

**NANO BOYUTTA KALAY KATKILI Bi-2212
SERAMİKLERİN SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ

MEHMET ERSİN AYTEKİN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMLER
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
TEMMUZ- 2020**

**NANO BOYUTTA KALAY KATKILI Bi-2212
SERAMİKLERİN SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ

MEHMET ERSİN AYTEKİN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMLER
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Prof. Dr. Berdan ÖZKURT**

**MERSİN
TEMMUZ - 2020**

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahribat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules,
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

22 Temmuz 2020 / 22 July 2020



İmza / Signature

Mehmet Ersin AYTEKİN

ÖZET

NANO BOYUTTA KALAY KATKILI Bi-2212 SERAMİKLERİN SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİ

Bu tezde, Bi-2212 seramiklerin süperiletkenlik özellikleri üzerine nano boyutta SnO₂ katkısının etkisi araştırıldı. Bi-2212 sisteminin morfolojik yapısı üzerine sodyum katkılamanın olumlu etkisine bağlı olarak Bi₂Sr_{2-x}Sn_xCa₁Cu_{1.75}Na_{0.25}O_y (x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20) başlangıç kompozisyonu seçildi. Değişen katkılama oranları ile dört farklı süperiletken örnek katı hal tepkime yöntemi ile hazırlandı. Süperiletken örnekler X-ışını kırınım (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), özdirenç (R-T), manyetizasyon (M-H) ve mekaniksel ölçümler gerçekleştirilerek analiz edildi.

XRD ölçüm sonuçlarında, bazı safsızlık fazlarının oluşumuna rağmen tüm örneklerde temel faz yapısının Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazı olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, yüksek oranda Bi-2212 süperiletkenlik fazının oluşumu ve Bi-2212 süperiletkenlik fazına ait piklerin şiddetlerinde artış x = 0.05 oranında nano boyutta kalay katkılı örnekte gözlemlenmiştir. SEM mikro yapı analizi sonuçlarında, tüm örneklerde Bi-2212 yüksek sıcaklık fazının varlığını işaret eden plaka benzeri tanelerin oluşumu gözlemlendi. Bunun yanında, daha büyük plaka benzeri taneler ve daha az boşluklu yapının oluşması ile daha iyi yüzey morfolojisi x = 0.05 nano boyutta kalay içeren örneğe aittir. Özdirenç sıcaklık grafiğinde, tüm örneklerin T_conset değerlerinden sonra süperiletkenlik geçişine sahip olduğu açıkça gösterilmektedir. Ayrıca, en yüksek süperiletkenlik geçiş sıcaklığı x = 0.05 oranında nano boyutlu kalay katkılı örnekte elde edildi. Diğer taraftan, örneklerin manyetizasyon özellikleri manyetik histerezis ölçümleri ile tespit edildi. Histerezis ölçümleri sonucunda elde edilen bulgular tüm örneklerde Bi-2212 süperiletkenlerin karakteristik özelliği olan diamagnetik davranış açıkça gözlemlendi. Kritik akım yoğunluğu değerleri ise Bean's modeli kullanılarak hesaplandı. En yüksek kritik akım yoğunluğu nano boyutta kalay içermeyen örnekte tespit edildi.

Seramik örneklerin mekaniksel özellikleri Vickers mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ile analiz edildi. Elde edilen mikro sertlik ölçüm sonuçlarında, en yüksek sertlik değeri x = 0.1 kalay katkılı örnekte gözlemlendi. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonucunda elde edilen bulgularda ise, örneklerin yüzey pürüzlülük değeri katkılama oranı ile giderek arttı. En yüksek pürüzlülük değeri ise x = 0.20 nano boyutta kalay katkılı örnekte gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, Bi-2212 sistemindeki optimal oranda sodyum ($x = 0.25$) ve nano-boyutta SnO_2 ($x = 0.05$) ikili katkısı süperiletkenlik özelliklerin gelişmesinde etkili olmuştur.

Anahtar Kelimeler: BSCCO, Kritik Akım Yoğunluğu, XRD, $\text{Bi}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$

Danışman: Prof.Dr. Berdan ÖZKURT, Mersin Üniversitesi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı, Mersin.



ABSTRACT

SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF NANO SIZED TIN DOPED Bi-2212 CERAMICS

In this thesis, the effect of nano-size SnO₂ addition on the superconductivity properties of Bi-2212 ceramics has been investigated. The starting composition of Bi₂Sr_{2-x}Sn_xCa₁Cu_{1.75}Na_{0.25}O_y (x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20) has selected due to the positive effect of sodium addition on the morphological structure of Bi-2212 system. Four different superconducting samples with varying doping ratios were prepared by solid state reaction method. Superconducting samples have been analyzed by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), resistivity (R-T), magnetization (M-H) and mechanical measurements.

In XRD measurement results, although some impurity phases were formed, the basic phase structure was determined Bi-2212 high temperature superconductivity phase in all samples. In addition, formation of a high rate of Bi-2212 superconductivity phase and increase in intensity of peaks of Bi-2212 superconductivity phase were observed in x = 0.05 nano-size tin doped sample. In the SEM microstructure analysis results, the formation of plate-like grains indicating the presence of the Bi-2212 high temperature phase in all samples was observed. In addition, the best surface morphology with the formation of larger plate-like grains and less porous structure belong to the sample including x = 0.05 nano-sized tin. The results of electrical resistivity measurement have clearly shown that all samples have superconductivity transition after their T_c^{onset} values. Also, the highest superconductivity transition temperature was observed in x = 0.05 nano sized tin doped sample. On the other hand, the magnetization properties of the samples were determined by magnetic hysteresis measurements. In the results of hysteresis graphs, the diamagnetic properties of Bi-2212 superconductors were observed in all samples. Critical current density values were calculated using Bean's model. The highest critical current density was determined in free nano tin doped.

The mechanical properties of the ceramic samples were analyzed by Vickers Microhardness and surface roughness measurements. In the obtained microhardness test results, highest hardness value were detected in x = 0.1 tin doped samples. The surface roughness values of the samples have been increased with increasing nano sized tin contents. In the results obtained from the surface roughness measurement, highest roughness value among samples has been observed in sample including x = 0.2 nano-sized tin.

The results showed that the optimal ratio of sodium ($x = 0.25$) and nano-sized SnO_2 ($x = 0.05$) co-doping in the Bi-2212 system was effective in the development of superconducting properties.

Keywords: BSCCO, Critical Current Density, XRD, $\text{Bi}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$

Advisor: Prof. Dr. Berdan ÖZKURT, Department of Nanotechnology and Advanced Materials, University of Mersin



TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince, araştırma ve laboratuvar çalışmalarında tüm bilgi ve deneyimini benimle paylaşarak eğitim sürecimi yönlendiren ve tecrübeleriyle gelişmemi sağlayan çok değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Berdan ÖZKURT'a teşekkür ederim. Doktora süreci boyunca desteklerini esirgemeyen ve bilgi birikimlerini benimle paylaşan Prof. Dr. Kasım OCAKOĞLU'na ve Doç. Dr. Mine İNCE OCAKOĞLU'na teşekkür ederim. Tez süreci boyunca, tez malzemelerimin hazırlanma süreci ve malzemelerimin ölçüm aşamaları sırasında gösterdiği ilgi ve desteklerinden dolayı Tarsus Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ'ye teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca gösterdiği destekten dolayı Tarsus Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Uğur EŞME'ye teşekkür ederim. Doktora eğitimim süreci boyunca ilgi ve desteklerinden dolayı Öğretim Görevlisi Dr. Seda BANLI ve Dr. Şeref ÖCALIR'a teşekkür ederim. Tüm lisansüstü çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili ailem, babam Orhan AYTEKİN ve annem Nimet AYTEKİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında, 2211-C Yurtiçi Öncelikli Alanlar Doktora Burs Programı ile beni maddi açıdan destekleyen bilim ve bilim insanınının destekçisi Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Bu tez çalışması, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından 2018-3-TP3-3086 no'lu doktora projesi kapsamında desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	x
TABLolar DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR ve SİMGELER	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Süperiletkenlik Kavramının Keşfi	2
1.2. Süperiletken Malzemelerin Özellikleri	2
1.3. Süperiletkenlik Teorileri	7
1.4. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenler	9
1.5. Bizmut Tabanlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenler	12
1.6. Bizmut Tabanlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerde Faz Oluşumu	15
1.7. Süperiletken Sistemlerin Teknoloji ve Sanayide Kullanım Alanları	20
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	45
3.1. Katı Hal Tepkime Yöntemi	45
3.2. Sol-Jel Yöntemi	46
3.3. Süperiletken Örneklerin Hazırlanması	47
3.4. Örnekler Üzerine Sinterleme İşleminin Uygulanması	50
3.5. Deneysel Ölçümler	51
3.5.1. X Işını Kırınım (XRD) Yöntemi	51
3.5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu Ölçümü (SEM)	52
3.5.3. Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümleri	53
3.5.4. Manyetizasyon (M-H) Ölçümleri	54
3.5.5. Mikro Sertlik Ölçümü	55
3.5.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
4.1. X-Işını Kırınım Ölçümü Bulguları	58
4.1.1. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait X-Işını Kırınım Ölçümleri	59
4.1.2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait X-Işını Kırınım Ölçümleri	60
4.1.3. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.9}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait X-Işını Kırınım Ölçümleri	62
4.1.4. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.8}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait X-Işını Kırınım Ölçümleri	63
4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu Bulguları	64
4.2.1. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu Bulguları	64
4.2.2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu Bulguları	66
4.2.3. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.9}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu Bulguları	68
4.2.4. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.8}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu Bulguları	70
4.3. Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları	72
4.3.1. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları.	72
4.3.2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları	74

	Sayfa
4.3.3. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları	75
4.3.4. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları	76
4.4. Hol Taşıyıcı Konsantrasyonu Hesaplaması	78
4.5. Manyetizasyon (M-H) Ölçümü Bulguları	79
4.6. Kritik Akım Yoğunluğu Ölçümleri	82
4.7. Mikro Sertlik Ölçümü	85
4.8. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	87
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	89
5.1. Sonuçlar	89
5.2. X-ışını Kırınım Ölçümü Sonuçları	89
5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu Ölçümü Sonuçları	90
5.4. Elektriksel Özdirenç Ölçümü Sonuçları	92
5.5. Manyetizasyon (M-H) Ölçümü Sonuçları	93
5.6. Mekaniksel Ölçüm Sonuçları	94
5.7. Öneriler	94
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	105

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1 BSCCO Süperiletken ailesinin geçiş sıcaklığı ve örgü parametre değerleri	14
Tablo 2 Örneklere ait kritik akım yoğunluğu değeri	84
Tablo 3 A, B, C ve D örneklerine ait örgü parametre değerleri	90
Tablo 4 Örneklerin süperiletkenlik geçiş sıcaklığı değerleri	92
Tablo 5 Örneklerin 150 K sıcaklıkta öz direnç değerleri	93



