123/Y211 ara yüzeyinde çeşitli dislokasyonlar ve yığılma hataları gibi kristalografik yapı kusurları ve Y211 etrafındaki Y123 fazı bölgesinin yitriumca zenginleşmesi, baryumca fakirleşmesi gibi kimyasal kusurların bulunduğunu ortaya koydu. Bu kusurlar da akı sabitleme yerleri olarak öne sürüldü (Wang vd 1993, Zhang vd 1995a,b).

Şekil 4.7  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) numunelerinin taneleri içinde (Y,Ho)211 parçacıklarının dağılımını gösterir. Şekil 4. 7 a ve b de taneler içerisine ince bir şekilde dağılmış olan gri renkli fazlar ve Şekil 4. 7 c mavi renkli fazlar (Y,Ho)211



normal fazıdır. Bu fotoğraflar karşılaştırılırsa yitrium yerine holum katkı oranı artarken (Y,Ho)211 parçacıklarının sayısının arttığı, boyutlarının küçüldüğü, tane içinde dağılımının daha homojenleştiği ve parçacık şeklinin iğnemi veya çubuksu şekilden küresel bir şekle dönüştüğü açıkça görülmektedir. Eğer RE211/RE123 ara yüzeyleri ve RE211 etrafında oluştuğu bilinen mikro kusurlar akı sabitleme yerleri olarak düşünülürse; küresel şekildeki 211 parçacıkları, hem birim hacim başına daha fazla yüzey alanına, hem de etraflarında daha yüksek kusur yoğunluklarına sahip olacakları için iğnemi veya çubuksu şekildeki 211 parçacıklarına göre, bu durum bir iyileşme olarak görülebilir (Kim vd 1996). Şekil 4.7 d de 211 parçacıklarının farklı renkler almaları, onların tane içerisinde farklı yönlerde yönlendiklerini gösterir. Şekil 4.7 e de görüldüğü gibi Ho katkı oranı arttıkça 211 parçacıklarının sayısı artmakta, alanı küçülmektedir.  $x= 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$  Ho katkı oranları için 211 parçacık sayıları  $9168.9 \mu\text{m}^2$  lik alanda sırasıyla 106, 199, 226, 274, 325 olurken alanı  $5 \mu\text{m}^2$  den küçük parçacıkların sayısı sırasıyla 51, 93, 120, 173, 232 olmaktadır. Şekil 4.7 f ve g de parçacıkların sırasıyla dairesel ve küresel çaplarına göre dağılımı verilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü gibi çapları  $1 \mu\text{m}$  den küçük parçacıkların sayısı, çapları  $1-2 \mu\text{m}$  arasında olan parçacıkların sayısından daha azdır. Çapları  $1-2 \mu\text{m}$  olan parçacık sayısı, çapları  $2 \mu\text{m}$  den büyük parçacıkların sayısından da daha fazladır. 211 parçacıklarının çapı  $2 \mu\text{m}$  den itibaren arttıkça sayıları üstele yakın bir şekilde azalmaktadır.  $x= 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$  Ho katkı oranları için 211 parçacıklarının ortalama dairesel çapları sırasıyla 3.26, 3.13, 2.77, 2.44, 2.05  $\mu\text{m}$ , ortalama küresel çapları 3.99, 3.83, 3.40, 2.98, 2.51  $\mu\text{m}$  dir. Şekil 4.7 h dan görüldüğü gibi  $x=0.4$  Ho katkı oranından itibaren parçacıkların tane içindeki dağılımı daha homojen hale gelmektedir.  $x= 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$  katkı oranları için 211 parçacıkları arasındaki ortalama mesafe sırasıyla 72.3, 73.0, 78, 73.8, 73.7  $\mu\text{m}$  dir.

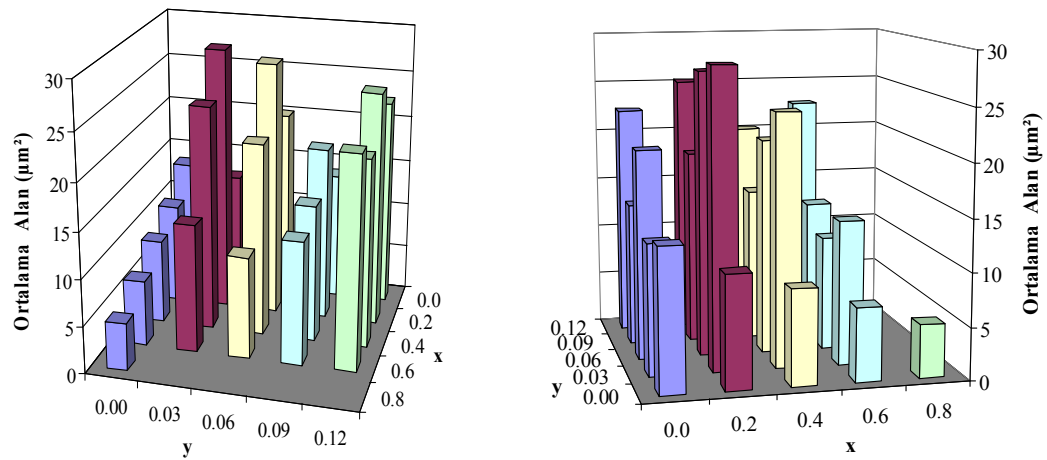
Şekil 4.18  $\text{YBa}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinin taneleri içinde Y211 parçacıklarının dağılımını gösterir. Şekil 4.8 a, b ve c den görüldüğü gibi vanadyum katkısı 211 parçacıklarının sayısını önce azaltmış sonra vanadyum katkı oranı artarken adım adım yükseltmiştir. 211 parçacıklarının şekli vanadyum katkı oranı arttıkça iğnemi veya çubuksu bir şekilden, küresel bir şekle doğru kaymıştır. 211 parçacıkları tercihli bir yönelime sahip değildir, rasgele yönlendirilmiştir (Şekil 4.8 d). Şekil 4.8 e de Y211 parçacıklarının alanlarına göre dağılımları verilmiştir.  $y = 0.09$

vanadyum katkı oranına kadar alanı  $5 \mu\text{m}^2$  den küçük parçacıkların sayısı, alanı  $5 \mu\text{m}^2$  ile  $10 \mu\text{m}^2$  arasında olan parçacıkların sayısından daha fazladır ve 211 parçacıkların alanları büyüdükçe sayıları hızla azalmaktadır.  $y = 0.12$  numunesinde ise, diğer numunelerin aksine alanı  $5 \mu\text{m}^2$  ile  $10 \mu\text{m}^2$  arasında olan parçacıkların sayısı, alanı  $5 \mu\text{m}^2$  den küçük parçacıkların sayısından daha fazladır ve  $10 \mu\text{m}^2$  den sonra diğer numunelerde olduğu gibi alan arttıkça parçacık sayısı hızla azalmaktadır. Vanadyum katkı oranı artarken Y211 parçacıklarının ortalama alanı sırasıyla  $13,5 \mu\text{m}^2$ ,  $12,5 \mu\text{m}^2$ ,  $20,1 \mu\text{m}^2$ ,  $13,8 \mu\text{m}^2$ ,  $22,8 \mu\text{m}^2$  şeklinde, alanı  $5 \mu\text{m}^2$  den küçük olan parçacıkların sayısı 51, 26, 31, 32, 17 şeklinde, alanı  $5 \mu\text{m}^2$  ile  $10 \mu\text{m}^2$  arasında olan parçacıkların sayısı 18, 9, 17, 27, 28 şeklinde ve alanı  $5 \mu\text{m}^2$  den küçük parçacıkların sayısının alanı  $5 \mu\text{m}^2$  ile  $10 \mu\text{m}^2$  arasında olan parçacıkların sayısına oranı ise 2.83, 2.88, 1.82, 1.18, 0.6 şeklinde değişmektedir. Buradan genel olarak, vanadyum katkı oranı artarken Y211 parçacıklarının irileştiği sonucu çıkarılabilir. Y211 parçacıklarının dairesel ve küresel yarıçaplarına göre dağılımları sırasıyla Şekil 4.8 f ve g de, aralarındaki mesafeye göre dağılımları ise Şekil 4.8 h da verildi. Vanadyum katkı oranları  $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$  için Y211 parçacıklarının ortalama dairesel çapları sırasıyla 3.26, 3.43, 4.28, 3.71, 4.51  $\mu\text{m}$  ortalama küresel yarıçapları 3.99, 4.20, 5.25, 4.54, 5.52  $\mu\text{m}$  ve aralarındaki ortalama mesafe de 72.3, 73.5, 78.4, 68.2, 70.5  $\mu\text{m}$  dir.

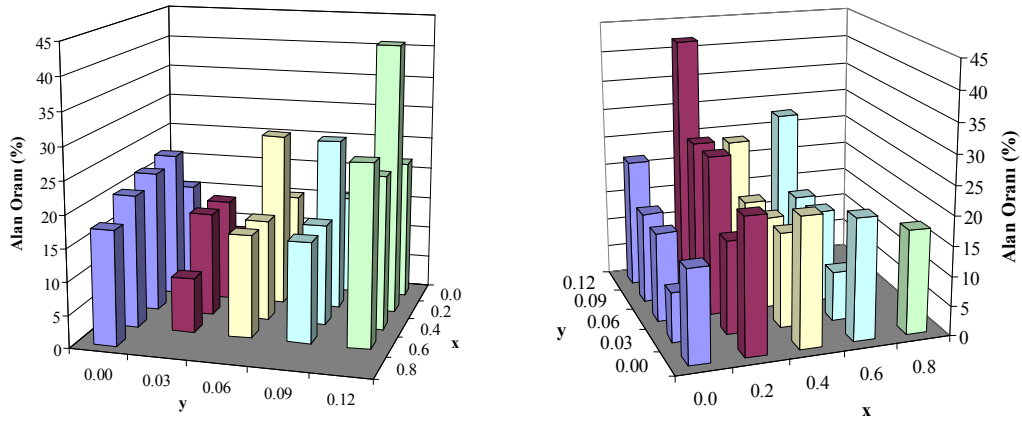
Şekil 4.9 – 4.10 - 4.11 den görüldüğü gibi, yitriyum yerine 0.2, 0.4 ve 0.6 oranlarında holyum ihtiva eden  $\text{Y}_{0.8}\text{Ho}_{0.2}\text{Ba}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ),  $\text{Y}_{0.6}\text{Ho}_{0.4}\text{Ba}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) ve  $\text{Y}_{0.4}\text{Ho}_{0.6}\text{Ba}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numunelerinde Cu yerine  $y = 0.03$  oranında V katkısıyla (Y,Ho)211 parçacıklarının sayısı önce önemli derecede azalmış ve sonra vanadyum katkı oranı artarken (Y,Ho)211 parçacıkları hem irileşmiş hem de sayıları artmıştır.  $\text{Y}_{1-x}\text{Ho}_x\text{Ba}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  numunelerinin (Y,Ho)211 parçacık sayılarının  $\text{Y}_{1-x}\text{Ho}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  numunelerinin parçacık sayısına oranları  $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$  vanadyum katkı oranları için sırasıyla,  $x = 0.2$  numunelerinde 1.0, 0.261, 0.462, 0.668, 0.784,  $x = 0.4$  numunelerinde 1.0, 0.274, 0.310, 0.442, 0.487 ve  $x = 0.6$  numunelerinde 1.0, 0.208, 0.492, 0.398, 0.416 dir. Aynı numunelerdeki (Y,Ho)211 parçacıklarının ortalama alanları için benzer oranlar  $x = 0.2$  numunelerinde 1.0, 2.66, 2.56, 1.75, 2.35,  $x = 0.4$  numunelerinde 1.0, 2.67, 2.29, 1.63, 2.24 ve  $x = 0.6$  numunelerinde 1.0, 1.96, 1.56, 1.89, 3.24 dir.  $\text{Y}_{0.8}\text{Ho}_{0.2}\text{Ba}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{Y}_{0.6}\text{Ho}_{0.4}\text{Ba}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  ve  $\text{Y}_{0.4}\text{Ho}_{0.6}\text{Ba}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}$

$O_{7-8}$  numuneleri için de (Y,Ho)211 parçacıkları tercihli bir yönelime sahip değildir, rasgele yönlenmişlerdir.

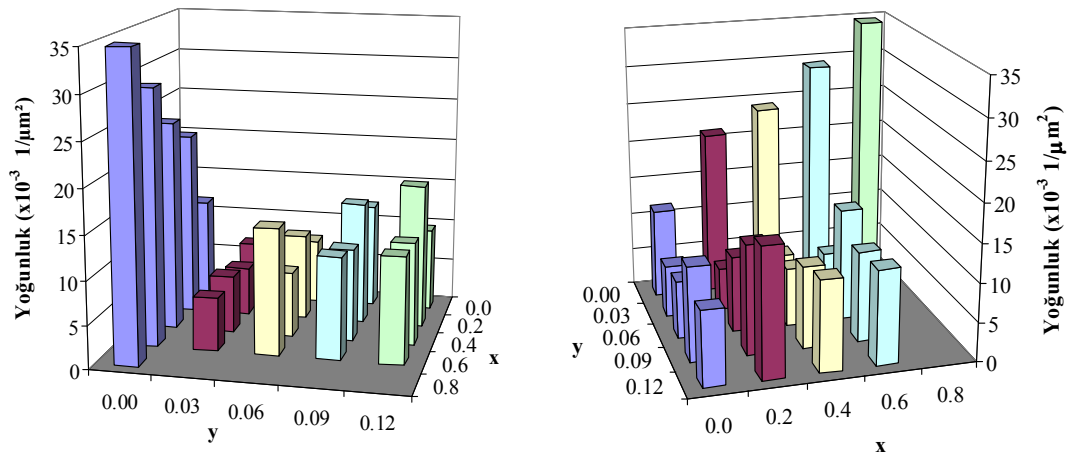
Bütün  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-8}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ )( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) numuneleri için (Y,Ho)123 süperiletken fazının taneleri içine hapsedilmiş olan (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının ortalama alanlarına, alan yüzdelere, yoğunluklarına, sayılarına, aralarındaki ortalama mesafeye, küresel çaplarına ve dairesel çaplarına göre dağılımları sırasıyla Şekil 4.12 - Şekil 4.18 ve Tablo 4.1 de verildi. Tablo 4.1 de verilen değerler, Şekil 4.7 - Şekil 4.11 a ve b de verilen mikroskop fotoğraflarından Clemex adlı mikroskop programı kullanılarak hesaplandı. 211 parçacıklarının büyüklüğü, dağılımı, yönelimi, şekli, istatistiği ve akı sabitleme merkezi olarak rolü ile ilgili çok kapsamlı çalışmalar yapılmıştır (Varanasi vd 1994, Salama ve Lee 1994, Diko 1995, Kim vd 1996, 1997a, Durand vd 1996, Endo ve Shiohara 1997, Yu vd 1997, Chow vd 1998, Vandewalle vd 1998, Muralidhar vd 1999, Kim ve Hong 1999, Zhou vd 2001, Cloots vd 2005, Li vd 2006, Dong vd 2008).



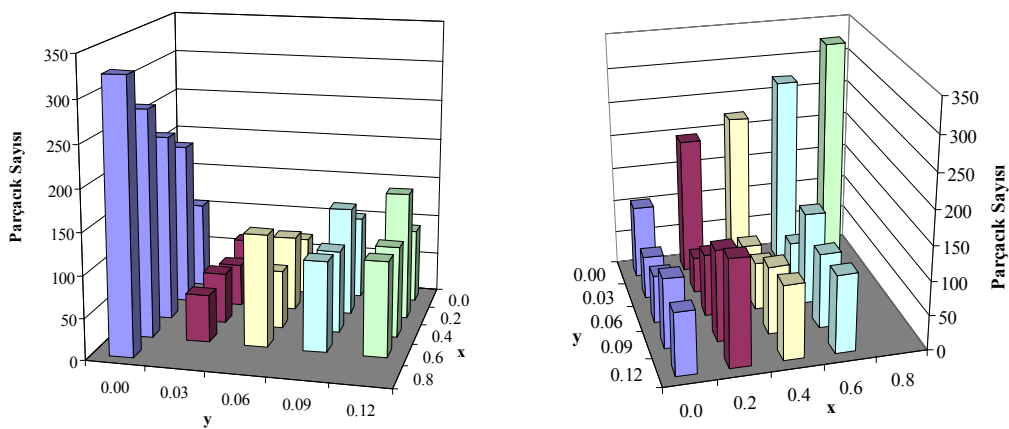
**Şekil 4.12.**  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-8}$  numunelerinde (Y,Ho)123 süperiletken fazının matrisi içerisinde dağılmış olan (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının ortalama alan alanları.



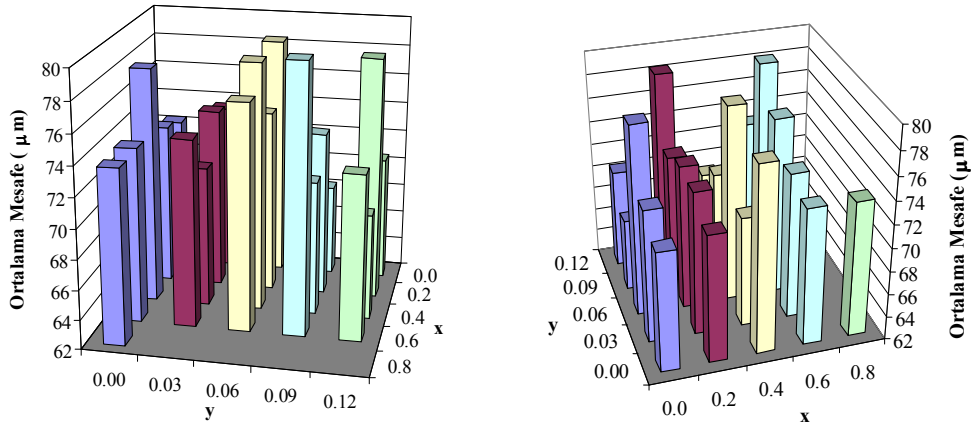
Şekil 4.13.  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde birim yüzey başına düşen (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının toplam alanının (Y,Ho)123 süperiletken fazının toplam alanına oranları.



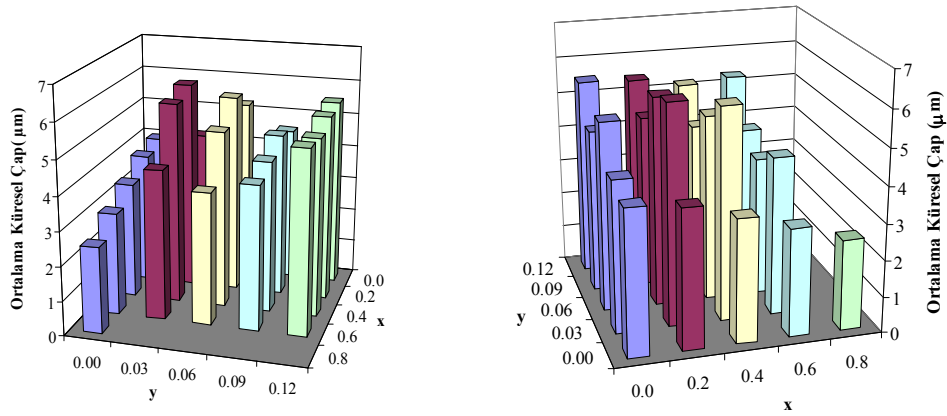
Şekil 4.14.  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının yoğunluğu (birim yüzeye düşen parçacık sayısı).



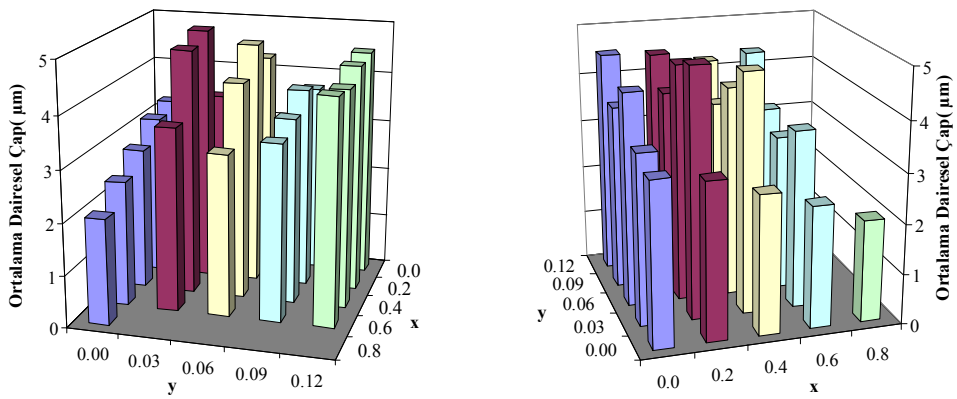
Şekil 4.15.  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının sayısı (fotoğraf yüzeyindeki sayı).



Şekil 4.16  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y,Ho)211 normal faz parçacıkları arasındaki ortalama mesafe.



Şekil 4.17  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının ortalama küresel çapı.



Şekil 4.18  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının ortalama dairesel çapı.



**Tablo 4.1** (Y,Ho)211 parçacıklarının ortalama alanları, alan yüzdeleri, yoğunlukları, sayıları, aralarındaki ortalama mesafe, küresel çapları ve dairesel çapları.

<b>(Y,Ho)211 Parçacıklarının Ortalama Alanı (<math>\mu\text{m}^2</math>).</b>					
Vanadyum katkı oranı (y)	Ho katkı oranı (x)				
	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>
<b>0.00</b>	13,5	10,7	9,02	6,99	5,04
<b>0.03</b>	12,5	28,5	24,1	13,7	
<b>0.06</b>	20,1	27,4	20,7	10,9	
<b>0.09</b>	13,8	18,7	14,7	13,2	
<b>0.12</b>	22,4	25,2	20,2	22,7	
<b>(Y,Ho)211 Parçacıklarının Alan Yüzdesi (%)</b>					
Vanadyum katkı oranı (y)	Ho katkı oranı (x)				
	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>
<b>0.00</b>	15,66	22,82	21,85	20,53	17,54
<b>0.03</b>	8,43	15,87	16,04	8,39	
<b>0.06</b>	15,04	26,97	15,63	15,70	
<b>0.09</b>	15,45	26,70	15,62	15,43	
<b>0.12</b>	21,80	42,07	23,77	27,78	
<b>(Y,Ho)211 Parçacıklarının Yoğunluğu (<math>\times 10^{-3} 1/\mu\text{m}^2</math>)</b>					
Vanadyum katkı oranı (y)	Ho katkı oranı (x)				
	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>
<b>0.00</b>	11,6	21,3	24,2	29,4	34,8
<b>0.03</b>	6,7	5,6	6,6	6,1	
<b>0.06</b>	7,5	9,9	7,5	14,5	
<b>0.09</b>	12,2	14,2	10,6	11,7	
<b>0.12</b>	9,7	16,7	11,8	12,2	
<b>(Y,Ho)211 Parçacıklarının Sayısı</b>					
Vanadyum katkı oranı (y)	Ho katkı oranı (x)				
	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>
<b>0.00</b>	106	199	226	274	325
<b>0.03</b>	63	52	62	57	
<b>0.06</b>	70	92	70	135	
<b>0.09</b>	102	133	100	109	
<b>0.12</b>	91	156	110	114	
<b>(Y,Ho)211 Parçacıklarının arasındaki Ortalama Mesafe (<math>\mu\text{m}</math>)</b>					
Vanadyum katkı oranı (y)	Ho katkı oranı (x)				
	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>
<b>0.00</b>	72,3	73,0	78,0	73,8	73,7
<b>0.03</b>	73,5	74,3	71,5	74,6	
<b>0.06</b>	78,4	74,4	78,8	77,2	
<b>0.09</b>	68,2	73,2	71,1	80,0	
<b>0.12</b>	70,5	78,5	69,1	73,1	
<b>(Y,Ho)211 Parçacıklarının Ortalama Küresel Çapı (<math>\mu\text{m}</math>)</b>					
Vanadyum katkı oranı (y)	Ho katkı oranı (x)				
	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>
<b>0.00</b>	3,99	3,83	3,40	2,98	2,51
<b>0.03</b>	4,20	6,08	5,86	4,36	
<b>0.06</b>	5,25	5,80	5,17	3,84	
<b>0.09</b>	4,54	4,79	4,43	4,19	
<b>0.12</b>	5,52	5,45	5,20	5,33	
<b>(Y,Ho)211 Parçacıklarının Ortalama Dairesel Çapı (<math>\mu\text{m}</math>)</b>					
Vanadyum katkı oranı (y)	Ho katkı oranı (x)				
	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>
<b>0.00</b>	3,26	3,13	2,77	2,44	2,05
<b>0.03</b>	3,43	4,97	4,78	3,56	
<b>0.06</b>	4,28	4,74	4,22	3,14	
<b>0.09</b>	3,71	3,92	3,61	3,42	
<b>0.12</b>	4,51	4,45	4,24	4,35	

## 4.2 Kaldırma Kuvveti Ölçümü Sonuçları

Bir süperiletkenin en etkileyici özelliklerinden biri direncin hemen hemen sıfır olduğu, süper akıma sahip olmasıdır. Süperiletkenin uygulanan bir dış manyetik alana karşı gösterdiği tepki de süperiletkenlerin bazı teknolojik uygulamaları (Hull 1999, 2000, Murakami 2000b) için başka bir çekici yanını oluşturur. Yüksek sıcaklık süperiletkeninin üzerinde kararlı bir şekilde havada tutulan mıknatıs görüntüsü yüksek sıcaklık süperiletkenleri teknolojisinin en iyi bilinen ikonlarından biridir. Mıknatısı havaya kaldırma kuvveti, yüksek sıcaklık süperiletkenlerine eşlik eden temel olayların çoğunun dokunsal ve görsel delilini sunar (Hull 2000). Eğer süperiletken tarafından havaya kaldırılan mıknatıs aşağıya veya yana itilmeye veya eğilmeye çalışılırsa, buradaki geri çağırıcı kuvvetin mıknatısı başlangıçtaki konumuna geri döndürdüğü görülür. Eğer havaya kaldırılan mıknatıs yeteri kadar sert bir şekilde itilirse, mıknatısın denge konumu değiştirilebilir veya mıknatısın kütle merkezi yeni bir denge konumuna kaydırılabilir. Eğer mıknatıs simetrik manyetik alanlı bir silindir şeklinde ise simetri eksenini etrafında kolaylıkla döndürülebilir. Böyle bir davranış, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin örneğin; bir mil yatağı yapımında kullanılmasına imkan verir (Hull 1999, 2000). Yüksek sıcaklık süperiletkenleri geri besleme sistemi gerektirmeyen kontaklı yüzeyler ve aşırı derecede küçük dönme sürtünmeleri ile bir vakum ve potansiyel altında çalışabilirlik avantajlarına sahiptir. Çoğu uygulamalarda bu avantajlar, süperiletkenleri soğutma zahmetine göre daha ağır basar (Hull 2000).

Süperiletken manyetik mil yatakları, uçan tekerler, kalıcı mıknatıslar, motorlar veya jeneratörler, manyetik kaldırma kuvveti vasıtasıyla taşıma sistemleri ve benzeri teknik uygulamalar için genellikle bulk haldeki Y-Ba-Cu-O (YBCO) veya onun benzeri olan RE-Ba-Cu-O (REBCO) süperiletken malzemeler tercih edilir. Bu da RE, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu ve La gibi nadir toprak elementleri gösterir. YBCO veya REBCO malzemelerin tercih edilme sebebi, bu malzemelerin sıvı azot sıcaklığında yüksek bir tersinmez manyetik alana ( $H_{irr}$ ) sahip olmaları ve çoğunun oldukça büyük tane büyümesi gösterebilmesidir.  $H_{irr}$ , manyetik akının süperiletken içinde sabitlendiği bölge ile hareket edebildiği bölge arasında bir faz geçişi çizgisini işaretler. Bazen,  $H_{irr}$  eğrisinin akının dondurulduğu bölge ile akının eritildiği bölge arasındaki sınırı gösterdiği de söylenir. YBCO sistemi; bizmut, talyum ve civa yüksek sıcaklık

süperiletken aileleriyle karşılaştırıldığında daha düşük bir kritik sıcaklığa (92 K) sahiptir, fakat 77 K da ve daha düşük sıcaklıklarda en yüksek tersinmezlik eğrisine sahiptir (Hull 1999). Kararlı bir havaya kaldırma için, akının süperiletken içinde dondurulması önemlidir. Aksi takdirde, mıknatıs yavaş bir şekilde yüksekliğini kaybeder.

$T < T_c$  olan sıcaklıklar için bir süperiletkene  $H_{c1} < H < H_{c2}$  aralığında bir dış manyetik alan (H) uygulandığı zaman manyetik alan süperiletkenin içine kuantumlanmış fluxoidler şeklinde sızabilir (Murakami 1992). Bu durum karışık durum olarak adlandırılır. Bu karışık durumda süperiletken içinden akım geçirilirse fluxoidlere  $\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B}$  şeklinde bir Lorentz kuvveti etkir ve bu kuvvet manyetik akının hareket etmesine sebep olur. Bu akı hareketinden dolayı uygulanan akım doğrultusunda bir voltaj ortaya çıkar ve bunun sonucu olarak da sıfır direnç durumu ortadan kalkar. Sıfır direnç durumunu gerçekleştirmek için, manyetik akı hareketinin önlenmesi gerekir. Konvansiyonel süperiletkenlerde akı hareketini önlemek için süperiletken içinde isteyerek homojensizlikler meydana getirilir. Bu homojensizlikler akı sabitleme (pinning) merkezleri olarak adlandırılır. Büyük  $J_c$  akım yoğunluğu değerleri elde etmek için, ikinci tip süperiletkenler olan oksit süperiletkenlerde de bu homojensizliklerin meydana getirilmesi gerekir.

Manyetik kaldırma kuvveti, yüksek sıcaklık süperiletkeninin ortalama mıknatıslanmasıyla orantılıdır. Balk haldeki süperiletkenin mıknatıslanması da kritik akım yoğunluğu ve tane çapıyla orantılıdır (Hull 1999, 2000). Manyetik kaldırma kuvveti, kritik akım yoğunluğu  $J_c$  ile de orantılıdır (Yang vd 2003). Bu sebepten, daha yüksek kaldırma kuvveti elde etmek için akım yoğunluğunu artırmak ve tane çapını büyütme gerekir. Kullanışlı manyetik kaldırma kuvvetleri bakımından, yeteri kadar büyük mıknatıslanma elde etmek için büyük tane çapları önemlidir. YBCO malzemelerde eritme yönlendirme tekniği ile birkaç cm çaplı tane büyümesi elde etmek mümkündür. Günümüzde, bu teknikle 10 cm ye kadar tane büyümesi elde edilebilmektedir. Balk YBCO nun manyetik kaldırma kuvveti numunenin kalınlığı (Wang vd 1989, Shi vd 1997) manyetik alan dağılımı (Teshima vd 1996), tane yönelimi (Yang vd 1999, Tent vd 1998), oksijen tavlama zamanı (Kim vd 1997b), oksijenleme sıcaklığının kontrolü (Yu vd 2003), etkileşen mıknatıs ile süperiletkenin büyüklük ve şekilleri, birbirlerine göre konumları (Ma vd 2003), sıcaklık ve

süperiletken ile mıknatıs arasındaki mesafe gibi birkaç parametreye bağlıdır (Yang vd 2003, Hull 2000).

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri, ikinci tip süperiletkenlerdir. Hem diamanyetik hem de ferromanyetik özellik gösterirler.  $T_c$  kiritik sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bir süperiletkene  $H_{c1}$  alt kiritik alanını geçen bir dış manyetik alan uygulandığı zaman alan süperiletkenin içine sızabilir fakat çok geçmeden akı çizgileri, akı sabitleme merkezleri vasıtasıyla sabitlenir. Burada alan gradyenti  $\mu_0 J_c$  ye (bir boyutta  $\text{rot } \vec{B}$  veya  $d\vec{B}/dx$ ) eşittir ve akı sabitleme kuvvetini temsil eder. Süperiletken içine sızan manyetik alan (fluxoidler) sabitleme yerlerinde hapsedilip hareketsiz hale getirildiğinden manyetik kaldırma, otomatik olarak kararlıdır ve herhangi bir aktif kontrol gerektirmez. Diğer yandan  $T_c$  yukarısında süperiletkene bir manyetik alan uygulandığı zaman bütün manyetik akı çizgileri süperiletkenin içine baştan başa sızar. Eğer böyle bir durumda süperiletken soğutulursa ve daha sonra dış manyetik alan ortadan kaldırılırsa, süperiletken içine sızan akı çizgileri kuantumlanır ve sabitleme etkisinden dolayı orada hapsedilir. Böyle bir durumda balk süperiletkenler bir mıknatıs gibi iş görebilir (Murakami 2000).