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Cıva elementine ait direnç sıcaklık grafiği	2
Şekil 1.2 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilen normal iletken ve süperiletkenlere ait öz direnç-sıcaklık fonksiyonu	3
Şekil 1.3 Süperiletken malzemelerde akım yoğunluğu, sıcaklık ve manyetik alan ilişkisi	4
Şekil 1.4 Süperiletken bir malzemede manyetik durum a) Süperiletken durumunda manyetik akının dışarlanması b) Normal durumda manyetik akının nüfuz etmesi	5
Şekil 1.5 I. Tip ve II. tip süperiletkenlerin manyetik alan altında davranışı	6
Şekil 1.6 Cooper Çifti gösterimi	8
Şekil 1.7 Elektronun örgü içerisinde atomları kendine doğru çekmesi durumu	9
Şekil 1.8 Süperiletkenlerde tane yapılarının modellenmesi	11
Şekil 1.9 BSCCO süperilet sisteminde Bi-2201, Bi-2212 ve Bi-2223 fazlarına ait kristal yapılar	13
Şekil 1.10 BSCCO süperiletken sisteminde Farklı fazlara ait hol konsantrasyonu grafiği	15
Şekil 1.11 Farklı sıcaklıklardan elde edilen X-Işını desenleri	16
Şekil 1.12 BSCCO süperiletken sisteminde ilk 10 dakika süreçte uygulanan ısı işlemlerde meydana gelen faz yapıları	17
Şekil 1.13 Bi-2212 faz oluşumunu analiz etmek için değişik sıcaklıklarda alınan XRD desenleri	18
Şekil 1.14 Sato tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilen XRD grafiği	19
Şekil 1.15 Süperiletken manyetik enerji depolama sistemi	21
Şekil 3.1 Katı hal tepkime yöntemi	46
Şekil 3.2 Sol-jel yöntemi	47
Şekil 3.3 a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_y$ b) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.95}\text{Na}_{0.05}\text{O}_y$ c) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.90}\text{Na}_{0.10}\text{O}_y$ d) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ farklı katkılama oranlarıyla elde edilen süperiletken örneklerden alınan SEM görüntüleri	49
Şekil 3.4 Bragg Yasası	51
Şekil 3.5 Taramalı elektron mikroskobu çalışma prensibi	52
Şekil 3.6 PPMS cihazında kullanılan numune tutucu şekli	53
Şekil 3.7 Cryogenik Limited PPMS cihazı	54
Şekil 3.8 HV-100 Vickers Microharness marka test cihazı	55
Şekil 3.9 TR100 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	56
Şekil 4.1 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine ait X-Işını Kırınım (XRD) Grafiği	58
Şekil 4.2 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine ait X-Işını Kırınım (XRD) Grafiği	60
Şekil 4.3 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.9}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine ait X-Işını Kırınım (XRD) Grafiği	62
Şekil 4.4 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.8}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine ait X-Işını Kırınım (XRD) Grafiği	63
Şekil 4.5 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü	65
Şekil 4.6 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü	67
Şekil 4.7 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.90}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü	69
Şekil 4.8 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.80}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü	71
Şekil 4.9 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Grafiği	73
Şekil 4.10 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Grafiği	75
Şekil 4.11 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.90}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Grafiği	76
Şekil 4.12 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.80}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Grafiği	77
Şekil 4.13 Tüm örneklere ait hol konsantrasyonu	78
Şekil 4.14 Tüm örneklere ait 15 K sıcaklıkta histerezis eğrisi	80

Şekil 4.15 Tüm örneklere ait 25 K sıcaklıkta histerezis eğrisi	80
Şekil 4.16 15 K sıcaklıkta uygulanan manyetik alanın bir fonksiyonu olarak tüm Örneklere ait kritik akım yoğunluğu	83
Şekil 4.17 Tüm örneklere ait mikro sertlik ölçüm sonuçları	86
Şekil 4.18 Pürüzlülük ölçüm sonuçları	88
Şekil 5.1 Tüm örneklere ait X-Işını Kırınım deseni	89
Şekil 5.2 A, B, C ve D örneklerinin SEM görüntüleri	91
Şekil 5.3 A, B, C ve D örneklerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilen öz direnç sıcaklık grafiği	92



KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
T_c	Kritik Geçiş Sıcaklığı
$T_{c\text{onset}}$	Onset Geçiş Sıcaklığı
$T_{c\text{offset}}$	Offset Geçiş Sıcaklığı
ΔT_c	Onset ve offset geçiş sıcaklığı farkı
J_c	Kritik Akım Yoğunluğu
H_v	Vickers mikro sertlik değeri
K	Kelvin Sıcaklık Değeri
H_c	Süperiletkenlerde kritik manyetik alan
H_{c1}	II. tip süperiletkenlerde 1. üst kritik manyetik alan değeri
H_{c2}	II. tip süperiletkenlerde 2. üst kritik manyetik alan değeri
H	Malzemeye uygulanan dış manyetik alan şiddeti
ξ	Koherens Uzunluğu
p	Hol taşıyıcı konsantrasyonu
F_L	Lorentz Kuvveti
R	Malzemenin Sahip Olduğu Direnç Değeri
BSCCO	Bi-Sr-Ca-Cu-O
YBCO	Y-Ba-Cu-O
HBCO	Hg-Ba-Cu-O
TBCO	Tl-Ba-Cu-O
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
XRD	X-Işını Kırınım (X-Ray Diffraction)
PPMS	Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi (Physical Property Measurement System)

1. GİRİŞ

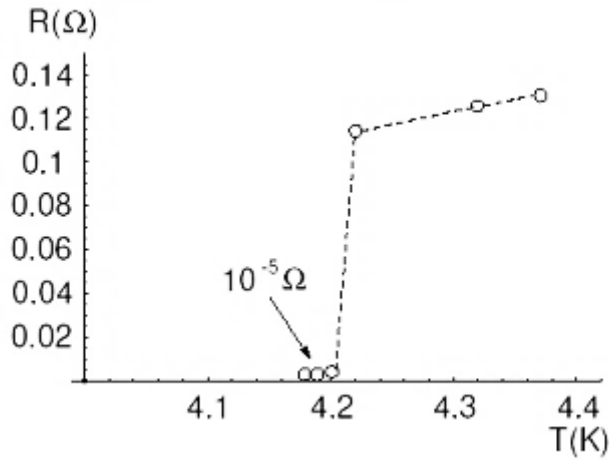
Son yıllarda gelişen teknoloji ve küresel nüfusun artması ile enerjiye olan talep önemli bir şekilde artmıştır. Günümüzde ihtiyaç duyulan küresel enerji talebinin % 87 gibi çok büyük bir bölümü fosil yakıtlardan (petrol, doğalgaz ve kömür) elde edilmektedir [1]. Aynı zamanda teknolojinin bugünkü düzeyi ve giderek ilerlemesi ile yapılan tahminler doğrultusunda gelecek 30 yıllık süreçte ihtiyaç duyulan küresel enerji talebinin % 88'inin fosil yakıtlar ile karşılanmaya devam edeceği tahmin edilmektedir [2]. Fosil yakıtların kullanıldığı enerji üretim santrallerinde, fosil yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji bir türbine güç olarak iletilir ve türbinlerde oluşan dönme hareketi ile enerji üretimi sağlanır. Bunun yanında, bu tür yakıtlar enerji üretim tesislerinde kullanıldığında karbondioksit ya da karbon monoksit gibi ekosisteme önemli ölçüde zarar veren tehlikeli gazlar açığa çıkmaktadır. Bu gazların yüksek oranda emisyonu atmosferde sera etkisi yaratarak küresel ısınmaya sebep olabilmektedir. Küresel ısınma ile oluşan iklim değişikliklerinin geri dönülmesi zor olan ekolojik ve çevresel zararları meydana getirmesi küresel ısınmayı önleyici önlemler almaya yöneltmiştir. Bu bağlamda, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması için enerji yönetimi ve yenilenebilir enerji politikaları oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynaklar yerine güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyokütle enerjisi gibi alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır.

Elektrik iletiminde serbest elektronların hareketi, örgü içerisindeki kusurlar ve örgüde meydana gelen titreşimlerden dolayı engellenebilmektedir. Serbest elektronların elektrik iletimi sırasında bu şekilde engellenmesi enerji kaybını oluşturmaktadır. Bilindiği gibi enerji santrallerinde üretilen elektriğin geleneksel iletim kabloları ile iletimi esnasında, kablonun sahip olduğu elektriksel direnç ile önemli ölçüde kayıplar meydana gelmektedir. Oluşan bu kayıplar enerjinin verimli kullanılmasında önemli bir problemdir. Diğer taraftan, çevre kirliliği ya da küresel ısınma konusunda enerjinin üretimi kadar üretilen enerjinin verimli bir şekilde kullanılması da önemli bir husustur. Bazı saf metaller ve birden fazla metalin bir araya gelerek oluşturduğu alaşımlar iyi elektriksel iletme sahiptir. Bunun yanında, bu tür malzemeler çok düşük sıcaklıklarda, genellikle sıvı helyum sıcaklığında soğutulduğu zaman, sahip oldukları direnç değerlerinde sert bir düşüş başlar ve daha sonra sıfır direnç gösterirler. Elektriksel güç iletiminde sıfır dirence sahip ($R = 0$) süperiletken kabloların kullanılması ve yaygınlaştırılması enerjinin verimli kullanımı açısından önemli bir çözüm sunmaktadır. Böylece elektrik enerjisinin iletimde bu tür malzemeler kullanıldığı zaman oluşan kayıpları en aza indirebilmektedir. Aynı zamanda süperiletken malzemelerin teknolojiye enerji iletiminde kullanılabilmesi için bu tip yeni malzemelerin araştırılması ve geliştirilmesi çalışmaları son hızla devam etmektedir. Yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda süperiletken malzemelerin

süperiletkenlik geçiş sıcaklığı, manyetik alan taşıma kapasiteleri ve mekaniksel özellikleri gibi temel özelliklerini geliştirmeyi amaçlanmaktadır.

1.1. Süperiletkenlik Kavramının Keşfi

Süperiletkenlik durumu malzemenin sahip olduğu elektriksel direncin belirli bir sıcaklık altında tamamen yok olmasıdır. Bu davranışı sergileyebilen malzemelere süperiletken malzemeler denilmektedir. Süperiletkenlik durumu Kamerling Onnes tarafından 1911 yılında keşfedildi. Metallerin sahip oldukları elektriksel direncin sıcaklığın düşmesi ile azaldığı bilinen bir durumdur. Onnes helyum elementinin sıvılaştırma çalışmalarını başarıyla gerçekleştirdikten sonra çalışmalarını metallerin çok düşük sıcaklıklarda elektriksel özelliklerine yöneltti. Civa elementi üzerine yaptığı çalışmalarda, düşük sıcaklıklarda malzeme üzerine elektrik akımı uyguladığında elektriksel direncinin sıfır olduğunu keşfetti ve bu duruma süperiletkenlik adını verdi. Onnes tarafından elde edilen, civa elementinin öz direnç sıcaklık grafiği Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Bilim açısından olduğu kadar, teknolojik açıdan da önemli bir keşif olan süperiletkenlik fenomeni Onnes'e 1913 yılında Nobel ödülünü kazandırdı.



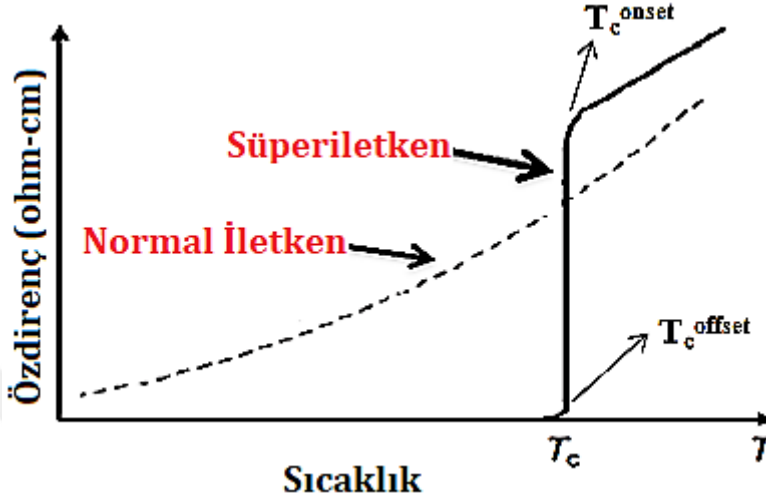
Şekil 1.1. Civa elementine ait direnç sıcaklık grafiği [3]

1.2. Süperiletken Malzemelerin Özellikleri

Süperiletken malzemelerin en temel özelliği sıfır direnç özelliğidir ve bu özellik ancak kritik geçiş sıcaklığı (T_c) denilen belirli bir sıcaklık altında gözlemlenebilir. Periyodik tabloda metalik elementlerin birçoğu sıvı helyum sıcaklığında soğutulduğu zaman dirençlerinde sert bir düşüş meydana gelerek normal fazdan süperiletkenlik faza geçerler. Elementlerde bu geçişin yaşanabilmesi ile süperiletkenlik durumu gözlemlenebilir ($R=0$). Periyodik tabloda civa, kalay, niyobyum ve kurşun gibi metalik elementler süperiletkenlik geçişi gösterebilirken, elektriksel

iletkenliği çok iyi olarak bilinen bakır, altın ve gümüş gibi bazı metalik elementler hiçbir sıcaklıkta süperiletken özellik sergileyemezler.

Süperiletken malzemelerde sıfır direnç özelliğinin tespitinde kullanılan en yaygın yöntem sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilen öz direnç-sıcaklık grafiğidir. Bu ölçüm gerçekleştirilerek malzemenin süperiletken faza geçtiği sıcaklık tespit edilebilmektedir. Öz direnç sıcaklık ölçümü ile elde edilen tipik bir grafik Şekil 1.2'de gösterilmektedir.