$H_{c1}$  alt kiritik alanın altındaki manyetik alanlarda, ikinci tip süperiletkenler manyetik akı sızmasını önleyebilir (Meissner olayı). Böyle şartlar altında mıknatıs, süperiletkeni (veya tersi) havaya kaldırabilir.  $H > H_{c1}$  olduğu zaman, II. tip süperiletkenler karışık durumdadır. Bu durum manyetik alanın (fluxoid) süperiletkenin içinde bazı özel yerlere sızmasına ve o yerlerde sabitlenip hapsedilmesine izin verir (Zeng vd 1997). Süperiletkenin içinde hapsedilen manyetik alanın miktarı soğutma metoduyla değiştirilebilir. Süperiletken, mıknatıs vasıtasıyla oluşturulan bir manyetik alan altında sıvı azot sıcaklığına soğutulursa (field cooling (FC)), uygulanan alanın bir kısmı süperiletken içinde hapsedilir. Hapsedilen manyetik alan şiddeti, mıknatısla süperiletken arasındaki mesafeye bağlıdır. Bu mesafenin değişmesi manyetik alan yoğunluğunun daha fazla artmasına veya azalmasına karşı koyarak süperiletken içerisinde bir süper akım indükler ve bu durum mıknatısla II. Tip yüksek sıcaklık süperiletkeni arasında kendine özgü kararlı bir süspansiyon veya manyetik kaldırma sisteminin temelini oluşturur. Kaldırma kuvveti ve süperiletken içinde hapsedilen manyetik alan, bu süper akım ilmeğinin yarıçapı ve süperiletkenin  $J_c$  akım yoğunluğu ile orantılıdır. Süperiletken

içinde hapsedilen alanla mıknatısın manyetik alanı arasındaki etkileşmeden dolayı bir kuvvet-mesafe eğrisi elde edilir. Süperiletken malzeme bir dış manyetik alanın etkisi altında olmadan soğutulursa (zero field cooling (ZFC)), süperiletken içinde manyetik alan hapsedilmez. Dış manyetik alan değiştirilerek, yani mıknatıs süperiletkene doğru hareket ettirilerek süperiletkenin en dış kenarında bir kalıcı veya koruyucu süperiletken akımı indüklenebilir (Zeng vd 1997). Bu akım dış manyetik alanı kuvvetli bir şekilde iter. Kritik durum modeline göre (Bean 1962) bu koruyucu akım, dış manyetik alan artırılarak süperiletkenin iç kısımlarına sızmaya zorlanır. ZFC numuneler için daha büyük itici kuvvet daha küçük çekici kuvvet elde edilirken, FC numuneler için daha küçük itici kuvvet daha büyük çekici kuvvet elde edilir (Kim vd 1997b). Bir mıknatıs ile süperiletken arasındaki kaldırma kuvveti;

$$F = \int_V (m \nabla) H dV \quad (4.1)$$

şeklinde verilir. Bu elektromanyetik kuvvet bir boyutta

$$F = m \frac{dH}{dx} \quad (4.2)$$

$$m = MV \quad (4.3)$$

$$M = AJ_c r \quad (4.4)$$

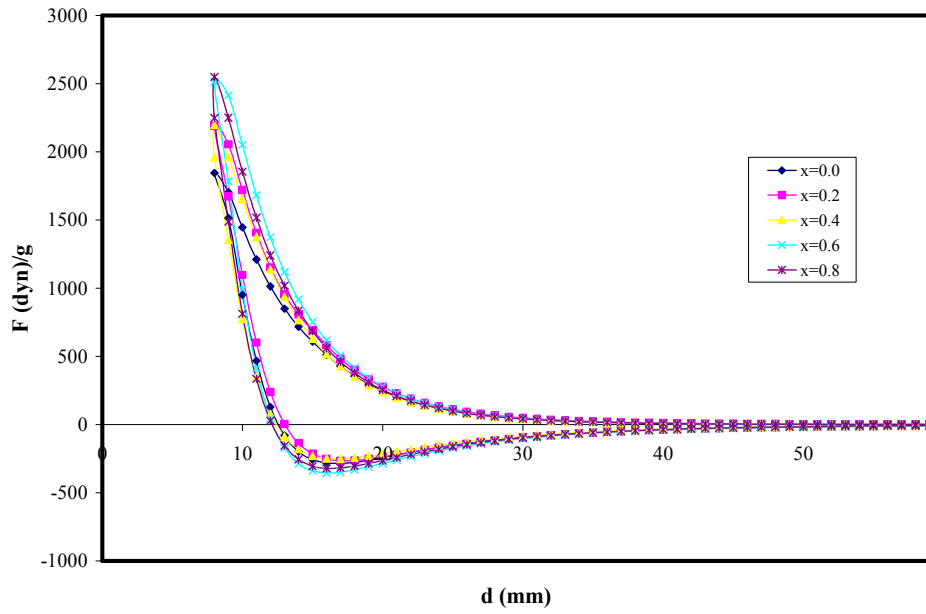
şeklinde basitleştirilebilir (Yang vd 2001, Nagashima vd 1999). Burada  $m$ , bir süperiletkenin manyetik momenti,  $dH/dx$  dış alan tarafından meydana getirilen manyetik alan gradyenti,  $M$  birim hacim başına düşen mıknatıslanma,  $A$  numunenin geometrisine bağlı bir sabit,  $J_c$  bir süperiletkenin kritik akım yoğunluğu ve  $r$  akım ilmeğinin veya tanenin çapıdır.  $M (= AJ_c r)$ , balk süperiletkenin performansını gösterir (Murakami 2000). Bu sebepten iyi performanslı balk süperiletkenlerin üretimi için  $J_c$  ve  $r$  yi artırmak esastır. Başka bir deyişle, yüksek kaldırma kuvveti elde etmek için süperiletken mümkün olduğu kadar büyük  $r$  ve  $J_c$  ye sahip olmalıdır. Büyük  $r$ , iyi yönlendirilmiş tek bölgeli YBCO balk numunelerde elde edilebilmektedir. Zayıf bağlar ve çatlaklar olduğu zaman  $r$  küçülür ve çok küçük kaldırma kuvveti elde edilir.



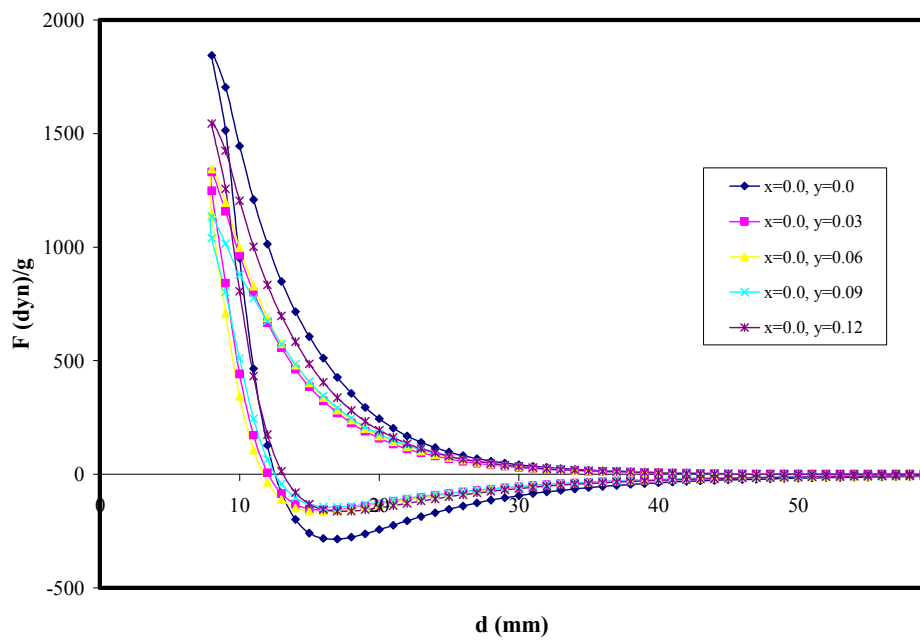
Süperiletken numuneyi mıknatısa yaklaştırırken ve uzaklaştırırken yapılan manyetik kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları bir histerisiz ilmeği gösterir. Şekil 4.19 da numunelerin ölçülen tipik kaldırma kuvveti histerisiz eğrileri görülmektedir. Belli bir mesafeden itibaren mıknatısa doğru yaklaştırılmaya başlanan süperiletken numuneler Meissner olayına göre manyetik alanı dışarlamaktadır. Bunun sonucu olarak numune mıknatısa karşı itici bir kuvvet uygulamaktadır. Numune mıknatısa yaklaştırıldıkça itici kuvvet artmakta ve mıknatısa en yakın mesafe olan 8 mm de maksimum olmaktadır. En yakın mesafeye yaklaştırılan numune uzaklaştırılmaya başlandığında numunede tuzaklanan alan ile kalıcı mıknatıs arasındaki zordan dolayı (Yanmaz vd 2002) itici kuvvet hızla düşmekte ve sıfır olmaktadır. Bu noktadan sonra çekici kuvvet oluşmakta ve negatif bir değer gözlenmektedir. Bu da manyetik alanın, numunede bulunan ve süperiletken olmayan Y211 fazı gibi içinden manyetik akı geçen manyetik akı sabitleme (tuzak) merkezleri tarafından hapsedildiğini göstermektedir. Numune mıknatıstan uzaklaştırılmaya devam edildikçe çekici kuvvet azalmakta ve sıfır olmaktadır. Dış alan kaldırılrsa bile tuzak merkezleri sayesinde büyük miktarda alan numune tarafından tuzaklı kalabilir. Bu durum numunenin sıcaklığı kritik sıcaklığın ( $T_c$ ) altında tutulduğu müddetçe sürekliliğini korur.

Şekil 4.19 a da görüldüğü gibi,  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  numuneleri içinde, en büyük kaldırma kuvveti histerisiz ilmeğine, dolayısıyla en yüksek kaldırma kuvvetine  $x = 0.6$  ve  $x = 0.8$  numuneleri, sonra sırasıyla  $x = 0.4$ ,  $x = 0.2$  ve  $x = 0$  numuneleri sahiptir. Ho katkı oranı olan  $x$  arttıkça kaldırma kuvveti artmaktadır. Bununla birlikte histerisiz ilmekleri birbirine çok yakındır.  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numuneleri içinde en büyük kaldırma kuvvetine  $y = 0.0$  numunesi sahiptir (Şekil 4.19 b). Sonra, vanadyum katkı oranı artarken kaldırma kuvveti azalmakta ve  $y = 0.12$  için tekrar artmaktadır. Bunun sebebi,  $y = 0.12$  numunesinin tane büyüklüğünün  $y = 0.03$ ,  $y = 0.06$  ve  $y = 0.09$  numunelerinin tane büyüklüğünden daha büyük olması olabilir.  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ,  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ve  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde ise yine en büyük kaldırma kuvvetine  $y = 0.0$  numuneleri sahiptir. Vanadyum katkı oranı  $y$  artarken kaldırma kuvveti azalmaktadır (Şekil 4.19 c - e). Kaldırma kuvveti tane büyüklüğünün ve kristalografik yönelimin bir fonksiyonudur (Yanmaz vd 2002, Yang vd 1998). Artan vanadyum katkısı ile tane büyüklüklerinin azaldığı ( $x = 0.0$ ,  $y = 0.12$  numunesi hariç)

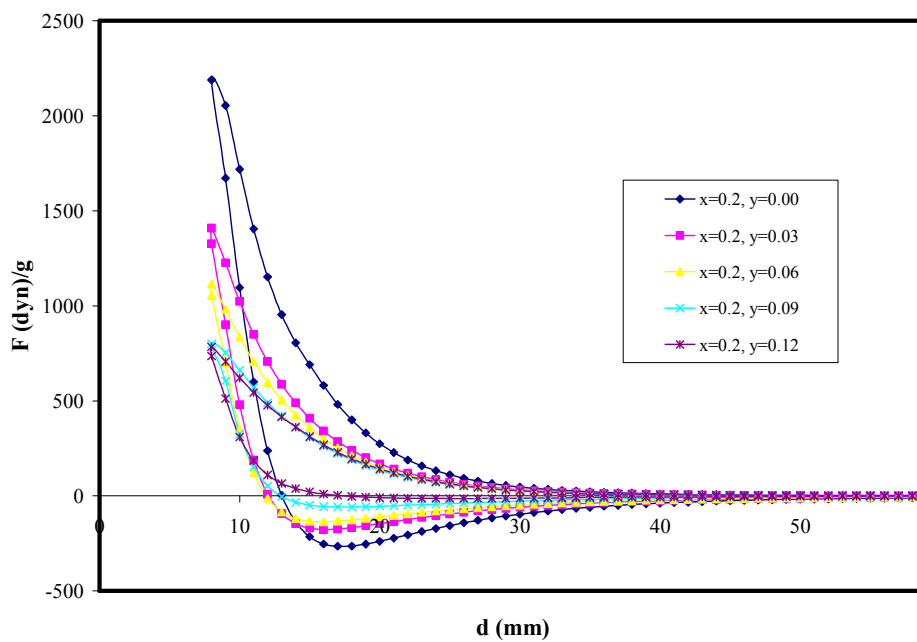
mikroyapı analiz sonuçlarından da görülmektedir. Ayrıca numunelerdeki çatlaklar ve zayıf bağlar da kaldırma kuvvetinin küçülmesine sebep olur (Murakami 1993).



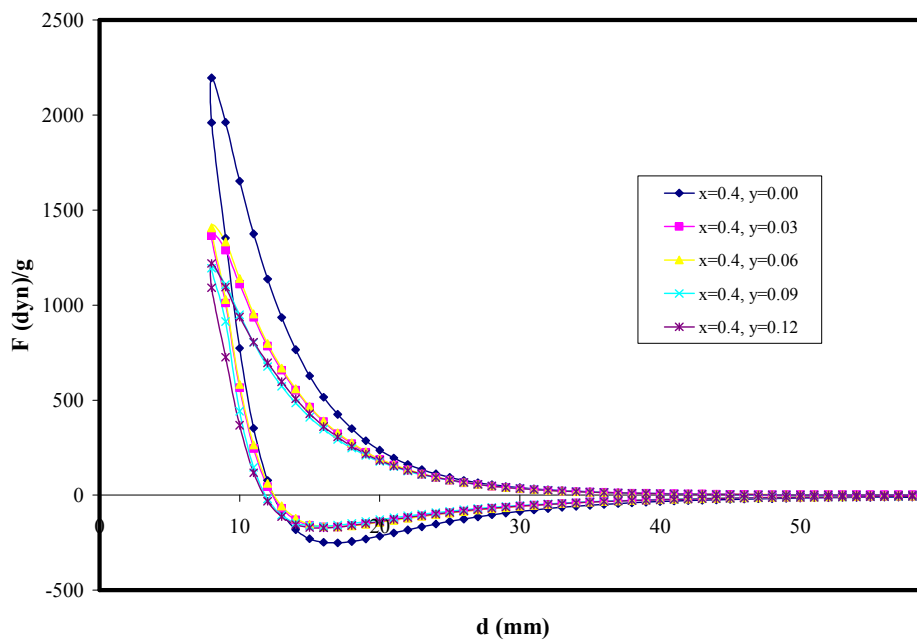
(a)



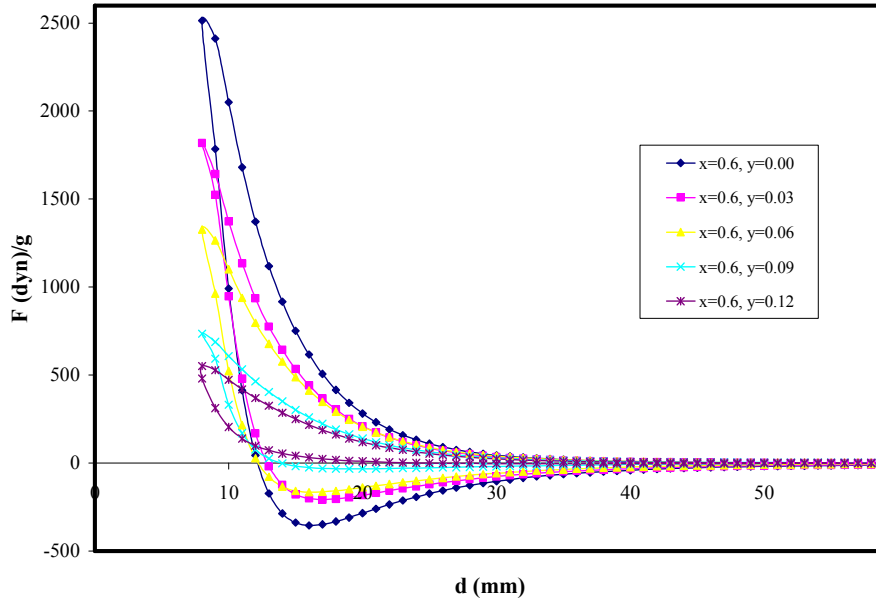
(b)



(c)



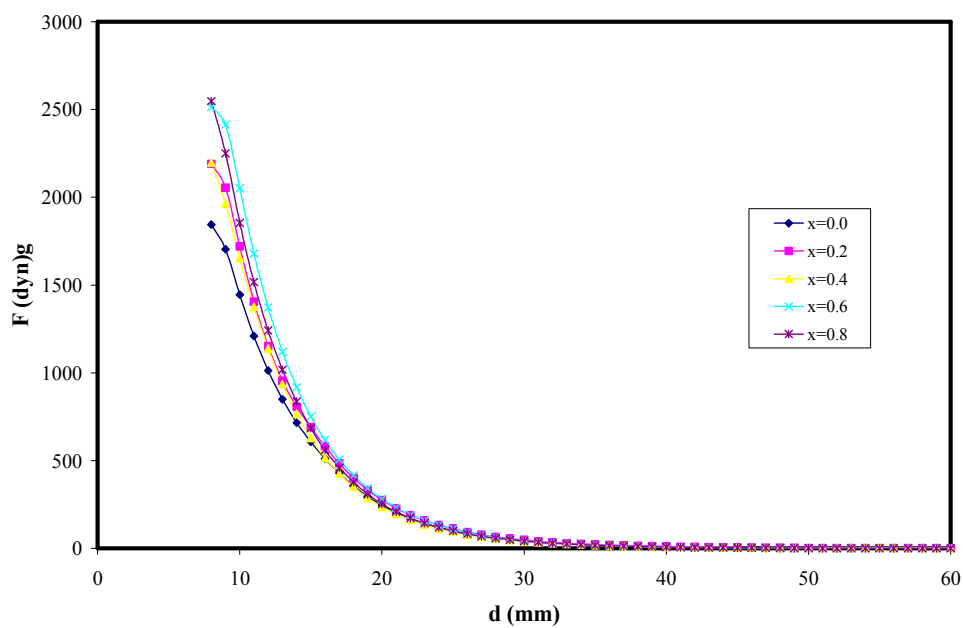
(d)



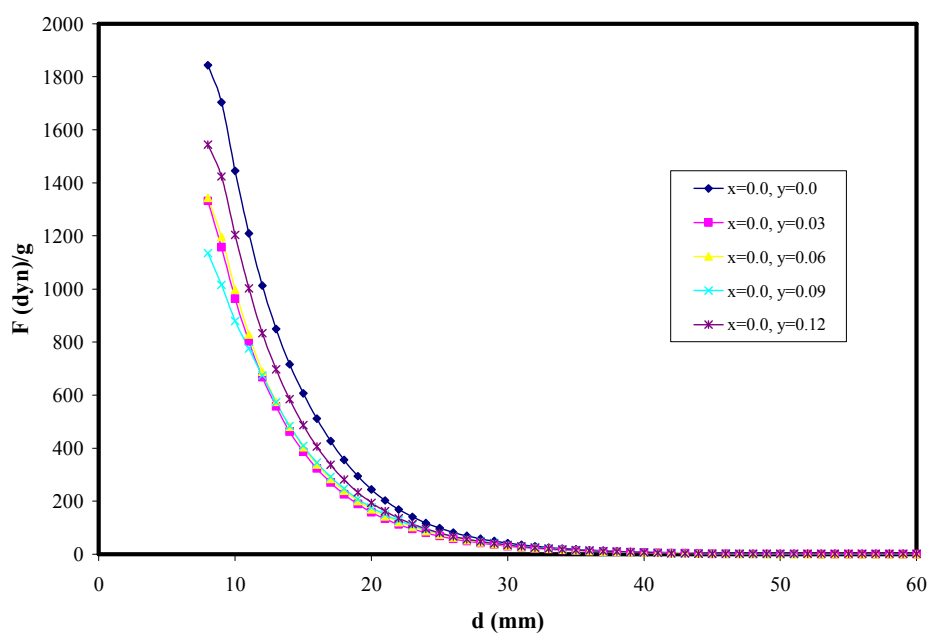
(e)

Şekil 4. 19. a)  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , b)  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , c)  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , d)  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ve e)  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin kaldırma kuvveti histeris eğrileri.

Kaldırma kuvveti histersiz ilmeğinin üstündeki eğri mıknatıs ile süperiletken numune arasındaki itici kuvveti, histersiz ilmeğinin altındaki eğri ise mıknatıs ile süperiletken numune arasındaki çekici kuvveti temsil eder. Süperiletken numunelerin manyetik alanı dışarı atması sonucu oluşan itici kuvvet büyük bir değere sahipse bu o numunelerin yapısında süperiletken fazların çok olduğu, böylelikle manyetik alanı daha çok dışarı atabildiğini ima etmektedir. Çekici kuvvetin büyük olması ise, numune tarafından daha fazla manyetik akı tuzaklanabildiğini gösterir. Numunelerin itici kuvvetlerinin mesafeye göre değişimleri Şekil 4. 20 de, çekici kuvvetlerinin mesafeye göre değişimleri de Şekil 4. 21 de verildi.  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  numunelerinde Ho katkı oranı artarken itici kuvvet de artmaktadır. Fakat  $x = 0.2$  ile  $x = 0.4$  numunelerinin ve  $x = 0.6$  ile  $x = 0.8$  numunelerinin kaldırma kuvvetleri birbirine çok yakındır. Bu numunelerin tane büyüklükleri arasında da bir paralellik vardır. Ho katkısı tane büyüklüğünü artırmıştır. Bununla birlikte,  $x = 0.2$  ile  $x = 0.4$  ve  $x = 0.6$  ile  $x = 0.8$  numunelerinin taneleri birbirine yakın büyüklüktedir. Ho katkısı  $x = 0.2$  ve  $x = 0.4$  numunelerinde çekici kuvveti azaltırken  $x = 0.6$  ve  $x = 0.8$  numunelerinde artırmıştır. En büyük çekici kuvvete  $x = 0.6$  numunesi, en küçük çekici kuvvete  $x = 0.4$  numunesi sahiptir.

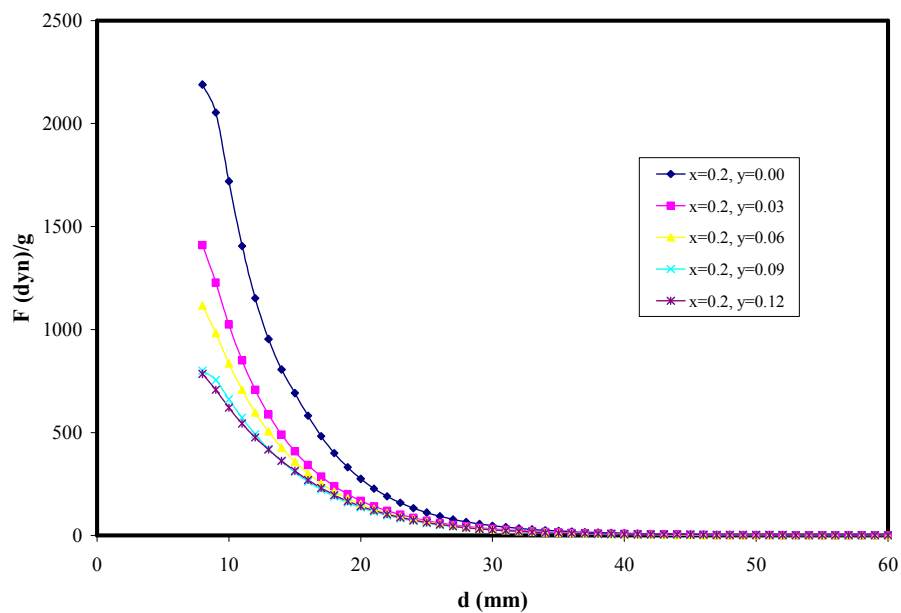


(a)

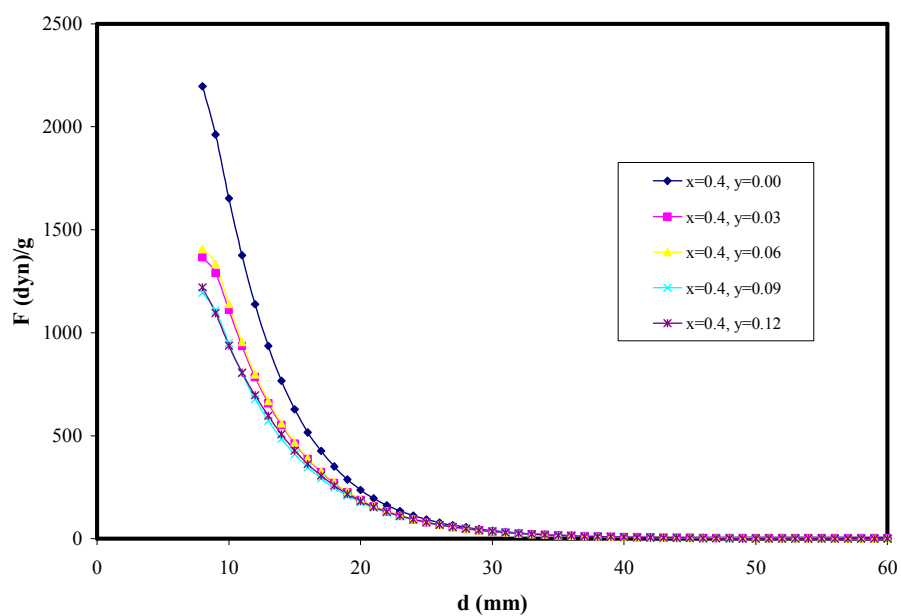


(b)

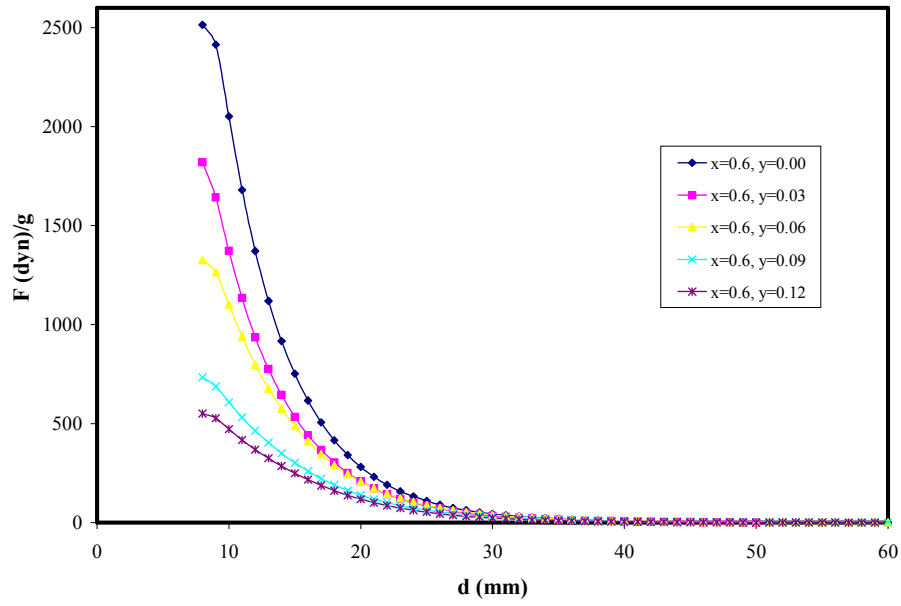




(c)

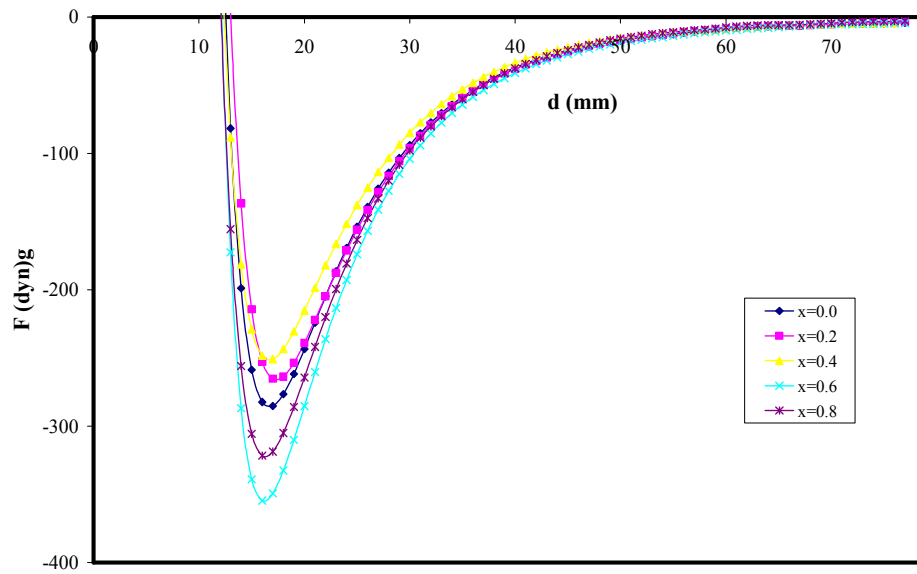


(d)

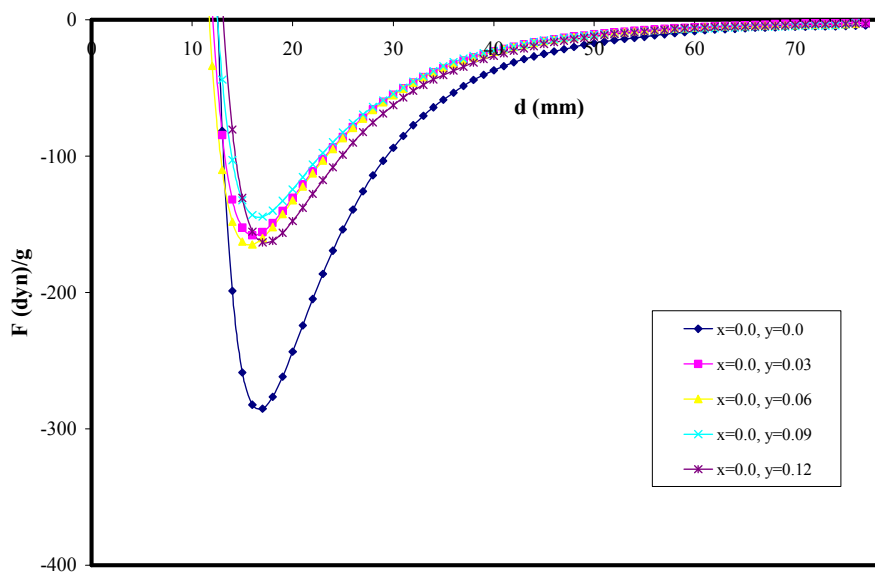


(e)

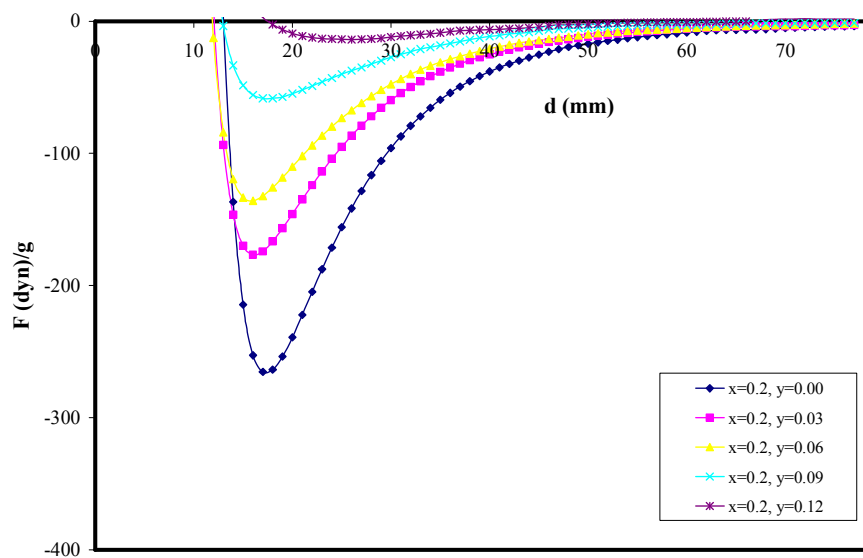
Şekil 4. 20 a)  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , b)  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , c)  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , d)  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ve e)  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin itici kuvvet eğrileri.