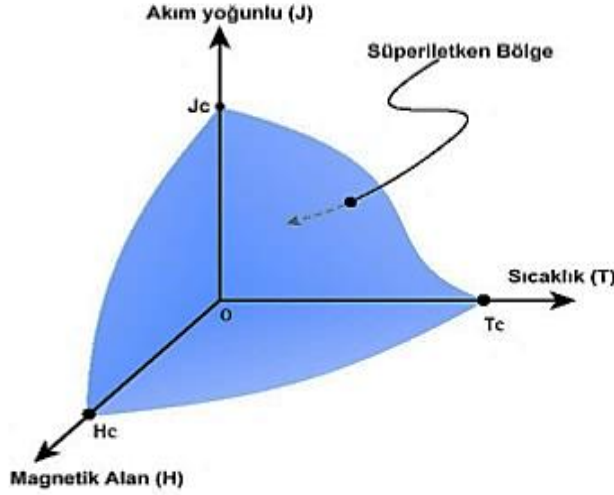


Şekil 1.2. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilen normal iletken ve süperiletkenlere ait öz direnç-sıcaklık fonksiyonu [4]

Şekil 1.2'de öz direnç sıcaklık grafiğinde $T_{c\text{onset}}$ ve $T_{c\text{offset}}$ olarak isimlendirilen iki farklı sıcaklık değeri görülmektedir. Şekil 1.2'de gösterilen grafiğe bakıldığında, süperiletken davranış sergileyen bir malzemede, $T_{c\text{onset}}$ sıcaklık değerine kadar normal metalik davranış gözlemlenirken $T_{c\text{onset}}$ sıcaklığı değerinden sonra lineer olmayan bir davranış söz konusudur. Grafikte elde edilen $T_{c\text{onset}}$ sıcaklık değeri malzemede normal fazdan süperiletkenlik faza geçişin başladığı ve malzemenin direnç değerinde sert düşüşlerin gözlemlendiği sıcaklık değeri olarak isimlendirilir. $T_{c\text{offset}}$ sıcaklık değeri ise malzemede süperiletkenlik faz geçişinin tamamlandığı ve sıfır direncin gözlemlendiği sıcaklık olarak isimlendirilmektedir. Elde edilen geçiş sıcaklığı değerleri arasındaki fark ise ΔT_c olarak gösterilmektedir. İki sıcaklık arasındaki fark değeri, malzemenin homojen yapısının ve daha iyi faz kararlılığının göstergesi olarak düşük olması beklenmektedir. Süperiletkenlerin sıfır direnç özelliği, teknolojiye enerjinin kayıpsız iletilmesi için kullanılması hedeflenen en temel özelliğidir. Süperiletken malzemeleri geliştirme çalışmalarının büyük bir çoğunluğu bu malzemelerin oda sıcaklığına daha yakın süperiletkenlik geçişi elde etmeye yönelik olarak devam etmektedir.

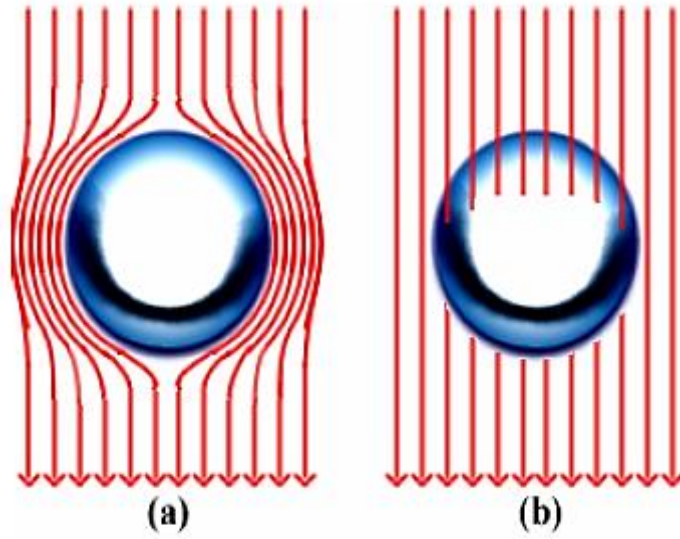
Süperiletken malzemeler elektriksel enerjiyi kayıpsız bir şekilde iletirken belirli bir üst limit değerine kadar iletebilmektedir. Süperiletken bir malzemenin elektriksel iletimde direnç göstermeden taşıyabileceği maksimum akım miktarına kritik akım yoğunluğu denir ve J_c ile

gösterilmektedir. Kritik akım yoğunluğu değeri her bir süperiletken malzeme için farklılık göstermektedir ve süperiletken malzemenin yapısına, sıcaklığa ve dışarıdan uygulanan manyetik alana bağlı olarak değişmektedir. Süperiletken malzemelerde akım yoğunluğu, sıcaklık ve manyetik alan ilişkisi Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Süperiletken malzemelerde akım yoğunluğu, sıcaklık ve manyetik alan ilişkisi [5]

Süperiletken malzemelerin elektriksel özellikleri kadar manyetik özellikleri de oldukça ilgi çekicidir. Süperiletken malzemelerin belirli bir geçiş sıcaklığı altında sıfır direnç göstermesinin yanında bir başka önemli özelliği ise iyi bir diyamanyetik özelliğe sahip olmasıdır. Bilindiği gibi, diyamanyetik malzemeler, elektronik yapılarından dolayı net manyetik momenti olmayan malzemelerdir. Dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında bu manyetik momentler indüklenir. Lenz yasasına göre manyetik alan bir devre içerisinde değiştiği zaman, devrede manyetik alana karşı ters yönde akım indüklenir. Diyamanyetik maddede de oluşan ters yönde akımlardan dolayı manyetik alana karşı koyacak manyetik akı oluşturulur. Bu durumda diyamanyetik malzeme içerisine manyetik alan nüfuz edemez. Süperiletken malzemelerin bu özelliği 1933 yılında Meissner ve Oschenfeld tarafından keşfedildi. Yapılan çalışmada kalay elementi kritik geçiş sıcaklığı altında soğutulup süperiletken faz geçişi sağlandıktan sonra malzeme üzerine manyetik alan uygulandı. Uygulanan manyetik alanın süperiletken malzeme tarafından dışarı atıldığı gözlemlendi. Süperiletken malzemelerin bu davranışı ile diamanyetik özelliğe sahip olduğu keşfedildi ve bu özellik Meissner Etkisi olarak isimlendirildi. Şekil 1.4'te Meissner etkisi gösterilmektedir.

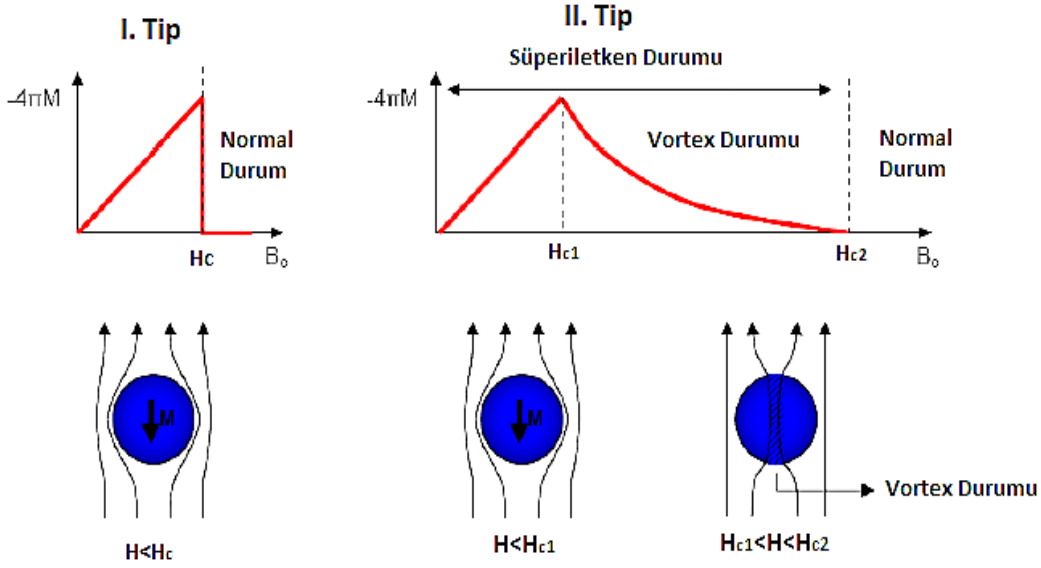


Şekil 1.4. Süperiletken bir malzemedeki manyetik durum a) Süperiletken durumda manyetik akının dışarıdan uzaklaşması b) Normal durumda manyetik akının nüfuz etmesi [6]

Diğer taraftan, malzeme süperiletken durumundayken uygulanan manyetik alanın belirli bir değerine kadar süperiletken özellikler korunurken (Sıfır direnç ve Meissner Etkisi) uygulanan manyetik alan bu değeri aştığında süperiletkenlik özellikler ortadan kaybolmaktadır. Süperiletkenlik özelliklerin korunduğu üst manyetik alan değerine kritik manyetik alan (H_c) denilmektedir. Süperiletkenlerde kritik manyetik alan değeri, malzemenin türüne ve sıcaklığa bağlıdır. Manyetik alan ve sıcaklık arasındaki ilişki aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (1.1)$$

Süperiletken malzemeler uygulanan manyetik alan altında davranışlarına göre I. Tip ve II. tip olarak sınıflandırılabilir. Periyodik tabloda süperiletkenlik özellik sergileyebilen saf metal elementleri I. tip süperiletken grubuna girmektedir. Birkaç element içeren alaşımlar ve yüksek sıcaklık süperiletken aileleri ise II. tip süperiletken grubundadır. Her iki tip süperiletken malzemedeki de sıfır direnç mekanizması benzerdir. Ancak iki tip arasında Meissner etkisi farklılık gösterir. Şekil 1.4'te I. ve II. tip süperiletkenlerin manyetik alan altında davranışları gösterilmektedir.



Şekil 1.5. I. tip ve II. tip süperiletkenlerin manyetik alan altında davranışı [7]

Şekil 1.5'te I. Tip ve II. Tip süperiletkenlere ait manyetik alan grafiklerine bakıldığında, I. Tip süperiletkenlerde H_c olarak isimlendirilen bir tane üst kritik manyetik alan bulunurken II. Tip süperiletkenlerde ise H_{c1} ve H_{c2} olarak isimlendirilen iki farklı üst kritik manyetik alan değeri bulunmaktadır.

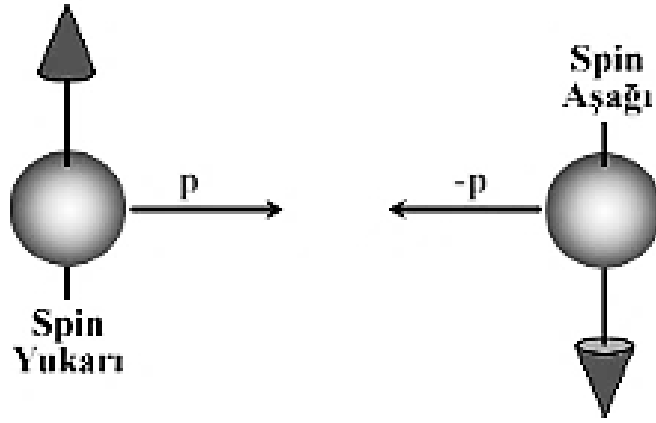
Süperiletkenlik durumu sağlandıktan sonra, I. tip süperiletken malzeme üzerine H_c olarak isimlendirilen kritik manyetik alan değerine kadar dışardan bir manyetik alan uygulandığı zaman, malzemede Meissner etkisi gerçekleşerek manyetik alan dışarıya atılır. Bu üst kritik manyetik alan değeri aşıldığı zaman ise malzemede süperiletkenlik durumundan normal duruma faz geçişi gerçekleşir. Şekil 1.5'te görüldüğü gibi, I. tip süperiletken sistemlerde normal durumdan süperiletkenlik duruma geçişler oldukça keskindir. Ayrıca I. tip süperiletkenlerde manyetik alan taşıma kapasiteleri daha düşüktür. II. tip süperiletkenlerde ise Şekil 1.5'te görüldüğü gibi H_{c1} ve H_{c2} olarak isimlendirilen iki farklı üst kritik manyetik alan değeri bulunmaktadır. Bu tip süperiletkenlerde uygulanan manyetik alan H_{c1} (alt kritik manyetik alan değeri) olarak ifade edilen değere kadar uygulandığı zaman Meissner özellikleri bakımından I. tip süperiletken sistemlerin özelliğini sergilerler. Bu değer üzerinde manyetik alan uygulandığı zaman karışık durum (vortex durum) olarak isimlendirilen durum gözlenir. Bu durumda uygulanan manyetik alanın bir kısmı dışarılanır ve bir kısmı malzeme içerisine nüfuz eder. Karışık durumda manyetik alan kısmi olarak malzeme içerisine girse dahi sıfır direnç özelliği devam eder. Diğer taraftan, uygulanan manyetik alan değeri H_{c2} (üst kritik manyetik alan değeri) olarak ifade edilen değere ulaştığı zaman manyetik alan tümüyle malzeme içerisine nüfuz eder ve süperiletkenlik özellikleri ortadan kalkar.

Bilindiği gibi, II. tip süperiletken malzemelerde uygulanan manyetik alan H_{c1} ve H_{c2} değerleri arasında olduğu zaman, manyetik alan malzeme içerisine vorteks olarak isimlendirilen akı çizgileri veya akı tüpleri şeklinde girer. Manyetik alanın artışı ile vortekslerde sayıca artmaktadır. Bu durumda malzemeden akım geçirilirse akı tüpleri üzerine $\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B}$ denklemi ile ifade edilen Lorentz kuvvetleri etki eder. Bu kuvvetin etkisi ile akı tüpleri hareket etmeye başlar ve bu hareket akıma dik bir elektrik alan indükler. İndüklenen bu elektrik alan malzeme içerisinde enerji kaybına yol açacak bir direnç yaratır. Böylece karışık durumda ($H_{c1} < H < H_{c2}$) süperiletken malzemede daha yüksek akım taşınabilmesi için akı hareketlerinin engellenmesi gerekir. Akı tüplerinin oluşması durumunda, akı hareketlerinin en aza indirilmesi ile meydana gelecek enerji kaybını azaltmak için akı çivileme merkezleri (flux pinning centers) kullanılmaktadır. Literatürden bilindiği gibi BSCCO sistemi içerisinde etkili akı çivileme merkezleri kristal yapı içerisinde kusurlar ya da safsızlık fazları oluşturularak veya metalik element katkılamaları ile yaratılabilmektedir [8, 9].

1.3. Süperiletkenlik Teorileri

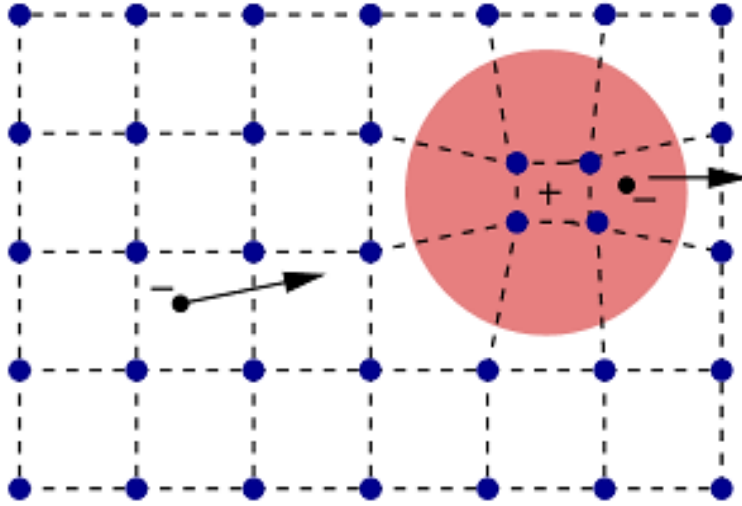
Süperiletkenlik mekanizması ilk olarak Maxwell ve Reynolds tarafından İzotop Etkisi ile açıklanmıştır. Civa elementinde atomik kütle birimi 199,5'ten 203,4 atomik kütle birimine değiştirildiğinde civada süperiletkenlik geçiş sıcaklığı (T_c) 4,185 K'den 4.14 K'e azaldığı gözlemlenmiştir. Maxwell ve Reynolds izotop etkisi ile süperiletkenlik geçiş sıcaklığının izotopik kütleyle orantılı olarak çekirdekdeki nötron sayılarına bağlı olduğunu açıkladılar [10,11]. Süperiletkenlerde geçiş sıcaklığı değerinin izotopik kütleyle bağımlılığının keşfi ile süperiletkenliğin gerçekleşmesi mekanizmasında örgü titreşimlerinin önemli bir rol üstlendiği fikirlerinin temeli atılmış oldu.

Diğer taraftan, Bardeen-Cooper-Scrieffer 1957 yılında yaptıkları çalışmada süperiletkenlikte örgü titreşimleri ve elektron fonon elektron ilişkisini başarılı bir şekilde açıklamışlardır [12]. Literatürde BCS teorisi olarak isimlendirilen bu teori, elektronlar arasında meydana gelen çekici bir kuvvetin olduğu temeline dayanır. Elektron örgü elektron etkileşimleri sonucu iki elektron Cooper Çifti olarak bilinen ve süperiletkenliğin temeli olan elektron çiftini oluştururlar. Zıt yönde spin ve momentuma sahip iki elektronun oluşturduğu Cooper Çifti Şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Cooper çifti gösterimi [13]

Elektron örgü içerisinde hareket ettiği zaman kendi çevresinde bulunan pozitif yüklü iyonları Coulomb etkileşimleri ile kendine doğru çeker ve bu etkileşimden dolayı elektron çevresinde pozitif yüklü bir bölge oluşur. Bu bölgede artan pozitif yük yoğunluğu bu alana girecek bir başka elektronu da kendine doğru çekmektedir. Bu bölgede oluşan yük yoğunluğu iki elektron arasında itici kuvvetleri engelleyecek kadar büyük olduğu için aynı yükte iki elektron birbirlerini itemezler ve elektron çifti oluştururlar. Çok düşük sıcaklıklarda örgü titreşimleri azalmasından dolayı elektron çiftlerini bozacak herhangi bir unsur meydana gelmemektedir. Dolayısıyla süperiletkenlik durumunda ($T < T_c$) Şekil 1.6'da gösterilen elektron çiftleri (Cooper çiftleri) bozulmadan kalabilmektedir. Süperiletkenlik durumunun çok düşük sıcaklıklarda meydana gelmesinin sebebi ise bu sıcaklık bölgelerinde oluşan örgü titreşimlerinin Cooper çiftlerinin oluşumunu etkilememesidir. Örgü içerisinde Cooper Çiftlerinin oluşumu Şekil 1.7'de gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Elektronun örgü içerisinde atomları kendine doğru çekmesi durumu [14]

Sonuç olarak BCS Teorisinin ortaya atılmasıyla, düşük sıcaklıklarda elektronlar arasında fonon ve coulomb indüklemeli etkileşimleri sonucu Cooper çiftlerinin oluşması ile süperiletkenliğin mekanizması başarılı bir şekilde açıklanmıştır. Diğer taraftan, süperiletkenlik durumunda iki elektron Cooper çiftlerini oluştururken koherens uzunluğu (ξ) olarak isimlendirilen bir mesafe ile çiftlenebilir. Bu mesafe aynı zamanda süperiletkenliğin oluşturulabileceği ya da yok edilebileceği en küçük boyuttur.

1.4. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenler

1986 yılında IBM araştırma laboratuvarlarında Bernordz ve Müller tarafından yapılan çalışmada baryum, lantanyum, bakır ve oksijen elementlerinden oluşan bileşikte 35 K geçiş sıcaklığına sahip süperiletken sistemi keşfedildi [15]. Bu dönemde, en yüksek geçiş sıcaklığına sahip süperiletken malzeme 23.2 K geçiş sıcaklığına sahip Nb_3Ge alaşımıydı [16]. Yeni keşfedilen bakır oksit tabanlı süperiletken malzeme bu alaşımdan 12 K daha yüksek geçiş sıcaklığına sahipti. Bu keşif ile yeni araştırma ve malzeme geliştirme çalışmaları ile yüksek sıcaklık süperiletken sistemler üzerine yapılan çalışmalar hız kazandı.

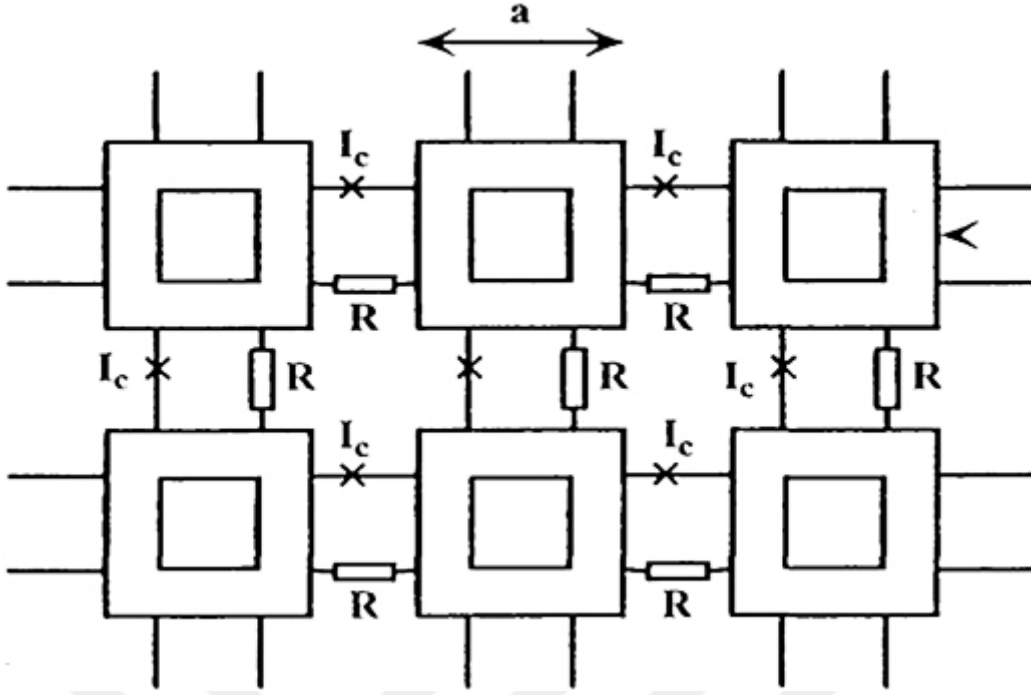
1987 yılında Wu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, lantanyum elementi yerine daha küçük atomik yarıçapa sahip itriyum elementi eklenerek itriyum, baryum, bakır ve oksijen elementlerinden oluşan YBCO süperiletken sistemi keşfedildi [17]. Yapı olarak oksijen miktarına aşırı derecede duyarlı olan $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ stokiyometrisinde YBCO süperiletken sistemi sıvı azot sıcaklığı olan 77 K üzerinde geçiş sıcaklığına sahiptir.

1988 yılında Sheng ve Herman tarafından talyum, baryum, bakır ve oksijen elementlerini içeren, 80 K üzerinde geçiş sıcaklığında $Tl_2Ba_2Cu_3O_{8+x}$ ve $Tl_2Ba_2Cu_3O_{5.5+x}$ stokiyometrilere sahip süperiletken sistemi keşfedildi [18]. Daha sonra ana bileşiğe Ca atomu ekleyerek talyum, baryum, kalsiyum, bakır ve oksijen elementlerini içeren 100 K üzerinde süperiletkenlik geçiş sıcaklığına sahip süperiletken sistemini geliştirdiler [19]. Talyum tabanlı süperiletken sistemi olarak isimlendirilen bu süperiletken ailesi, araştırma ve geliştirme çalışmalarında $TlSr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+3}$ ($n = 1,2$ ve 3) ve $Tl_mSr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2m+3}$ ($m = 1$ değeri için $n = 1,2,3,4$ ve 5 ; $m = 2$ değeri için $n = 1,2,3$ ve 4) olarak iki farklı yapı olarak geliştirilmiştir.