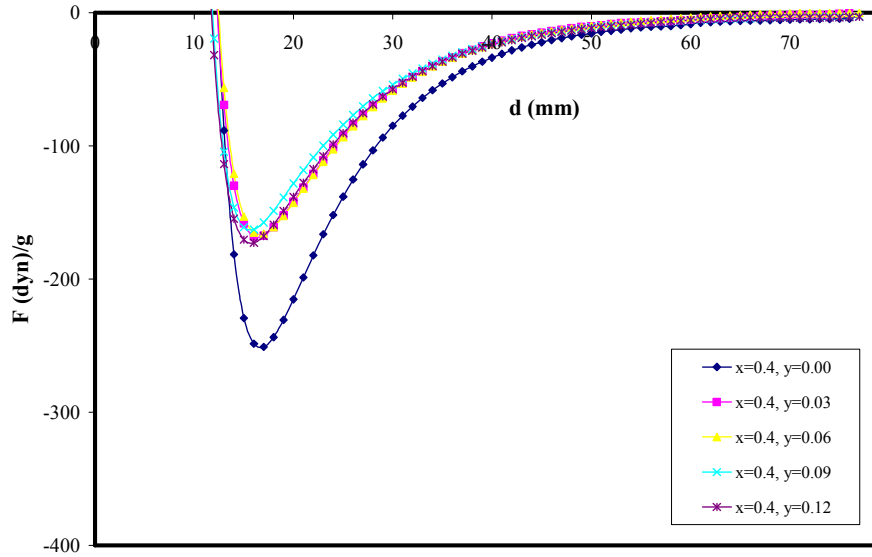
(a)



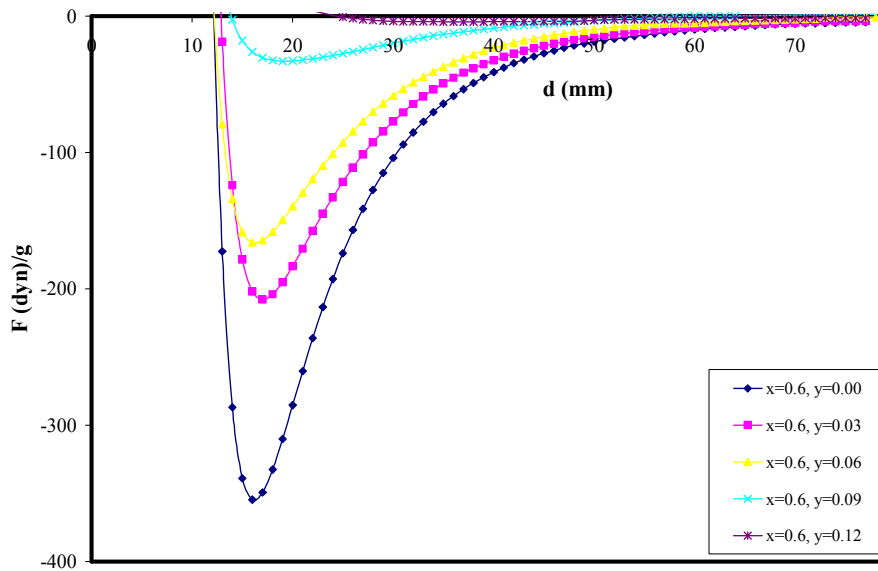
(b)



(c)



(d)



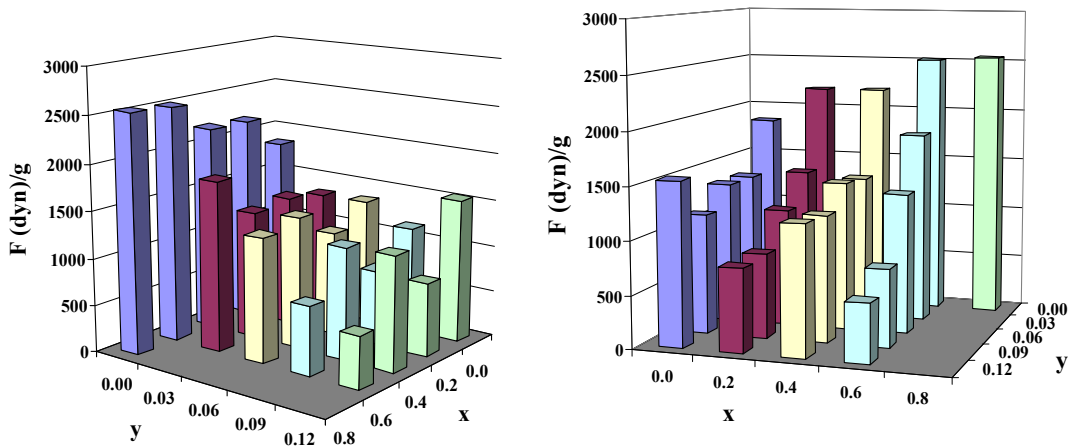
(e)

Şekil 4. 21. a)  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , b)  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ , c)  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ,  
d)  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ve e)  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin çekici kuvvet eğrileri.

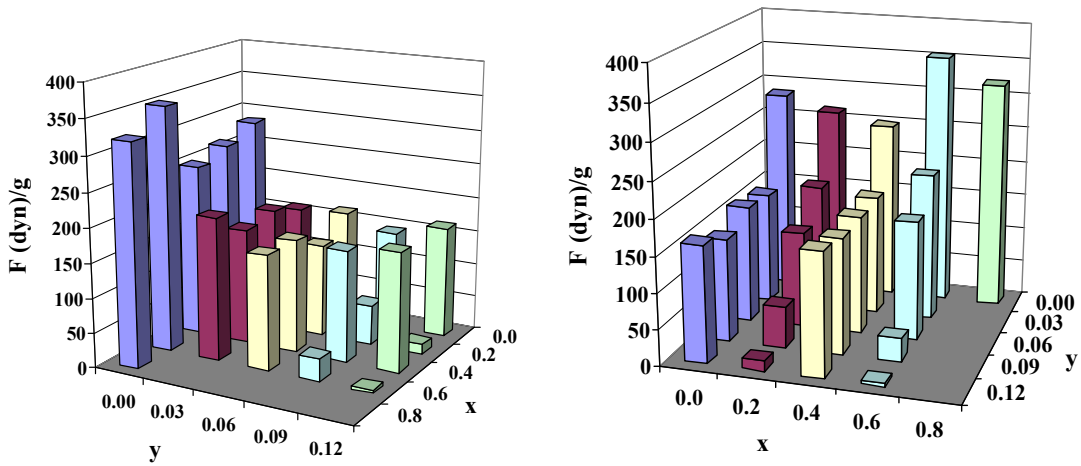
Çekici kuvvetin değeri, numune içerisindeki akı sabitleştirme noktalarına, yani normal fazlara (Y211) bağlıdır. Tuzaklanan alan büyük olursa, çekici kuvvet değeri de büyük olur.  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde vanadyum katkısı  $y = 0.03$ ,  $y = 0.06$  ve  $y = 0.09$  katkı oranları için itici kuvveti azaltmış, fakat  $y = 0.12$  katkı oranı için artırmıştır. En büyük itici kuvvete  $y = 0.0$  numunesi, ikinci en büyük itici kuvvete ise  $y = 0.12$  numunesi sahiptir. Bu numuneler için de tane büyüklükleri ile itici kuvvetin büyüklüğü arasında bir paralellik vardır. Vanadyum katkısı çekici kuvveti yaklaşık olarak yarıdan yarıya azaltmıştır. Vanadyum ihtiva eden numunelerin çekici kuvvet eğrileri birbirine çok yakındır.  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$ ,  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ve  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinde vanadyum katkı oranı artarken itici ve çekici kuvvet azalmıştır. Bütün numuneler için maksimum itici kuvvet grafikleri Şekil 4.22, çekici kuvvet grafikleri de Şekil 4.23 de karşılaştırmalı olarak verildi. Maksimum itici ve çekici kuvvetler numunelerin Bölüm 4.1 de verilen mikro yapı fotoğraflarıyla karşılaştırılırsa tane büyüklüğü ile orantılı olduğu açık bir şekilde görülür.

Sonuç olarak, Y yerine Ho katkılanması, kaldırma kuvvetinde iyileşmeye, Cu yerine V katkılanması ise kaldırma kuvvetinde azalmaya sebep olur. Numunelerin itici ve çekici kuvvet eğrilerine sahip olması onların birer ikinci tip süperiletken olduklarını kanıtlamaktadır. Çünkü tuzak merkezleri ve akı akışı gibi olaylar ikinci tip süperiletkenlerde karışık haldeyken gerçekleşen olaylardır. Bir numunenin hem itici hem de çekici kuvvet değerinin büyük olması, o numunenin büyük süperiletken fazlarının içerisinde küçük akı sabitleme (pinning) merkezlerine sahip olduğunu gösterir. Başka bir deyişle, bir süperiletkenin hem itici hem de çekici kuvvet değerinin büyük olması, süperiletken fazın büyüklüğü ya da çokluğu sayesinde, büyük itici kuvvete ve küçük ama çok sayıdaki normal fazlarının (akı sabitleştirme merkezlerinin) sayesinde de büyük çekici kuvvete sahip olacağını gösterir.





Şekil 4.22.  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin maksimum itici kuvvet değerleri.

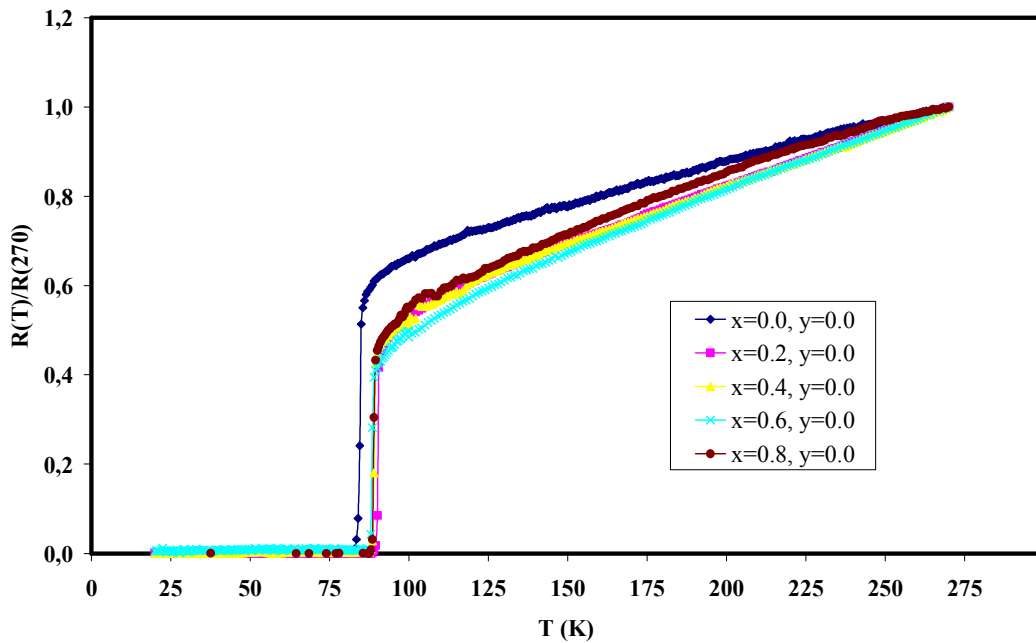


Şekil 4.23.  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin maksimum çekici kuvvet değerleri.

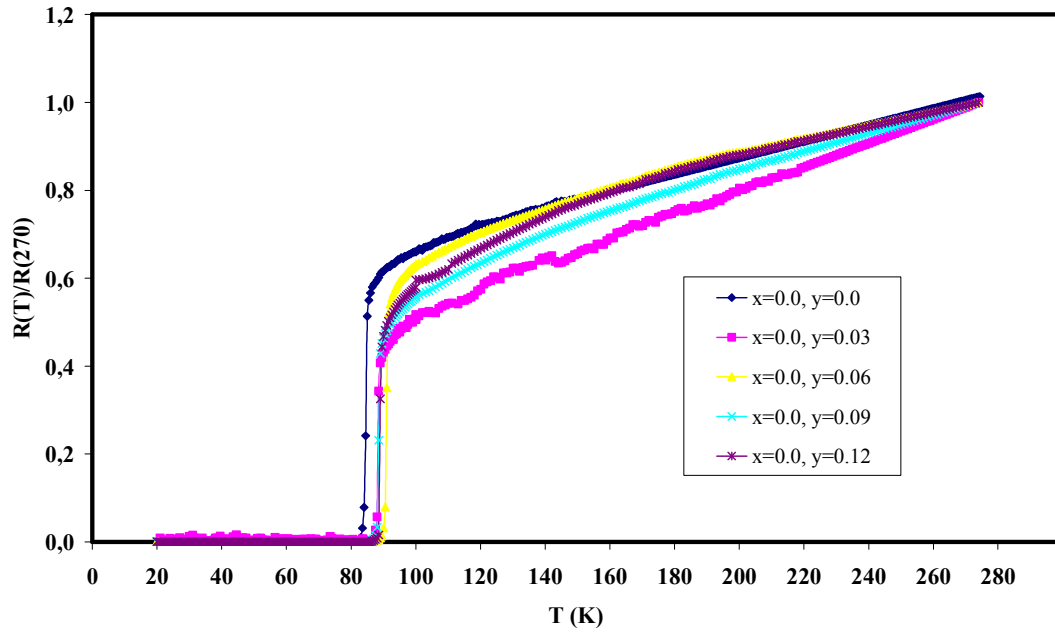
### 4.3 Elektriksel Direnç Ölçümü Sonuçları

Numunelerin 20 K – 270 K sıcaklık aralığında ölçülen normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.24 –Şekil 4.28 de verilmiştir. Numunelerin hepsi normal durumda metalik davranış sergilemektedirler, yani sıcaklıktaki azalma ile direnç yaklaşık olarak lineer bir şekilde azalmaktadır. Sıcaklık daha da azalırken bütün numuneler yaklaşık 90 K civarında dar bir sıcaklık aralığında (~ 4K) direncin keskin bir şekilde sıfıra düşmesiyle süperiletken duruma geçmektedir. Bütün numunelerin  $T_C^{\text{onset}}$  (süperiletken duruma geçişin başlama sıcaklığı),  $T_C$