1993 yılında ise Putilin ve çalışma arkadaşları tarafından civa, baryum, bakır ve oksijen elementlerinden oluşan $HgBa_2CuO_{4+x}$ stokiyometrisinde yaklaşık olarak 90 K geçiş sıcaklığına sahip süperiletken sistemi keşfedildi [20]. Daha sonra yapı içerisine kalsiyum elementi eklenerek $HgBa_2CaCuO_{6+x}$ bileşiği ile 120 K geçiş sıcaklığına sahip süperiletken sistemi elde edildi [21]. Schilling ve arkadaşları tarafından $HgBa_2CaCuO_{6+x}$ kompozisyonu ile 130 K geçiş sıcaklığına sahip süperiletken sistemi geliştirildi [22].

Yüksek geçiş sıcaklığına sahip süperiletken yapılar seramik doğaya sahip malzemelerdir. Seramik yapıya sahip tüm süperiletken sistemlerde bakır oksit tabakalar yaygın olarak bulunmaktadır. Birim hücrede c eksenine dik olarak bulunan bakır oksit tabakalar süperiletkenlikte önemli rol oynamaktadır ve birim hücrede bulunan bakır oksit tabaka sayısı geçiş sıcaklığı ile bağlantılıdır.

Bakır oksit tabanlı yüksek sıcaklık süperiletkenler Şekil 1.8'de gösterildiği gibi tane sınırları ile birbirlerinden ayrılan tanelerin dizilimiyle meydana gelmektedir [23]. Taneler arası bağ çeşitli formlarda oluşabilmektedir. Genel olarak yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerde tane sınırları zayıf bağ olarak davranış sergilemektedir. Bu tür zayıf bağların oluşumu ise elektrik iletimi sırasında elektriksel iletkenliğe sınırlayıcı bir direnç yaratarak süperiletkenliği bozabilmektedir. Bu davranış yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerin teknoloji ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmasında ciddi bir problem oluşturmaktadır. Literatürde bu problemin çözümüne yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarının temel amacı, kristal yapı içerisine uygun metalik elementler katkılanmak ya da LFZ gibi metotlar kullanarak tane sınırlarının sayısını olabildiğince azaltmaktır.



Şekil 1.8. Süperiletkenlerde tane yapılarının modellenmesi [23]

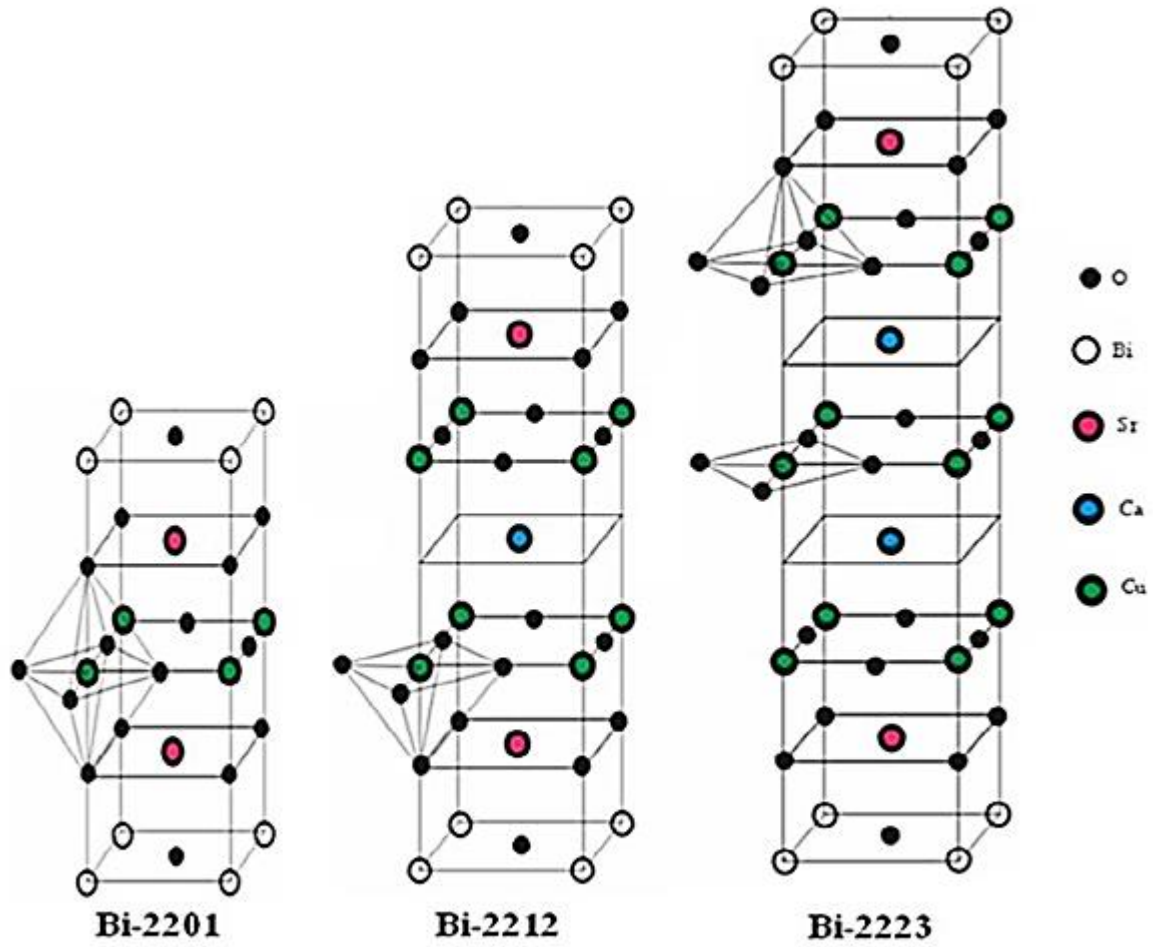
Özçelik ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y + x \text{ wt}\%$ Ag ($x = 0, 1, 3$ ve 5) kompozisyonu ile seramik yapıda malzemeler sol-jel yöntemi ile üretilmiş ve LFZ metodu uygulanmıştır. % 3 gümüş eklenen ve LFZ yöntemi uygulanan örnekte daha büyük çapta süperiletken tanelerin oluşması ile süperiletkenlik özellikler gelişmiştir [24]. Özkurt tarafından yapılan çalışmada ise LFZ metodu Bi-2212/Ag süperiletken örneklere farklı hızlarda (5, 15, 30 ve 60 mm/h) uygulanmıştır ve en iyi süperiletkenlik özellikler 5 mm/h hız uygulanan örnekte gözlemlenmiştir [25]. Diğer taraftan, LFZ metodu kullanılarak daha düzenli ve büyük çapta tane oluşumları sağlanabilirken, uygun metalik elementlerin katkılanması da taneler üzerine faydalı sonuçlar meydana getirmiştir. Bilgili ve arkadaşları tarafından yapılan Bi-2223 süperiletken sisteminde bakır oksit tabakalara farklı oranlarda lityum elementi katkılanmıştır. Yapılan çalışmada lityum elementinin artan katkısı ile süperiletken tane çapları da artmış ve böylece temel süperiletkenlik özellikler gelişmiştir [26]. Sotelo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise Bi-2212 süperiletken örnekler içerisine farklı oranlarda gümüş elementi eklenmiştir. Elde edilen bulgularda gümüşün taneler arasındaki boşluklara yerleştiği ve taneler arası bağlantıların kuvvetlenmesi ile temel süperiletken özelliklerin geliştiği tespit edilmiştir [27]. Literatürden de görüldüğü gibi bir çok çalışma ile taneciksel özelliklerde önemli gelişmeler elde edilmiştir.

Diğer taraftan, bilindiği gibi yüksek sıcaklık süperiletkenlerde manyetik özellikleri bakımından II. tip süperiletken sınıfına girmektedir. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerde koherens (eşyuum) uzunluğu normal süperiletkenlere göre daha küçük değerdedir. Dolayısıyla yüksek

sıcaklık süperiletkenler koherens uzunluğuna yakın büyüklükte kristal kusurlar ve tane sınırlarına son derece duyarlıdır. Böylece yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerde bu tür sorunlar meydana geldiğinde süperiletkenlik özellikler bozulabilmektedir.

1.5. Bizmut Tabanlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenler

Nadir toprak elementi içermeyen ve 20 K süperiletkenlik geçiş sıcaklığına sahip bizmut tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken yapısı, ilk olarak 1987 yılında Bi-Sr-Cu-O elementleri kullanılarak keşfedildi [28]. Bu dönemde 90 K geçiş sıcaklığına sahip İtiryum tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken malzemesinin keşfedilmesinden [17] dolayı 20 K geçiş sıcaklığına sahip Bi-Sr-Cu-O süperiletken malzemesi geniş çapta ilgi göremedi. 1988 yılına gelindiğinde ise Maeda ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Bi-Sr-Cu-O elementleri içerisinde Ca elementi eklenerek 85 K geçiş sıcaklığına sahip süperiletken malzeme sentezlendi [29]. Devam eden çalışmalar sonucunda, BSCCO (Bi-Sr-Ca-Cu-O) olarak isimlendirilen Bi tabanlı süperiletken yapısının genel formülü $Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_y$ olarak belirlendi. Genel formüldeki n sayısı birim hücre içerisinde bulunan bakır oksit tabakaların (Cu-O) sayısını ifade etmektedir. n = 1 durumunda bakır oksit tabaka içermeyen, 20 K geçiş sıcaklığına sahip Bi-2201 fazı, n = 2 durumunda bir adet bakır oksit tabakaya sahip 85 K geçiş sıcaklığına sahip Bi-2212 fazı ve n = 3 durumunda 120 K geçiş sıcaklığına sahip yapı içerisinde iki adet bakır oksit tabaka içeren Bi-2223 faz yapısı oluşmaktadır [30]. Diğer taraftan, Bi tabanlı süperiletken ailesinde Bi-2223 süperiletken sistemi, 120 K geçiş sıcaklığına sahip olmasına rağmen, Bi-2212 süperiletken sistemi daha yüksek seviyede faz kararlılığı ve daha kolay üretilebilmesi gibi önemli avantajlara sahip olmasından dolayı araştırma ve geliştirme çalışmalarında güncelliğini korumaktadır. Şekil 1.9'de BSCCO süperiletken ailesinin kristal yapıları gösterilmektedir.



Şekil 1.9. BSCCO süperiletken sisteminde Bi-2201, Bi-2212 ve Bi-2223 fazlarına ait kristal yapılar [31]

Şekil 1.9'da gösterildiği gibi, Bi tabanlı yüksek sıcak süperiletkenlerde kristal yapı, iki Bi-O tabaka arasına Sr-O, Ca-O ve Cu-O tabakalarının yerleşmesi ile oluşmuştur. Bi-2201 kristal yapısı Ca-O tabakası içermezken, Bi-2212 kristal yapısı bir adet Ca-O tabaka içermektedir. Bi-2223 kristal yapısı ise birim hücrede iki adet Ca-O tabakası içermektedir. Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken sisteminde Cu-O tabakalar elektriksel iletimden sorumluyken diğer tabakalar yük deposu görevini üstlenmektedir.

Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken sisteminin kristal yapısı genel olarak tetragonal simetriye sahiptir. Bi-2201 süperiletken sistemi ($n = 1$ fazı) $a = b = 5.4 \text{ \AA}$, $c = 24.4 \text{ \AA}$ birim hücre parametrelerine sahiptir [32]. Bi-2212 süperiletken sistemi genel olarak ($n = 2$ fazı) $a = b = 5.37 \text{ \AA}$, $c = 30.8 \text{ \AA}$ birim hücre parametrelerine sahipken Bi-2223 süperiletken sistemi ($n = 3$ fazı) ise $a = b = 5.4 \text{ \AA}$, $c = 37.1 \text{ \AA}$ örgü parametre değerlerine sahiptir [33]. BSCCO süperiletken sisteminde c örgü parametresinin değeri Bi-O tabakalar arasında oksijen konsantrasyonunda değişime

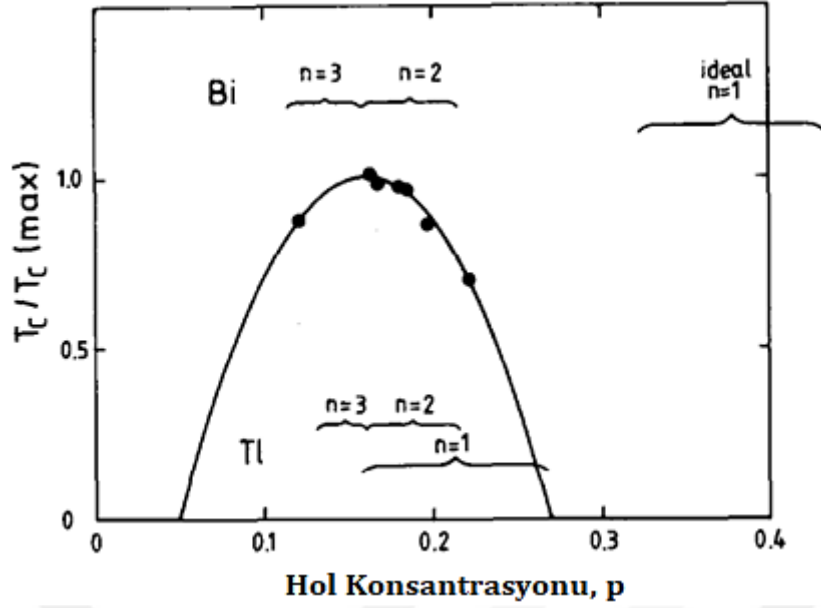
bağlı olarak iki Bi-O tabaka arasında çekici ve itici elektrostatik kuvvetler ile alakalıdır [34,35]. a ve b örgü parametre değerini ise, CuO₂ düzlemlerde bakır ve oksijen atomları arasında bağ uzunluğu belirlemektedir[36,37]. Bizmut tabanlı yüksek sıcaklık süperiletkenlerin literatürde bulunan örgü parametresi değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Tablo 1. BSCCO süperiletken ailesinin geçiş sıcaklığı ve örgü parametre değerleri [33,34,35]

Faz Yapısı	Geçiş Sıcaklığı (K)	a (Å)	b (Å)	c (Å)
Bi-2201	20 K	5.4	5.4	24.4
Bi-2212	85 K	5.37	5.37	30.8
Bi-2223	120 K	5.40	5.40	37.10

Tablo 1’de tüm fazların geçiş sıcaklıklarına bakıldığı zaman, en yüksek geçiş sıcaklık değerinin 120 K ile Bi-2223 fazına ait olduğu görülebilmektedir. Bu faz yapısı birçok süperiletken çalışma grubu tarafından tercih edilmesine rağmen, Bi-2223 fazının homojen bir şekilde tek tip bir fazda sentezlenmesi oldukça zordur. Sentezleme aşamasında Bi-2223 yüksek sıcaklık fazlarının haricinde istenmeyen ikincil safsızlık fazları meydana gelebilmektedir. Bu durumda süperiletkenlik ve manyetik özellikler bozulabilmektedir. Bi-2212 fazının reaksiyon kinetikleri bakımından daha kararlı yapıda olması sebebiyle tek tip homojen bir yapıda sentezlemek Bi-2223 fazına göre daha kolaydır.

BSCCO süperiletken sisteminde CuO₂ tabakalarda yer alan taşıyıcı holler elektriksel iletimde elektronlardan daha önemlidir. Ayrıca Cu-O tabakalarda hol konsantrasyonu süperiletken malzemelerde geçiş sıcaklığı değerini doğrudan etkilediği bilinmektedir. BSCCO süperiletken sistemi içerisine metalik elementler katıldığı zaman katyon ya da anyonların süperiletken kristal yapısına katılmaları ile sistemin yük taşıyıcılarına ekstradan yük transfer edebilmekte ve böylece süperiletkenlik geçiş sıcaklığını değiştirebilmektedir. Literatürde Bi tabanlı süperiletkenlerde CuO₂ tabakalarda hol konsantrasyonu ve geçiş sıcaklığı arasındaki ilişkiyi tanımlayan öncü çalışma Presland tarafından gerçekleştirilmiştir. Presland ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Tl ve Bi tabanlı süperiletkenler üzerine oksijen stokiometrisinin etkisi araştırıldı [38]. Bu çalışmada elde edilen bulgularda süperiletkenlik geçiş sıcaklığının hol konsantrasyonu ve oksijen stokiometrisine son derece bağımlı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada farklı süperiletken fazlara ait hol konsantrasyonu ve T_c arasındaki ilişki Şekil 1.10’da gösterilmektedir.



Şekil 1.10. BSCCO süperiletken sisteminde farklı fazlara ait hol konsantrasyonu grafiği [38]

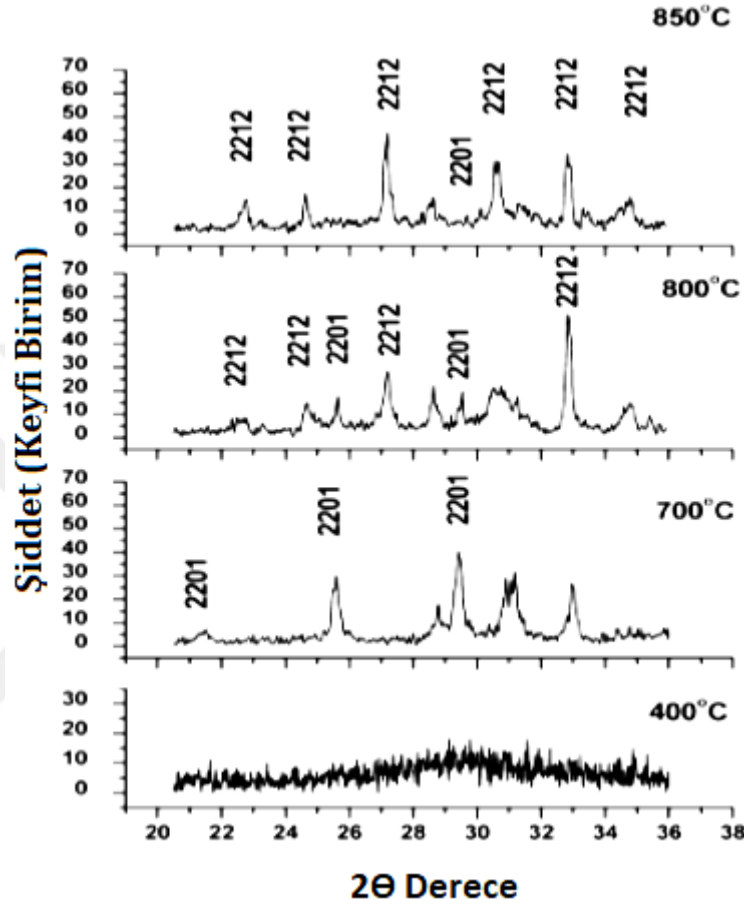
Özetle yapılan çalışmada BSCCO süperiletkenlerde CuO_2 $n=1$ fazı için hol konsantrasyonu 0,32-0,4 aralığındadır. $n = 2$ fazı için hol konsantrasyonu değeri 0,16-0,22 aralığında yer alırken, $n = 3$ fazı için ise bu değer biraz daha dar bir aralık olan 0,11-0,16 değerleri arasındadır. Hol konsantrasyonu değeri her faz için tepit edilen aralığı aştığı zaman süperiletkenlik geçiş sıcaklığı değeri azalmaktadır.

Yüksek valans değerine sahip elementler yapı içerisine katıldığı zaman CuO_2 tabakalara gereğinden fazla yük transfer edebilmekte ve istenen değerden fazla hol konsantrasyon değeri oluşturabilmektedir. Bu durumda sistemde meydana gelen fazla yükler Cooper çiftlerinin oluşumunu engelleyerek süperiletkenlik özellikleri negatif yönde etkileyebilmektedir [39, 40]. Bu nedenle tüm bakır oksit tabakalı sistemlerde olduğu gibi, BSCCO süperiletken sistemlerde de iyi süperiletkenlik özellikleri optimum hol konsantrasyonu ile sağlanmaktadır.

1.6. Bizmut Tabanlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerde Faz Oluşumu

Bi tabanlı süperiletken sisteminde kristalleşme süreci ve mekanizması üzerine gerçekleştirilen araştırma çalışmaları güncel çalışmalar arasında yer almaktadır. Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken ailesinde, faz oluşumu ilk olarak yapı içerisinde bir adet Cu-O tabaka içeren Bi-2201 kristal yapısı ile başlamaktadır. Bu faz yapısının kristalleşmesi yaklaşık olarak $430\text{ }^\circ\text{C}$ 'de başlar ve $750\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ise faz oluşumunu tamamlamaktadır [41].

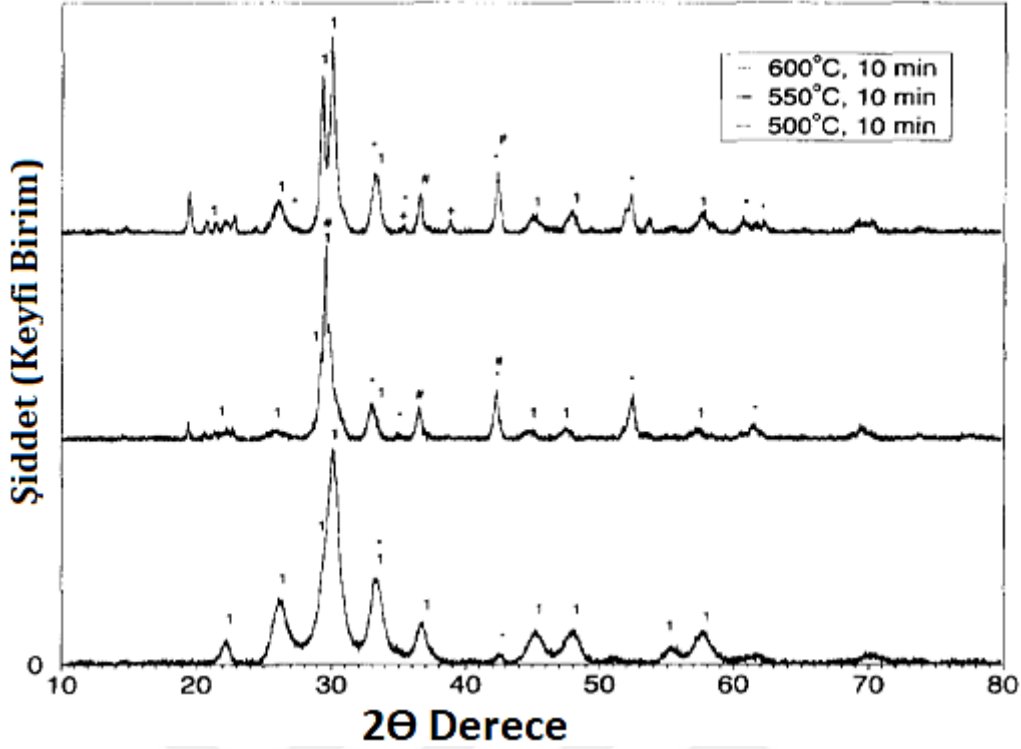
Gazda ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, $(\text{Bi}_{0.8}\text{Pb}_{0.2})_4\text{Sr}_3\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_x$ başlangıç kompozisyonunda kristalleşmenin ilk aşamalarını incelenmiştir. Gerçekleştirdikleri çalışmada, 400°C'den 850°C sıcaklıklar arasında tavlama (annealing) işleminin ilk dakikalarında elde edilen XRD ölçümleri ile yapı içerisinde faz oluşumları analiz edildi [42]. XRD ölçümleri sonucunda elde edilen bulgular Şekil 1.11'de gösterilmiştir.



Şekil1.11. Farklı sıcaklıklardan elde edilen X-Işını desenleri [42]

Şekil 1.11'de XRD grafiğinden görüldüğü gibi, 400 °C'de elde edilen sonuçlarda herhangi bir BSCCO süperiletkenlik fazı oluşmazken, 700 °C'de Bi-2201 düşük sıcaklık süperiletken fazı oluşumunu tamamlamıştır. 700 °C üzerinde sıcaklıklarda ise Bi-2212 fazı oluşumunu gerçekleştirmiştir.

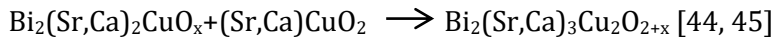
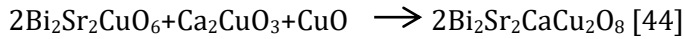
Müller ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, $\text{Bi}_{2.18}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ başlangıç kompozisyonuna sahip süperiletken örnekler üzerine farklı sinterleme sıcaklığı ve süresinde ısı işlem uygulanarak faz oluşumları analiz edilmiştir [43]. Yapılan çalışmada, 500-600 °C arasında farklı ısı işleminin ilk dakikalarında elde edilen XRD grafiği Şekil 1.12'de gösterilmiştir.



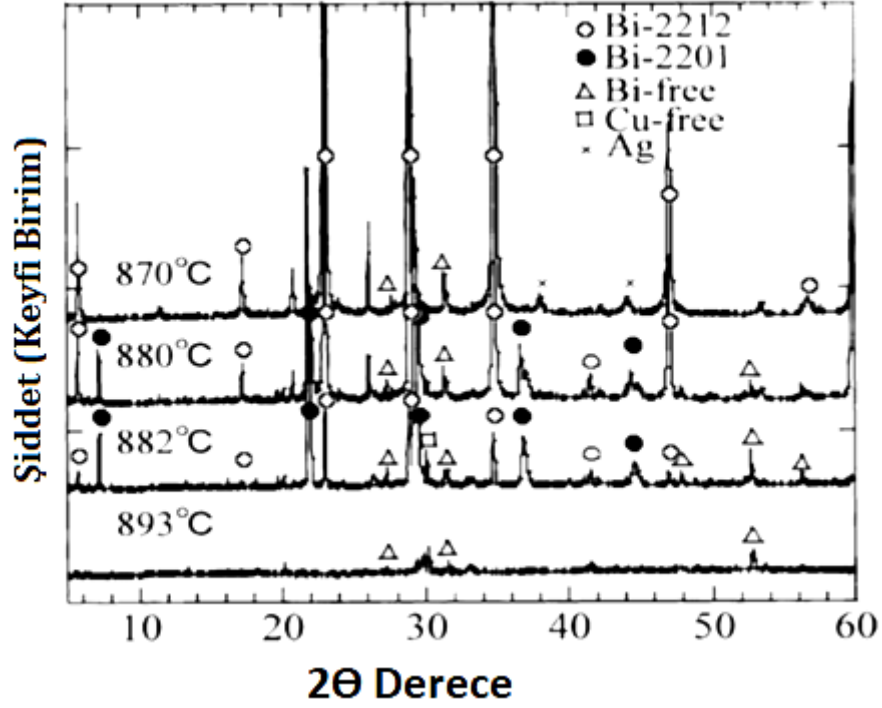
Şekil 1.12. BSCCO süperiletken sisteminde ilk 10 dakika süreçte uygulanan ısı işlemlerde meydana gelen faz yapıları [43]

Şekil 1.12’te kısa periyotta ve farklı sıcaklıklarda oluşan pikler görülmektedir. BSCCO fazının ilk kristallenmesi 500 °C sıcaklıkta 1 ile sembolize edilen Bi-2201 düşük sıcaklık fazı ile gerçekleşmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise büyük ölçekte tanelerin varlığının göstergesi olarak pik şiddetlerinde artış meydana gelmiştir.

Literatürde Bi-2212 faz yapısının oluşum sıcaklığının Bi-2201 ve Bi-2223 fazlarının oluşum sıcaklığı arasındaki değerlerde olduğu görüşü vardır. Bi-2212 fazının oluşum mekanizmasını şu şekilde gösterilebilir.



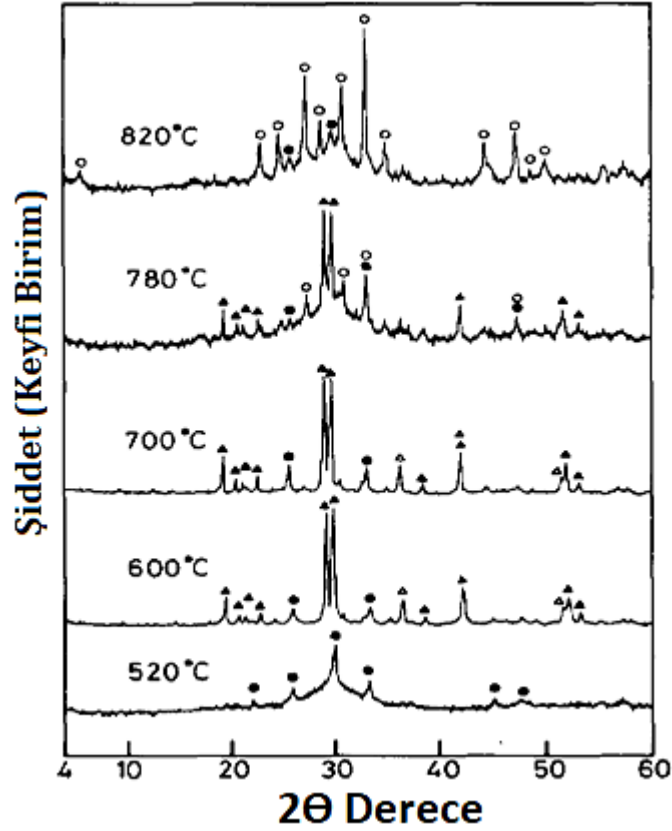
Matsumo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Bi-2212 fazının mikro yapısal değişikliğini araştırmak için ani soğutma (oil quenching) tekniği kullanıldı. Gerçekleştirilen çalışmada süperiletken örnekler maksimum işlem sıcaklığında (T_{max}) eritilerek belirli bir soğutma oranı ile soğutuldu [46]. Çalışmada elde edilen XRD bulguları Şekil 1.13’de gösterilmektedir.



Şekil 1.13. Bi-2212 faz oluşumunu analiz etmek için değişik sıcaklıklarda alınan XRD desenleri [46]

Şekil 1.13’de farklı sıcaklıklarda elde edilen XRD ölçüm sonucunda görüldüğü gibi, maksimum işlem sıcaklığında sırasıyla Δ ve \square ile gösterilen Bi ve Cu içermeyen safsızlık fazları oluşmuştur. Daha sonra 882 °C’de düşük sıcaklık Bi-2201 fazı ile birlikte yüksek sıcaklık Bi-2212 fazının çekirdeklenmeye başladığı gösterilmektedir. 870 °C’de ise Bi-2201 fazı tamamen Bi-2212 fazlarına dönüşmüş ve bu sıcaklıkta Bi-2212 fazı oluşumunu tamamlamıştır.

Sato ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ (Bi-2212) süperiletken sisteminde faz oluşum mekanizmasını araştırmışlardır [47]. Çalışmada elde edilen XRD ölçüm sonuçları Şekil 1. 14’te gösterilmektedir.



Şekil 1.14. Sato tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilen XRD grafiği [47]

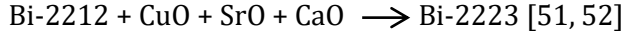
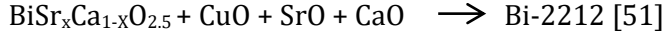
Şekil 1.14’de XRD ölçüm sonuçlarından da görüldüğü gibi 520 °C sıcaklıkta $\text{Bi}_2\text{Sr}_{3-x}\text{Ca}_x\text{O}_y$ fazı oluşmaya başlamış ve yaklaşık 590 °C de ise $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_y$ ve Cu_2O fazları oluşmuştur. 780°C sıcaklıkta ise Cu^+ iyonlarının varlığında bir sıvı faz oluşmuştur. Bu sıvı faz Cu^+ iyonlarını Cu^{+2} iyonlarına dönüştürerek $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ fazının oluşumuna destek olmuştur.

Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken ailesinde en yüksek geçiş sıcaklığına sahip Bi-2223 fazının oluşumunda ise Pb (kurşun) katkısının önemli bir role sahip olduğu literatürden iyi bilinmektedir. Kurşun elementi bizmut sitelerine katkılандığı zaman, Bi-2223 fazının reaksiyon kinetiklerini hızlandıran Ca_2PbO_4 sıvı fazı oluşturmaktadır. Yaklaşık olarak 800 °C civarında oluşan bu fazdan (Ca_2PbO_4) Ca ve Pb atomları ayrılıp Bi-2212 ve CuO ile reaksiyona girerek Bi-2223 fazını oluşumuna katkıda bulunur [48]. Bu Ca_2PbO_4 fazının BSCCO sistemi için olumlu katkısıdır. Ancak Ca, bazı durumlarda CuO ile reaksiyona girerek $(\text{Sr,Ca})_2\text{CuO}_3$ safsızlık fazını da oluşturabilmektedir [49].

Khalil tarafından yapılan çalışmada, $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.18, 0.22, 0.25, 0.3, 0.35$ ve 0.5) süperiletken sistemine kurşun elementi katkılanmıştır. Elde edilen bulgularda Bi-2223 faz yapısı $x = 0.3$ katkılama miktarına kadar giderek geliştiği gözlemlenmiştir [50].

Bi-2223 yüksek sıcaklık süperiletken fazı, başlangıç kompozisyonuna, uygulanan ısı işlem süreçlerine ve kullanılan üretim yöntemine göre farklı şekilde meydana gelebilmektedir.

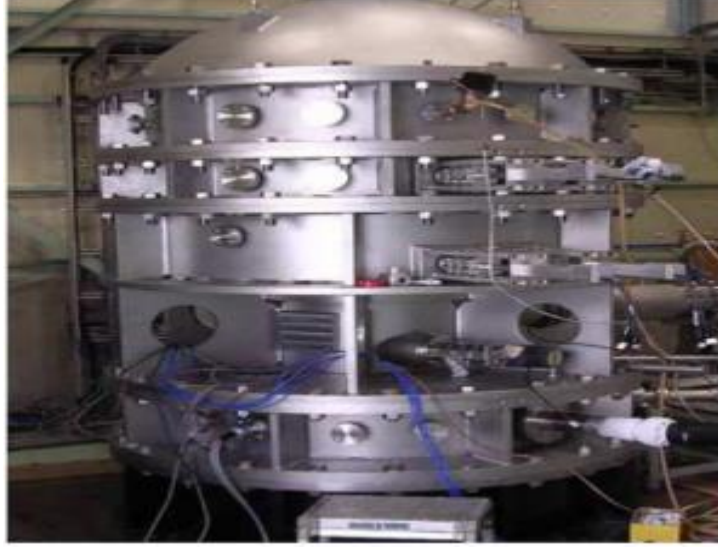
Bi-2223 fazı yaklaşık olarak 840°C sıcaklıkta Bi-2212 matrisine CaO, SrO ve CuO tabakalarının yerleşmesiyle çekirdeklenmeye başlar [49,51,52]. Thang ve arkadaşları Bi-2223 fazının çekirdeklenme sürecini aşağıdaki gibi açıklamışlardır.



1.7. Süperiletken Sistemlerin Teknoloji ve Sanayide Kullanım Alanları

Günümüzde alternatif enerji kaynakları vasıtasıyla enerjinin üretilmesi kadar, üretilen enerjinin en az kayıpla iletilmesi de enerji verimliliğinin korunması için oldukça önemlidir. Dolayısıyla çevre dostu enerji kaynakları ile üretilen enerjinin en az kayıplarla iletilmesi gereklidir. Üretilen enerjinin kayıpsız aktarılması, belirli bir kritik sıcaklığın altında sıfır direnç gösteren süperiletkenlerin keşfedilmesi ile mümkün kılınmıştır. Yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerin yüksek geçiş sıcaklıkları, yüksek manyetik alan taşıma kapasiteleri, yüksek kritik akım yoğunlukları ve çok düşük güç kaybı gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle teknolojik uygulamalar için tercih edilen malzemelerdir. Bilindiği gibi, süperiletken malzemeler, teknolojide kullanılan geleneksel iletken kablolarla kıyasla yaklaşık 1000 kat daha yüksek akım taşıma kapasitesine sahiptir [53].

Süperiletken mıknatıslar yüksek manyetik alan üretebilmelerinden dolayı, manyetik rezonans görüntüleme (MRI) cihazlarında kullanılmaktadır [54]. Böylece bu cihazlarda yüksek manyetik alan ile zararlı ışınlarla gerek duyulmadan yüksek çözünürlükte ve daha kaliteli tıbbi görüntüleme yapılabilir. Diğer taraftan, süperiletken mıknatısların kullanıldığı başka bir sistem ise Şekil 1.15'te gösterilen süperiletken elektriksel dalgalanmalara maruz kalmayan kesintisiz güç kaynağı sağlama imkanı sunan Süperiletken Manyetik Enerji Depolama (Superconducting Magnetic Energy Storage) sistemleridir [55].