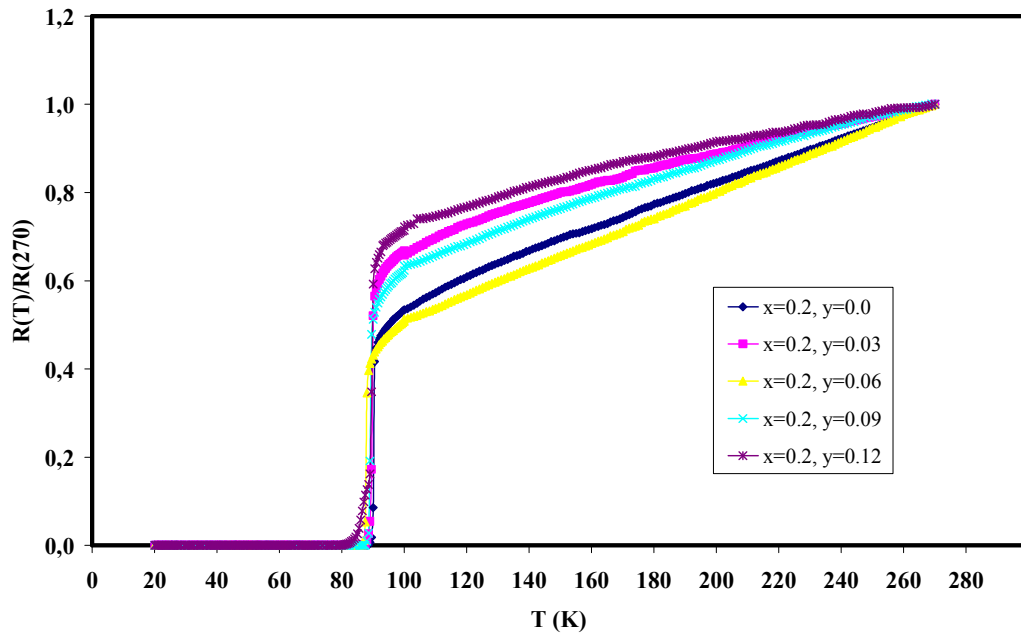
(süperiletken duruma geçiş sıcaklığı) ve  $T_C^0$  (süperiletken duruma geçişin tamamlandığı sıcaklık) sıcaklıkları Tablo 4.2 de verilmiştir. Bütün numuneler arasında en düşük geçiş sıcaklığına  $x=0.0$ ,  $y=0.0$  referans numunesi sahiptir (85 K). Gerçekte,  $x=0.0$ ,  $y=0.0$  numunesinin, yani  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  nin literatürde verilen geçiş sıcaklığı 92 K dir. Geçiş sıcaklığının düşük olmasının sebebi bu çalışmada uygulanan ısıl işlem ve oksijenleme şartlarının bu numune için çok uygun olmadığı şeklinde yorumlanabilir.  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  şeklinde verilen YBCO yüksek sıcaklık süperiletken sisteminde bakır (Cu) yerine belli oranlarda vanadyum (V) ilavesinin, bu çalışmada numune hazırlama esnasında uygulanan ısıl işlem şartlarına göre, geçiş sıcaklığını yaklaşık 3 K artırdığı söylenebilir. Vanadyum katkısı gibi yitrium (Y) yerine holum (Ho) katkısı da  $T_c$  geçiş sıcaklığının yükseltilmesine katkıda bulunmuştur. Geçiş sıcaklığı açısından en iyi numuneler, 92 K geçiş sıcaklığı gösteren  $x=0.6$ ,  $y=0.06$ ,  $x=0.6$ ,  $y=0.09$  ve  $x=0.6$ ,  $y=0.12$  numuneleri, yani  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_{0.06}Cu_{2.94}O_{7-\delta}$ ,  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_{0.09}Cu_{2.91}O_{7-\delta}$  ve  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_{0.12}Cu_{2.88}O_{7-\delta}$  numuneleridir.  $x=0.2$ ,  $y=0.12$  numunesi hariç diğer bütün numuneler dar bir sıcaklık aralığında keskin bir geçiş göstermektedir.  $x=0.2$ ,  $y=0.12$  numunesinin geçiş aralığı oldukça geniştir (9K). Bunun sebebi, bu numunede ikinci fazların taneler arası sınıra yerleşmeleri, taneler arası bağlantının zayıf olması ve mikro çatlakların oluşması olabilir (Ayache 2006).



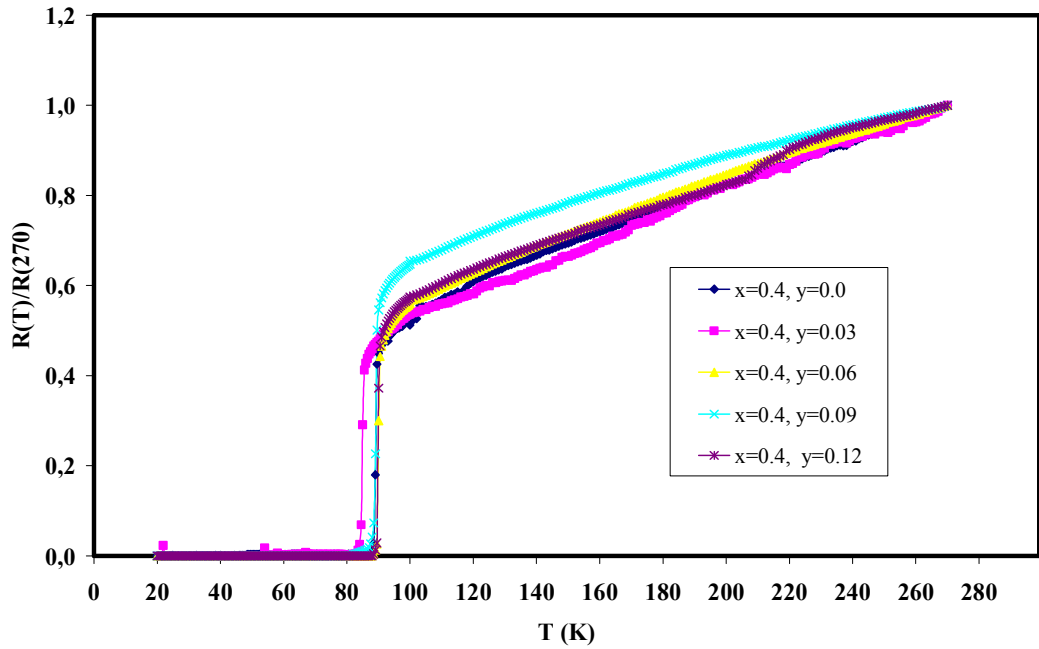
Şekil 4.24  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.



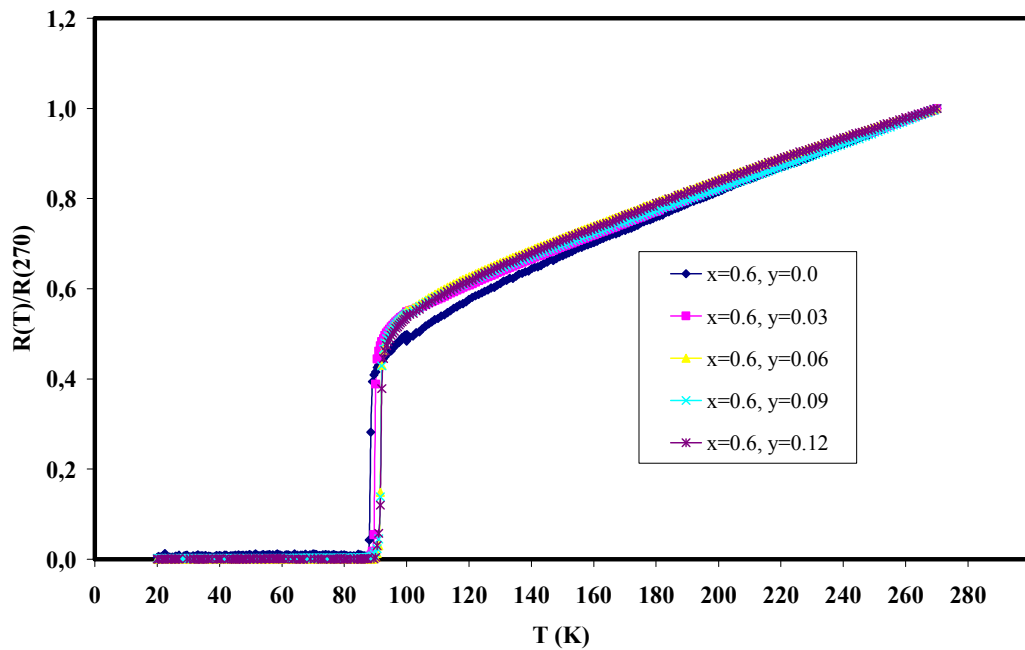
Şekil 4.25  $\text{YBa}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.26  $\text{Y}_{0.8}\text{Ho}_{0.2}\text{Ba}_2\text{V}_y\text{Cu}_{3-y}\text{O}_{7-\delta}$  numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.27  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.



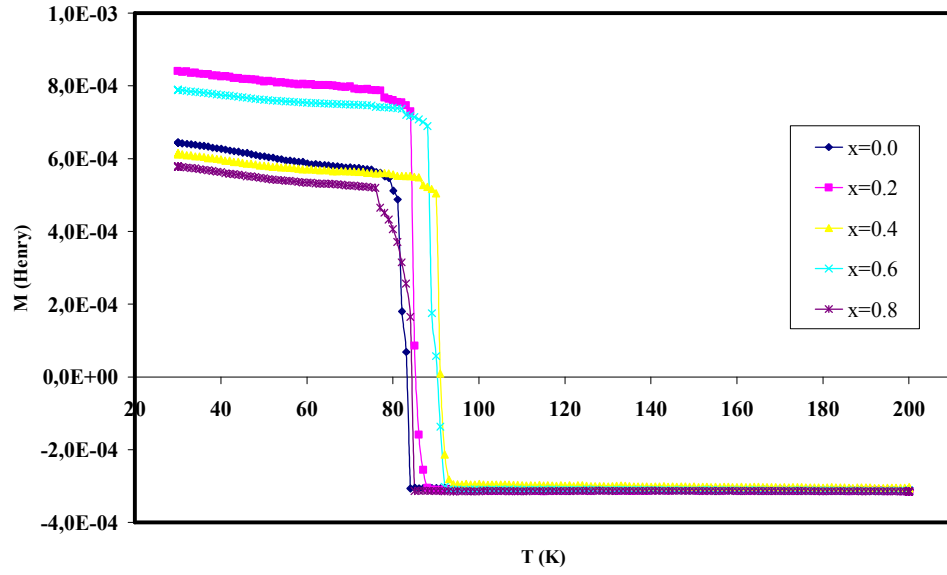
Şekil 4.28  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin normalize edilmiş direnç-sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.

**Tablo 4.2** Numunelerin süperiletken geçiş sıcaklıkları.

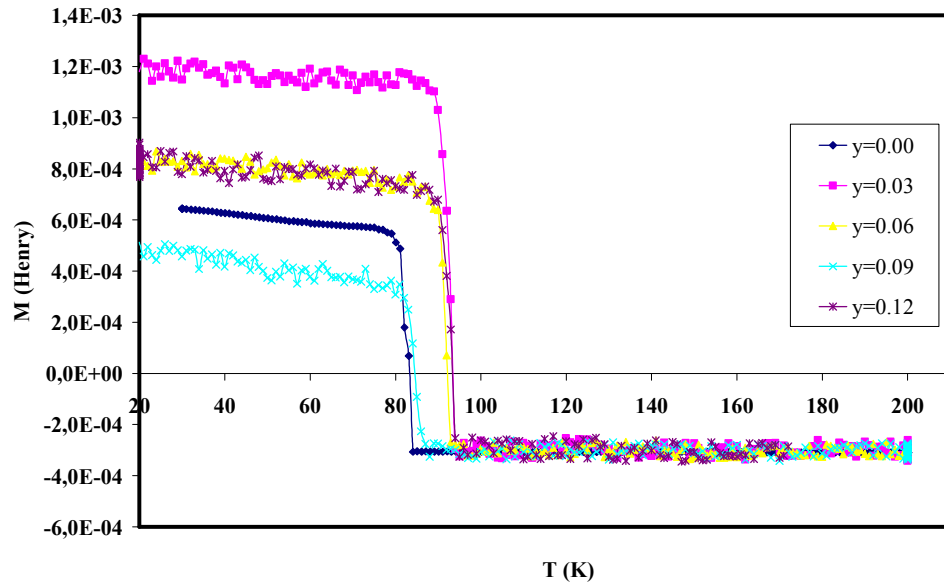
Numune	$T_C^{\text{onset}}$ (K)	$T_C$ (K)	$T_C^0$ (K)
x = 0.0, y = 0.00	89	85	83
x = 0.0, y = 0.03	91	88,5	87
x = 0.0, y = 0.06	94	91	89
x = 0.0, y = 0.09	94	88,5	87
x = 0.0, y = 0.12	93	89	87,5
x = 0.2, y = 0.00	94	90,5	89
x = 0.2, y = 0.03	93	90	88
x = 0.2, y = 0.06	92	88	87
x = 0.2, y = 0.09	92	89	88
x = 0.2, y = 0.12	92	89	83
x = 0.4, y = 0.00	92	89	88
x = 0.4, y = 0.03	88	85	83
x = 0.4, y = 0.06	92	90	88
x = 0.4, y = 0.09	92	89	83
x = 0.4, y = 0.12	93	90	89
x = 0.6, y = 0.00	91	88	87
x = 0.6, y = 0.03	92	90	88
x = 0.6, y = 0.06	94	92	90
x = 0.6, y = 0.09	95	92	90
x = 0.6, y = 0.12	94	92	90
x = 0.8, y = 0.00	92	89	88

#### 4.4 Karşılıklı İndüktans Ölçüm Sonuçları

Numunelerin karşılıklı indüktans ölçüm sonuçları Şekil 4.29 – Şekil 4.33 de verildi. Şekillerden görüldüğü gibi numuneler süperiletken duruma geçerken manyetik akıyı içinden dışarı atmakta ve diamanyetik alınganlığından dolayı karşılıklı indüktans değişmektedir. Numune soğutulurken paramanyetik durumdan diamanyetik duruma, ısıtılırken de diamanyetik durumdan paramanyetik duruma geçmektedir. Numunelerin paramanyetik-diamanyetik geçiş sıcaklıkları Tablo 4.3 de verildi. Bu sıcaklıklar Tablo 4.2 de verilen  $T_C^{\text{onset}}$  ve  $T_C^0$  sıcaklıkları arasında kalmaktadır.

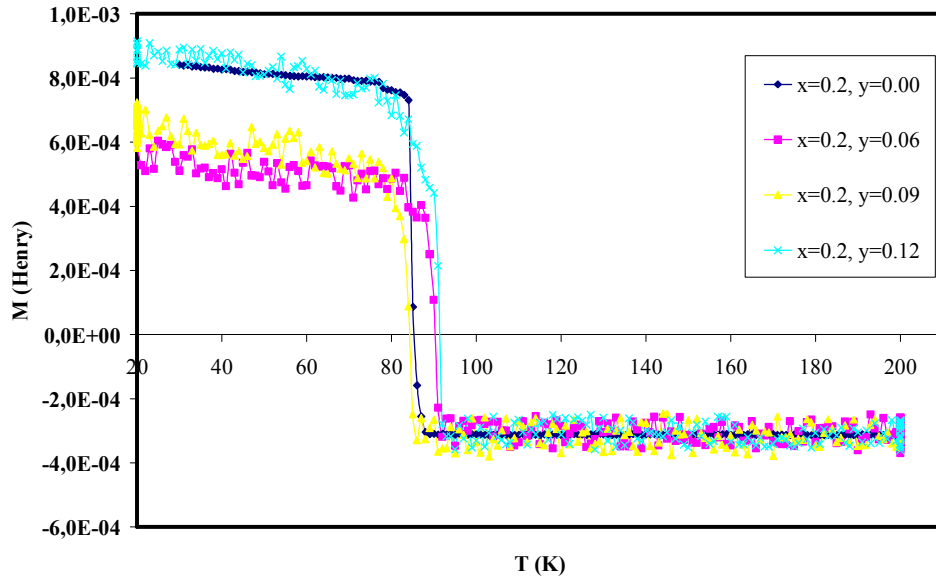


Şekil 4.29  $Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  numunelerinin karşılıklı indüktans - sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.

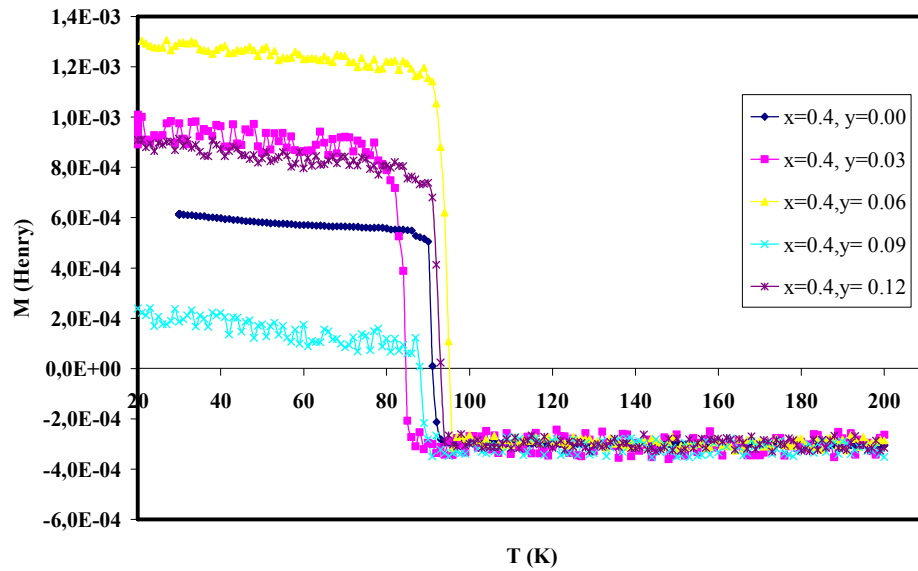


Şekil 4.30  $YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin karşılıklı indüktans - sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.

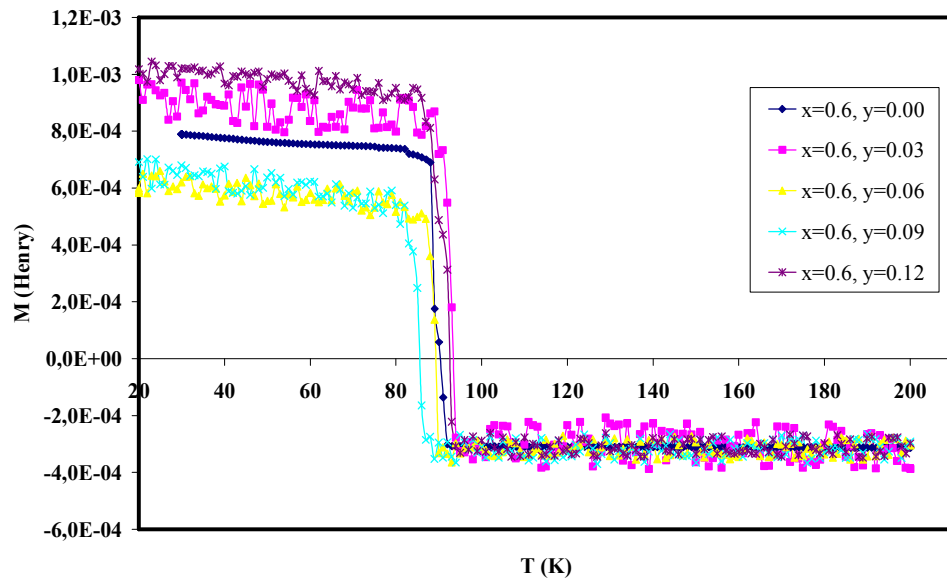




Şekil 4.31  $Y_{0.8}Ho_{0.2}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin karşılıklı indüktans - sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.32  $Y_{0.6}Ho_{0.4}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin karşılıklı indüktans - sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.33  $Y_{0.4}Ho_{0.6}Ba_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  numunelerinin karşılıklı indüktans - sıcaklık eğrilerinin karşılaştırılması.

Tablo 4.3 Numunelerin paramanyetik - diamanyetik geçiş sıcaklıkları.

Numune	$T_C$ (K)
x = 0.0, y=0.00	84
x = 0.0, y=0.03	95
x = 0.0, y=0.06	94
x = 0.0, y=0.09	88
x = 0.0, y=0.12	95
x = 0.2, y=0.00	90
x = 0.2, y=0.03	-
x = 0.2, y=0.06	92
x = 0.2, y=0.09	86
x = 0.2, y=0.12	93
x = 0.4, y=0.00	95
x = 0.4, y=0.03	87
x = 0.4, y=0.06	96
x = 0.4, y=0.09	91
x = 0.4, y=0.12	94
x = 0.6, y=0.00	93
x = 0.6, y=0.03	95
x = 0.6, y=0.06	90
x = 0.6, y=0.09	89
x = 0.6, y=0.12	95
x = 0.8, y=0.00	85

## 5. SONUÇLAR

$Y_{1-x}Ho_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) yüksek sıcaklık süperiletken sisteminde Ho katkı oranı yani  $x$  artarken i) Tane büyüklüğü arttı, ii) Tane sınırlarının kalitesi iyileşti, iii) (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının sayısı arttı, boyutları küçüldü, daha küresel hale geldi ve dağılım daha homojen bir şekil aldı, iv) Manyetik kaldırma kuvveti iyileşti; itici kuvvet artarken, çekici kuvvet çok fazla değişmedi. Y yerine Ho katkısı süperiletkenlik geçiş sıcaklığını ve manyetik (ferromanyetik-diamanyetik) geçiş sıcaklığını yaklaşık 3 - 5 K artırdı. Ho katkısının tane büyüklüğü, tane sınırlarının kalitesi, (Y,Ho)211 normal faz parçacıklarının homojen dağılımı, büyüklüğü ve sayısı üzerine yaptığı etkiler göz önüne alınarak  $J_c$  akım yoğunluğunu artıracığı sonucuna varıldı.

$YBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) süperiletken sisteminde vanadyum katkı oranı yani  $y$  artarken i) Tane büyüklüğü 0.09 katkı oranına kadar azaldı fakat 0.12 katkı oranı için yeniden arttı, ii) Y211 normal faz parçacıklarının sayısı önce azaldı, sonra 0.09 katkı oranına kadar arttı fakat 0.12 oranı için tekrar azaldı. Y211 parçacıklarının hem sayısı hem de boyutları arttı. iii) Manyetik kaldırma kuvveti azaldı. Cu yerine V katkısı süperiletkenlik geçiş sıcaklığını ~ 4 K ve manyetik geçiş sıcaklığını yaklaşık 4 - 10 K artırdı.

Hem Ho hem de V ihtiva eden  $Y_{1-x}Ho_xBa_2V_yCu_{3-y}O_{7-\delta}$  ( $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) ( $y = 0.0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12$ ) süperiletken sisteminde, i) Tane büyüklüğü,  $y$  artarken azaldı fakat  $x$  artarken önce azaldı sonra arttı ve daha sonra tekrar azaldı. ii) Maksimum kaldırma kuvveti tane büyüklüğü ile doğru orantılı bir değişim gösterdi. iii) (Y,Ho)211 parçacıklarının sayısı vanadyum ihtiva eden numunelerde  $x$  artarken düzensiz bir değişim gösterdi fakat  $x = 0.6, y = 0.06$  numunesi hariç, Ho ihtiva eden numunelerde  $y$

artarken arttı. iv) Hem  $H_0$  hem de  $V$  ihtiva eden numunelerde  $x$  ve  $y$  katkı oranları artarken süperiletkenlik geçiş sıcaklığı  $88 - 92$  K ve manyetik geçiş sıcaklığı ise  $86 - 95$  K sıcaklık aralığında düzensiz bir değişim gösterdi.

Numunelerde, taneler ve  $(Y,H_0)211$  parçacıkları tercihli bir yönetime sahip değildir, rasgele yönlenmişlerdir.

Süperiletken numunelerin manyetik kaldırma kuvvetleri;  $(Y,H_0)211$  parçacıklarının dairesel çapları, küresel çapları ve ortalama yüzey alanları ile dolayısıyla büyüklükleri ile ters orantılı olarak değişmektedir.

## KAYNAKLAR

Alexander K. B., Goyal A., Kroeger D. M., Selvamanickam V. and Salama K. (1992) Microstructure within Domains of Melt-Processed  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  Superconductors. Phys. Rev. B 45: 5622-5627.

Ayache J. (2006) Grain Boundaries in High Temperature Superconducting Creamics. Phil. Mag. 86: 2193-2239.

Babcock S.E., Cai X Y., Kaiser D.L. and Larbalestier D.C. (1990) Weak-Link-Free Behaviour of High-Angle  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  Grain Boundaries in High Magnetic Fields. Nature 347: 167-169.

Balçı, S. (2000) Titanyumdioksit ( $\text{TiO}_2$ ) katkısının  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  Süperiletkenlerinin Yapısal, Fiziksel and Manyetik Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

### **Bardeen J., Cooper L. N. and Schrieffer J. R. (1957) Theory of Superconductivity. Phys.**

**Rev. 108: 1175-1204.**

Bean C. P. (1962) Magnetization of Hard Superconductors. Phys. Rev. Lett. 8: 250-253.

Bednorz J.G. and Müller K. A. (1986) Possible High  $T_c$  Superconductivity in The Ba-La-Cu-O System. Z. Phys. B 64: 189-193.

Chen S. K., Zhou L., Wang K.G., Wu X.Z., Zhang P.X. and Feng Y. (2002) Refinement Mechanism of  $\text{CeO}_2$  Addition on  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Particles in PMP YBCO Bulk. Physica C 366: 190-194.

Chow J. C. L., Leung H. T., Lo W. and Cardwell D. A. (1998) Analysis of The Spatial distribution of  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Inclusions in Large-Grain  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . J. Mater. Sci. 33: 1083-1089.

Cloots R., Koutzarova T., Mathieu J. P. and Ausloos M. (2005) From RE-211 to R-123. How to Control The Final microstructure of Superconducting Single-Domains. Supercond. Sci. Technol. 18: R9-R23.

Daeumling M, Seuntjens J.M. and Larbalestier. (1990) Oxygen-defect Flux Pinning,

- Anomalous Magnetization and Intra-Grain Granularity in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .  
Nature 346 : 332- 335.
- Dias F.T., Pureur P., Rodrigues Jr. P. and Obradors X. (2004) High-Field Paramagnetic Meissner Effect in Melt-Textured YBCO. *Physica C* 408: 653-654.
- Diko P. (1995) Influence of  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Particles on The Microstructure of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (123) -  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  (211) Melt-Textured Superconductors. *Phys. Rev. B* 52: 13658-13664.
- Diko P. (2000) Growth-Related Microstructure of Melt-Grown Bulk Superconductors  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ . *Supercond. Sci. Technol.* 13: 1202-1213.
- Dimos D., Chaudhari P. and Mannhart J. (1990) Superconducting Transport Properties of Grain Boundaries in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  Bicrystals. *Phys. Rev. B* 41: 4038-4049.
- Dong H., Hu R., Li J., Kou H., Xue X., Chang H., Cao H. and Zhou L. (2008) Microstructure and Stopped Growth Mechanism of Y123 Bulk Fabricated by Directional Infiltration and Growth. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 18: 1139-1144.
- Durand L., Dierickx D., Regnier P., Van Der Biest O. and Poissonnet S. (1996) Effects of  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  and Platinum Additions on Unidirectional Solidification of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . *Supercond. Sci. Technol.* 9: 190-296.
- Endo A. and Shiohara Y. (1997) Preferred Orientation of  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Particles entrapped by Melt-Textured  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  Crystals. *Physica C* 276: 25-34.
- Feng Y., Zhou L., Zhang P. X., Ji P., Wu X. Z., Luo C. X. and Xing M. R. (1992) Effect of Ho Addition on the Properties of Y-System superconductors. *J. Supercond.* 5: 95-99.
- Feng, Y., Zhou, L., Wen, J. G., Koshizuka, N., Sulpice, A., Tholence, J. L., Vallier, J. C. and Monceau, P. (1998) Fishtail Effect, Magnetic Properties and Critical Current Density of Gd-added PMP YBCO. *Physica C* 297: 75-84.
- Feng Y., Zhou L., Du S., Wu X., Tholence J. L., Vallier J. C., vd. (1996) Critical Current Density and Flux Pinning in Ho-Doped Melt Processed  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ . *J. Appl. Phys.* 80: 993-997.
- Feng Y., Pradhan A. K., Zhao Y., Wu Y., Koshizuka N., and Zhou L. (2001) Influence of Ho substitution for Y on Flux Pinning in Melt-Processed YBCO superconductors. *Physica C* 357-360: 799-802.
- Freyhardt H. C. (2007)  $\text{YBaCuO}$  and  $\text{REBaCuO}$  HTS for Applications. *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 4: 203-216.
- Fujimoto H., Murakami M., Gotoh S., Oyama T., Shiohara Y., Koshizuka N. and Tanaka S. (1989) Melt Processing of  $\text{YBaCuO}$  oxide Superconductors. *Advances in*



Superconductivity II. Springer-Verlag, Tokyo, 285.

- Goswami R., Holtz R. L., Rupich M. W., Zhang W. and Spanos G. (2007) Effect of Holmium additions on microstructure in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . *Acta Materialia* 55: 6746 - 6753.
- Hassenzahl W. V., Hazelton D. W., Johnson B. K., Komarek P., Noe M. and Reis C. T. (2004) Electric Power Applications of Superconductivity. *Proc. IEEE* 92: 1655-1674.
- Hull J. R. (1999) Using High Temperature Superconductors for Levitation Applications. *JOM: Journal of The Minerals Metals and Material Societ*: 13-18.
- Hull J. R. (2003) Applications of High-Temperature Superconductors in Power Technology. *Rep. Prog. Phys.* 66: 1865-1886.
- Hull J. R. (2000) Superconducting Bearing. *Supercond. Sci. Technol.* 13: R1-R15.
- Hull J. R. and Murakami M. (2004) Application of Bulk High-Temperature Superconductors. *Proc. IEEE* 92: 1705-1718.
- Ionescu M., Ramer R., Constantin C., Ribco L., Russel G., Ramer A. and Fagan J. (1996) Properties of Yttrium Barium Copper Oxide (YBCO) Containing Vanadium. *Electric Power Sys. Res.* 36: 139-143.
- Jin S., Tiefel T.H., Sherwood R.C., van Doandr R.B., Davis M.E., Kammlott G.W. and Fastnacht R.A. (1988a) Melt-Textured Growth polycrystalline  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  with High Transport  $J_c$  at 77 K. *Phys. Rev. B* 37: 7850-7853.
- Jin S., Tiefel T.H., Sherwood R.C., Davis M.E., van Doandr R.B., Kammlott G.W., Fastnacht R.A. and Keith H. D. (1988b) High Critical Currents in Y-Ba-Cu-O Superconductors. *Appl. Phys. Lett.* 52: 2074-2076.
- Kase J., Togano K., Kumakura H., Dietderich D.R., Irisawa N., Morimoto T. and Maeda H. (1990) Partial Melt Growth Process of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$  Textured Tapes on Silver, *Jpn. J. Appl. Phys.* 29: L1096-L1099.
- Kim C. J., Kim K. B., Park H. W., Sung T. H., Kuk I. H. and Hong G. W. (1996) Microstructure of Melt-Textured Y-Ba-Cu-O Oxides with  $\text{CeO}_2$  Addition and The Formation Mechanism of the Ba-Cu-O Platelet Structure. *Supercond. Sci. Technol.* 9: 76-87.
- Kim C. J. and McGinn P. J. (1994) Anomalous Magnetization and Oxygen Diffusion in The Melt-Textured Y-Ba- Cu-O Domain with without  $\text{BaCeO}_3$  Addition. *Physica C* 222: 177-183.
- Kim C. J., Kim K. B., Park H. W., Kuk I. H. and Hong G. W. (1997a) Three-Dimensional Shape of The  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Pattern in Melt-Textured Y-Ba-Cu-O Oxide. *J. Meter. Sci.* 32: 4701-4709.

- Kim C. J., Kim K. B., Kuk I. H., Hong G. W., Lee Y. S. and Park H. S. (1997b) Microstructure Change During Oxygen Annealing and The Effect on The Levitation Force of Melt-Textured Y-Ba-Cu-O Superconductors. *Supercond. Sci. Technol.* 10: 947- 954.
- Kim C. J. and Hong G. W. (1999) Defect Formation, Distribution and Size Reduction of  $Y_2BaCuO_5$  in Melt-Processed YBCO Superconductors. *Supercond. Sci. Technol.* 12: R27-R41.
- Koblishka-Andneva A., Koblishka M.R., Mücklich F., Hari Babu N., Cardwell D.A. and Murakami M. (2005) Comparatiand study of Grain Orientation in Melt-Textured HTSC with Different Additions. *Physica C* 426: 618-624.
- Krauns Ch., Sumida M., Tagami M., Yamada Y. and Shiohara Y. (1994) Solubility of RE Elements into Ba-Cu-O melts and The Entalpy of Dissolution. *Z. Phys. B.* 96: 207-212.
- Kulikov, D. V., Trushin, Yu. V., Sauerzopf, F. M., Zehetmayer, M. and Weber, H. W. (2001) Changes in the Transition Temperature After Irradiation and Annealing in Single Crystalline  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , *Physica C* 355: 245-250.
- Lee B. J. and Lee D. N. (1991) Thermodynamic Evaluation for The  $Y_2O_3$ -BaO-CuO<sub>x</sub> System. *J. Am. Cer. Soc.* 74:78-84.
- Lee D. F., Selvamanickam V and Salama K. (1992) Influences of  $Y_2BaCuO_5$  Particale-Size and Content on The Transport Critical-Density of  $YBa_2Cu_3O_x$  Superconductor. *Phsica C* 202: 83-96.
- Li F., Vipulanandan C., Zhou X.Y., Salama K. (2006) Nanoscale  $Y_2BaCuO_5$  Particles For Producing Melt-Textured YBCO Large Grains. *Supercond. Sci. Technol.* 19: 589-595.
- Lo, W. (2000) Recent Progress in Large-Grain REBCO Melt Texturing. *JOM: Journal of The Minerals Metals and Material Society*, 52: 18-21.
- Lou Y.Y., Wu Y.C., Xiong X.M., Li Q.Y., Gawalek W. and He Z.H. (2000) Effects of Precursors with Fine  $BaZrO_3$  Inclusions on the Growth and Microstructure of Textured YBCO. *J. Superconductivity* 13: 575-581.
- Lubenets S.V., Natsik V.D. and Fomenko L.S. (2004) Plasticity and Strength of Metal Oxide High-Temperature Superconductors (Review), *Low Temp. Phys.* 30: 345-376.
- Ma K. B., Postrekhin Y. V. and Chu W. K. (2003) Superconductor and Magnet Levitation Devices. *Rev. Sci. Instrum.* 74: 4989-5017.

- Maeda H., Tanaka Y., Fukutomi M. and Asano T. (1988) A New High-r. Oxide Superconductor without a Rare Earth Element. *Jpn. J. Appl. Phys.* 27: L209-L210.
- Matsuda Y., Hirai Y., Komiyama S., Terashima T., Bando Y., Iijima K., Yamamota K. and Hirata K. (1989) Magnetoresistance of c-Axis-Oriented Epitaxial  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  Films Above  $T_c$ , *Phys. Rev. B*, 40 : 5176-5179.
- Matsushita T. (2000) Flux Pinning in Superconducting 123 Materials. *Supercond. Sci. Technol.* 13: 730-737.
- McGinn P., Chen W., Zhou N., Lanagan M. and Balachandran U. (1990) Microstructure and Critical Current Density of Zone Melt Textured  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ . *Appl. Phys. Lett.* 57: 1455-1457.
- Meignan T., McGinn P. (1997) The Effect of Platinum Additions on  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Precipitation and Coarsening During Melt Texturing of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . *Supercond. Sci. Technol.* 10: 576-582.
- Meissner W.H., and Ochsenfeld, R. (1933) Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit. *Naturwiss* 21: 787-788.
- Mironova M., Lee D. F. and Salama K. (1993) TEM and Critical-Current Density Studies of Melt-Textured  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  with Silandri and  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Additions. *Physica C* 211: 188-204.
- Murakami, M. (2007) Processing of Applications of Bulk RE-Ba-Cu-O Superconductors. *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 4: 225-241.
- Murakami, M. (1992) Processing of Bulk  $\text{YBaCuO}$ . *Supercond. Sci. Technol.* 5: 185-203.
- Murakami, M. (2000a) The Properties of Melt-Textured Superconductors. *JOM: Journal of The Minerals Metals and Material Society* 52: 22-24.
- Murakami, M. (2000b) Progress in Applications of Bulk High Temperature Superconductors. *Supercond. Sci. Technol.* 13: 448-450.
- Murakami M. (1992) Melt Processed High-Temperature Superconductors, World Scientific, Singapore.
- Murakami M., Morita M., Doi K. and Miyamoto K. (1989) A New Process With The Promise of High- $J_c$  in Oxide Superconductors *Jpn. J. Appl. Phys.* 28: 1189-1194.
- Murakami M., Gotoh S., Koshizuka N., Tanaka S., Matsushita T., Kambe S. and Kitazawa K. (1990) Critical Currents and Flux Creep in Melt Processed High- $T_c$  Oxide Superconductors. *Cryogenics* 30: 390-396.
- Murakami M., Gotoh S., Fujimoto H., Yamaguchi K., Koshizuka N. and Tanaka S.

- (1991) Flux Pinning and Critical Currents in Melt Processed YBCO Superconductors. *Supercond. Sci. Technol.* 4: S43-50.
- Murakami M. (1994) Melt-Processing of High Temperature Superconductors. *Progr. Mater. Sci.* 38: 311-357.
- Murakami M., Sakai N., Higuchi T. and Yoo S. I. (1996) Melt-Processed Light Rare Earth Element-Ba-Cu-O. *Supercond. Sci. Technol.* 9: 1015-1032.
- Murakami M., Yamaguchi K., Fujimoto H., Nakamura N., Taguchi T., Koshizuka N. and Tanaka S. (1992) Flux Pinning by Nonsuperconducting Inclusions in Melt-Processed YBaCuO Superconductors. *Cryogenics* 32: 930-935.
- Murakami M., Yoo S.I., Higuchi T., Sakai N., Weltz J., Koshizuka N. and Tanaka S. (1994) Flux Pinning in Melt-Grown NdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> and SmBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> Superconductors. *Jpn. J. Appl. Phys.* 33: L715-717.
- Muralidhar M., Koblischka M.R. and Murakami M. (1999) Refinement of Secondary Phase Particles for High Critical Current Densities in (Nd,Eu,Gd)-Ba-Cu-O Superconductors. *Physica C.* 313: 232-240.
- Nagashima K., Otani T. and Murakami M. (1999) Magnetic Interaction Between Permanent Magnets and Bulk Superconductors. *Physica C* 328: 137- 144.
- Nariki S., Hinai H., Sakai N., Murakami M. and Otsuka M. (2002) Trapped Magnetic Field of Gd-Ba-Cu-O/Ag Bulk Fabricated in Air. *Physica C* 373: 764- 768.
- Nikolo M. (1993) Flux Dynamics in High-Temperature Superconductors. *Supercond. Sci. Technol.* 6: 618-623.
- Ochertyanova L. I. and Bel'skii N. K. (2004) Composition and Properties of Superconducting Materials Containing Rare Earths, V, and W., *Inorganic Materials* 40: 50-53.
- Ogawa N., Hirabayashi I. and Tanaka S. (1991) Preparation of A High-Jc YBCO Bulk Superconductor by The Platinum Doped Melt Growth Method. *Physica C* 177: 101-105.
- Onnes H.K. (1911) Superconductivity and Magnetism, *Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden*, 119.
- Parkin S.S., Lee V.Y., Engler E.M., Nazzari A.I., Huang T.C., Gorman G., Savoy R. and Bayers R. (1988) Bulk Superconductivity at 125 K in Tl<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub>. *Phys. Rev. Lett.* 60: 2539-2542.
- Salama K. and Lee D. F. (1994) Progress in Melt Texturing of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> Superconductor. *Supercond. Sci. Technol.* 7: 177-193.
- Salama K., Selvamanickam V., Gao L. and Sun K. (1989) High-Current Density in Bulk

- YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> Superconductor. Appl. Phys. Lett. 54: 2352-2354.
- Sandiumenge F., Pinol S., Obradors x., Snoeck E. and Roucau C. (1994) Microstructure of Directionally Solidified High-Critical-Current YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> – Y<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> Composites. Phys. Rev. B 50: 7032-7045.
- Sarker M. M. and Flavell W. R. (1998) Review of Applications of High-Temperature Superconductors. J. Supercond. 11: 209-213.
- Schilling A., Cantoni M., Guo J.D. and Ott H.R. (1993) Superconductivity above 130 K in The Hg-Ba-Cu-O System. Nature 363: 56-58.
- Schmitz G. J. and Nestler B. (1998) Simulation of Phase Transitions in Multiphase Systems: Peritectic Solidification of (RE)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> Superconductors. Mat. Sci. and Eng. B 53: 23-27.
- Seiki S., Hayashi A., Okamoto H., Izumi T. and Shiohara Y. (2004) Critical Current Properties in Magnetic Fields of YBCO Superconducting rods Prepared by Unidirectional Solidification Method. Physica C 412: 963-966.
- Sheng Z.Z. and Hermann A.M. (1988a) Superconductivity in The Rare- Earth –Free Tl-Ba-Cu-O System above Liquid-Nitrogen Temperature. Nature 332: 55-58.
- Sheng Z.Z. and Hermann A.M. (1988b) Bulk Superconductivity at 120 K in The Tl-Ca/Ba-Cu-O System. Nature, 332: 138-139.
- Shi D., Chen J. G., Xu M., Kourous H. E., Fang Y., Li Y. H. and Boley M. S. (1990) Crystal Defects and Critical Currents in YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub>. Supercond. Sci. Technol. 3: 457-463.
- Shi D., Lahiri K., Qu D., Sagar S., Solovjov V. F. and Pan V. M. (1997) Surface Nucleation, Domain Growth Mechanism, and Factors Dominating superconducting Properties in Seeded Melt Grown YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub>. J. Mater. Res. 12: 3036-3045.
- Shiohara Y. and Endo A. (1997) Crystal Growth of Bulk High-T<sub>c</sub> Superconducting Oxide Materials., Mater. Sci. Eng. R19: 1-86.
- Shlyk L., Krabbes G. and Fuchs G. (2003) Trapped Field and Levitation Force in Melt-Textured YBCO Doped with Ni and Li. Physica C 390: 325-329.
- Shlyk L., Schüpp B., Krabbes G., Nenkov K. and Fuchs G. (2004) Microstructure and Superconducting Properties of Melt-processed YBCO with Periodic Morphology. Physica C 406: 107-114.
- Tent A., Qu D., Shi D., Bresser W. J., Broolchand P. and Chai Z.X. (1998) Angle Dependence of Magnetization in a Single-Domain YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> Sphere. Phys. Rev. B 58: 761-767.
- Teshima H., Morita M. and Hasimoto M. (1996) Comparison of The Levitation Forces

- of Melt-Processed YBaCuO Superconductors for Different Magnets. *Physica C* 269: 15-21.
- Vandewalle N., Pirard E., Cloots R. and Ausloos M. (1998) The Non-Trivial Dispersion of  $Y_2BaCuO_5$  Particles Trapped in The  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  Crystal matrix. *Phil. Mag. Lett.* 77: 301-306.
- Varanasi C., Black M. A. and McGinn P. J. (1994) A Comparison of The Effects of  $PtO_2$  and  $BaSnO_3$  additions on The Refinement of  $Y_2BaCuO_5$  and magnetization of Textured  $YBa_2Cu_3O_{6+x}$ . *Supercond. Sci. Technol.* 7: 10-16.
- Wada T., Suzuki N., Maeda A., Uchida S., Uchinokura K. and Tanaka S. (1988) High Transition Temperature Superconductor  $LaBa_2Cu_3O_{7-y}$  with Zero Resistance at 92 K *Appl. Phys. Lett.* 52: 1989-1991.
- Wang R., Ren H., Xiao L., He Q., Wang C. and Yu D. (1990) Microstructure of An MTG  $YBa_2Cu_3O_y$  Superconductor. *Supercond. Sci. Technol.* 3: 344-346.
- Wang Z. L., Goyal A. and Kroeger D. M. (1993) Structural and chemical Disorder Near the  $Y_2BaCuO_5/YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  Interface and Its Possible Relation to The Flux-Pinning Behavior in Melt-Textured  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . *Phys. Rev. B* 47: 5373-5382.
- Wang J., Yanoviak M. M. and Raj R. (1989) Type II Magnetic Levitation on Sinter-Forged  $YBa_2Cu_3O_x$  Superconductor. *J. Am. Ceram. Soc.* 72: 846-848.
- Wu M.K., Ashburn J.R., Torng C.J., Hor P.H., Meng R.L., Gao L., Huang Z.J., Wang Y.Q. and Chu C.W. (1987) Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure. *Phys. Rev. Lett.*, 58: 908-910.
- Yamaguchi K., Murakami, M., Fujimoto H., Gotoh S., Koshizuka N. and Tanaka S. (1990) TEM Observation of Interfaces Between  $Y_2BaCuO_5$  Inclusions and The  $YBa_2Cu_3O_7$  Matrix in Melt-Powder-Melt-Growth Processed YBaCuO. *Japan J. Appl. Phys.* 29: L1428-L1431.
- Yamaguchi K., Murakami, M., Fujimoto H., Gotoh S., Oyama T., Shiohara Y., Koshizuka N. and Tanaka S. (1991) Microstructures of The Melt-Powder-Melt-Growth Processed YBaCuO. *J. Mater. Res.* 6: 1404-1407.
- Yang W. M., Zhou L. and Nicolsky R. (2003) The Relationship of Levitation Force Betanden Individual and Double-Layer Disc  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  Superconductors. *Supercond. Sci. Technol.* 16: 451-454.
- Yang W. M., Zhou L., Feng Y., Zhang P. X., Wang J. R., Zhang C. P., Yu Z. M., Tang X. D. and Wei W. (2001) The Effect of Magnet Configurations on The Levitation Force of Melt Processed YBCO Bulk Superconductors. *Physica C*, 354: 5-12.
- Yang W. M., Feng Y., Zhou L., Zhang P. X., Wu M.Z., Chen S., Wu X. Z. and Gawalek



- W. (1999) The Effect of The Grain Alignment on The Levitation Force in Single Domain  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  Bulk Superconductors. *Physica C* 319: 164-168.
- Yoo S.I. and McCallum R.W. (1993) Phase Diagram in The Nd-Ba-Cu-O System. *Physica C* 210: 147-156.
- Yoo S. I., Sakai N., Takaichi H., Higuchi T. and Murakami M. (1994) Melt Processing for Obtaining  $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  Superconductors with High  $T_c$  and Large  $J_c$ . *J. Appl. Phys.* 65: 633-635.
- Yu R., Mora J., Vilalta N., Sandiumenge F., Gomis V., Pinol S. and Obradaors X. (1997) Effect of Melt-Processed Temperature on The Microstructure and The Levitation Force of YBCO Melt-Textured Superconductors. *Supercond. Sci. Technol.* 10: 583-589.
- Yu Z. M., Zhang C. P., Xiong X. M., Wang J. R., Feng Y. and Zhou L. (2003) Improvement of Superconducting Properties by Y-211 Particle Size and Oxygenation Temperature Control for Bulk Y-Ba-Cu-O. *Physica C* 386: 236-240.
- Zanota A., Kvam E. P., Balkin D. and McGinn P. J. (1993) Crystalline Linkage and Defect Structures in Bulk Zone Melt-Textured  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  Observed by Transmission Electron-Microscopy. *Appl. Phys. Lett.* 62: 2722-2724.
- Zeng R., Murashov V., Beales T. P., Liu H. K. and Dou S.X. (1997) High Temperature Superconducting Magnetic Levitation Train. *Appl. Supercond.* 5: 201-204.
- Zhang P. X., Weber H. W. and Zhou L. (1995a) Irreversibility Lines and Critical-Current Densities of PMP-Processed YBCO. *Supercond. Sci. Technol.* 8: 701-704.
- Zhang P. X., Zhou L., Ji P., Blan W. M., Wu X. Z. and Lai Z. H. (1995b) The Effect of Annealing on Stacking-Faults and  $J(c)$  Values of PMP Processed YBCO. *Supercond. Sci. Technol.* 8: 15-19
- Zhao Y., Han S.H., Zhang H., Choi C.H. (2000) Reduction of  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Particle size in Melt -Textured  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  Crystals. *Physica C* 337: 106-110.
- Zhou L., Zhang P.X, Ji P., Wang K., Wang J. and Wu X. (1990) The Properties of YBCO Superconductors Prepared by A New Approach- The Powder Melting Process. *Supercond. Sci. Technol.* 3: 490-492.
- Zhou L., Chen K., Wang K.G., Wu X.Z., Zhang P.X, Feng Y. (2001) Synthesis of Ultrafine  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  Powder and its Incorporation into YBCO Bulk By Powder Melting Process. *Physica C* 363: 99-106.

**ÖZGEÇMİŞ**

**Adı Soyadı** : Gülcan GÜLTİN  
**Ana Adı** : Melek  
**Baba Adı** : Ali  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Çine/AYDIN 30.03.1977  
**Lisans Eğitimi ve Mezuniyet Tarihi** : Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim  
Fakültesi Fizik Öğretmenliği 2000 Temmuz  
**Çalıştığı Yer** : Denizli Pakize ve Suzan Özkardeş İlköğretim Okulu  
Müdür Yardımcısı  
**Bildiği Yabancı Dil** : İngilizce