Şekil 1.14. Süperiletken manyetik enerji depolama sistemi [55]

Bilindiği gibi, Josephson etkisi bir devre üzerinde herhangi bir voltaj kaynağı olmadan akımın devre boyunca akması fenomenidir. Josephson etkisi süperiletkenliğin elektronik uygulamalarda kullanıldığı en yaygın özelliktir. Süperiletkenlik kuantum girişim cihazı (SQUIDs) olarak bilinen cihaz ile çok hassas seviyede manyetik alanın algılanmasında kullanılmaktadır [56].

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Maeda ve arkadaşları tarafından keşfedilen Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletkenler [28,29], yapı içerisinde nadir toprak elementi içermemesi, insan sağlığına zarar verici madde bulundurmaması, nispeten yüksek değerde geçiş sıcaklığı ve yüksek manyetik alan taşıma kapasiteleri gibi önemli avantajlara sahiptir. Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken malzemeler bu avantajlara sahip olmalarından dolayı sistemin temel özelliklerini geliştirme çalışmaları günümüzde halen devam etmektedir. Ancak BSCCO süperiletken malzemelerin endüstriyel ve teknolojik uygulamalarda kullanılmaları için özellikle kritik akım yoğunluğu değerlerinin artırılması gerekmektedir. Bu nedenle, Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerde kritik akım yoğunluğu değerlerini arttırmaya yönelik çalışmalar günümüzde güncel bir şekilde devam etmektedir. Literatürde BSCCO malzemeleri üzerine çalışmalar genel olarak iki kısımda oluşmaktadır. Bir kısım çalışmalar kristal yapı içerisinde farklı iyonik yarıçapta elementlerin katılanması ya da eklenmesi olarak sayılabilirken, diğer kısımda ise malzeme hazırlama esnasında uygulanan kalsinasyon (tavlama) sıcaklığı, sinterleme süresi ve peletizasyon basıncı gibi parametreleri değiştirerek optimum değerleri bulmaya yönelik çalışmalar oluşturmaktadır.

Yıldırım ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2011), Bi-2212 süperiletkenlerin süperiletkenlik özellikleri üzerine Cr eklemenin etkisini araştırmışlardır. $Bi_{1.8}Sr_{2.0}Cr_xCa_{1.1}Cu_{2.2}O_y$ kompozisyonunda seramik yapıda süperiletken örnekler içerisinde $x = 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ ve 1 oranlarda Cr elementi eklenerek katı hal tepkime yöntemi ile hazırlanmıştır. Hazırlanan süperiletken örnekler XRD, SEM ve Elektriksel özdirenç ölçümleri ile analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında artan krom oranı ile Bi-2212 fazından Bi-2201 fazına ve diğer safsızlık fazlarına ayrışmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen görüntülerde artan krom katkısı ile plaka benzeri tanelerin çaplarında azalmalar meydana gelmesinin yanında taneler arasında boşluk oranı artmıştır. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında katkısız örnek daha iyi morfolojik yapıya sahiptir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilen elektriksel ölçüm sonuçlarında ise, süperiletken taneler arası bağlantıların zayıflaması ve taneler arası boşluklu yapının artması ile geçiş sıcaklığı artan krom oranları ile giderek azalmıştır [57].

Bilgili ve Kocabaş tarafından gerçekleştirdiği çalışmada (2014), BSCCO seramiklerin mikro yapısı ve taşıyıcı özellikleri üzerine Nb eklemenin etkileri araştırılmıştır. $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Nb_xSr_2Ca_2Cu_3O_y$ ($x = 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$) kompozisyonunda süperiletken örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve örnekler XRD, SEM ve manyetizasyon ölçümleri ile analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, tüm örneklerde bazı safsızlık fazlarının oluşumu ile birlikte temel faz yapısı Bi-2223 ve Bi-2212 faz yapılarına ait olduğu tespit edilmiştir. Artan Nb katkısı ile Bi-2223 yapısına ait bazı fazların şiddetleri ve yoğunluklarında

azalmalar meydana gelmiştir. Örneklerin yüzeylerinden elde edilen SEM görüntülerinde, rastgele yönelimli plaka benzeri tanelerin varlığı gözlemlenmiştir. BSCCO süperiletken örneklerde yapı içerisine Nb eklenmesi ile morfolojik yapı önemli bir şekilde değişmiştir. Artan Nb oranı ile tanelerin büyüklüğü ve taneler arası bağlantılar giderek azalırken, taneler arası boşluklu yapı ise artmıştır. Örneklerde geçiş sıcaklıklarını tespit edebilmek için duygunluk ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgularda, artan Nb konsantrasyonu ile yüzey morfolojisi ve tane yapılarında meydana gelen olumsuz sonuçların elde edilmesiyle örneklerde geçiş sıcaklığı, kritik akım yoğunluğu ve hol konsantrasyonu değerleri giderek azalmıştır [58].

Özkurt tarafından yapılan çalışmada (2012), Bi-2212 süperiletken sistemine Nikel katkısının etkisi araştırılmıştır. $Bi_{2-x}Ni_xSr_2Ca_1Cu_2O_y$ ($x = 0.00, 0.05, 0.10$ ve 0.20) kompozisyonunda süperiletken örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve süperiletken örnekler XRD, DC elektriksel direnç ve manyetizasyon ölçümleri yapılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, örneklerde bazı safsızlık fazları oluşmasına rağmen temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilen elektriksel direnç ölçüm sonuçlarında, örneklerde artan Ni konsantrasyonu ile taneler arasında zayıf bağlantılar ve safsızlık fazlarının oluşmasına bağlı olarak süperiletkenlik geçiş sıcaklığı giderek azalmıştır. Örneklerde manyetik özellikleri analiz edebilmek için uygulanan alana karşı mıknatıslanma (M-H) grafikleri elde edilmiştir. Örneklerde taneler arası zayıf bağlantıların oluşması ve zayıf akı çivileme merkezlerinin oluşumu ile manyetik özellikler giderek azalmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgularda Bi-2212 sisteminde bizmut sitelere nikel katkılanması temel süperiletkenlik özelliklerini zayıflattığı göstermektedir [59].

Özkurt tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise, çalışmada (2013), Bi-2212 seramiklerin süperiletkenlik özellikleri üzerine sodyum (Na) katkısının etkisi araştırılmıştır. $Bi_2Sr_2Ca_1Cu_{2-x}Na_xO_y$ kompozisyonunda ($x = 0.0, 0.05, 0.1$ ve 0.25) örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı ve hazırlanan örnekler XRD, SEM, DC elektriksel özdirenç ve M-H ölçümleri kullanılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, tüm örneklerde temel faz yapısının Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı olduğu görülmüştür. SEM mikro yapı analizi sonuçlarında, Na katkısının artmasıyla tane çaplarının giderek büyüdüğü ve örneklerin morfolojik yapılarının olumlu yönde geliştiği tespit edilmiştir. Sıcaklığa bağımlı özdirenç ölçümlerinde, tane çaplarının artması tanelerin daha düzenli yönelmesi ve taneler arası bağlantıların daha kuvvetli oluşması ile en yüksek geçiş sıcaklığı maksimum Na katkılı örnekte elde edilmiştir. Ayrıca, M-H ölçümlerinden elde edilen manyetik histerezis grafiklerinde ise sodyum katkısının artması ile manyetizasyon eğrilerinde kapalı alan giderek arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen bulgularda görüldüğü gibi, Na katkısının artması ile temel süperiletkenlik özelliklerde gelişmeler elde edilmiştir [60]. Diğer taraftan, Özkurt tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, BSCCO süperiletkenler üzerine Na elementinin daha yüksek oranlarda katkısının etkisi

araştırılmıştır. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Na}_x\text{O}_y$ ($x = 0.3, 0.35, 0.4$ ve 0.5) kompozisyonunda süperiletken örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı ve hazırlanan örnekler XRD, SEM, DC elektriksel özdirenç ve M-H ölçümleri kullanılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında bazı safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazıdır. Ayrıca katkı oranı yüksek oranlarda olmasına rağmen katkı elementinin kristal yapı içerisine girdiğinin bir göstergesi olarak Na elementine ait safsızlık fazı tespit edilmemiştir. SEM ölçüm sonuçlarında diğer örnekler ile karşılaştırdığında maksimum sodyum katkısı ile üretilen örnekte daha büyük çapta taneler ve daha az boşluklu yapı gözlemlenmiştir. Morfolojik yapıda meydan gelişmeler ile en yüksek süperiletkenlik geçiş sıcaklığı maksimum katkılı örnekte elde edilmiştir. Diğer taraftan, manyetizasyon sonuçlarında ise daha geniş ve düzenli tane yapılarının oluşması, taneler arasında bağlantıların artması ve etkili çivileme bölgelerinin oluşması ile en iyi manyetizasyon sonuçları diğer ölçüm sonuçları ile uyumlu olarak maksimum katkılı örnekte elde edilmiştir [61].

Gün ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2017), Bi-2212 seramiklerin fiziksel, elektriksel ve manyetik özellikleri üzerine krom (Cr) katkısının etkisi araştırılmıştır. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.1$ ve 0.2) kompozisyonunda örnekler polietilemin yöntemi kullanılarak üretilmiş ve LFZ yöntemi kullanılarak düzgün bir kristal yapı sağlanmıştır. Süperiletken örnekler üretildikten sonra XRD, SEM, DC özdirenç ve M-H ölçümleri yapılarak analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında, bazı safsızlık fazlarının oluşmasının yanında, tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, B örneğinde Bi-2212 faz yapısına ait bazı piklerin pik şiddetlerinde artış gözlemlenmiştir. SEM mikro yapı analizlerinde elde edilen yüzey görüntülerinde, LFZ yönteminin karakteristik özelliği olarak tüm örneklerin iyi bir şekilde hizalanmış tanelerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, XRD ölçüm sonuçları ile uyumlu olarak, SEM görüntülerinde örneklerde farklı safsızlık fazlarına ait olabilen farklı renkte kontrast oluşumu tespit edilmiştir. Elektriksel özdirenç ölçüm sonuçlarında ise, diğer örneklerle karşılaştırıldığında 0.05 krom katkılı örnekte optimum hol konsantrasyonunun elde edilmesi ile en yüksek geçiş sıcaklığı elde edilmiştir. Ayrıca özdirenç sıcaklık grafiğinde D örneğinde süperiletkenlik geçişi tespit edilememiştir. Manyetik ölçüm sonuçlarında ise, diğer örnekler ile karşılaştırıldığında 0.05 krom katkılı örnekte kuvvetli akı çivileme özelliklerinin oluşması ile daha iyi manyetik özellikler gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda, 0.05 krom katkılı örnekte elektriksel ve manyetik özelliklerde elde edilen gelişmeler ile en iyi süperiletkenlik sonuçları elde edilmiştir [62].

Gündoğmuş tarafından yapılan çalışmada (2017), Bi-2212 süperiletkenler üzerine itriyum (Y) katkısının etkileri araştırılmıştır. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.75, 0.1, 0.15$ ve 0.2) kompozisyonunda örnekler sol-jel yöntemi kullanılarak hazırlanarak XRD, SEM ve

manyetizasyon ölçümleri ile analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında, örneklerde bazı safsızlık fazlarının gözlemlenmesine rağmen, tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 faz yapısına ait olduğu tespit edilmiştir. SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen görüntülerde, tüm örneklerde BSCCO süperiletkenlerin karakteristik tane yapıları gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, artan Y katkısı ile örneklerde taneciksel özellikler negatif olarak etkilenerek taneler giderek küçülmüş ve tane sınırları artmıştır. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, katkısız örnek daha düzenli tane dizilimine sahiptir. Duygunluk ölçümü ile elde edilen süperiletkenlik geçiş sıcaklıklarında, 0.75 Y katkılı örnek en yüksek geçiş sıcaklığına sahiptir. M-H ölçüm sonuçlarında elde edilen histerezis eğrilerinde, Y katkısının artması ile zayıf akı çivileme özellikleri ve taneler arası zayıf bağlantıların oluşması ile örneklerin histerezis eğri alanı giderek azalmıştır. Akı çivileme kuvveti ölçümü ve kritik akım yoğunluğu hesaplamalarında elde edilen sonuçlarda diğer örnekler ile karşılaştırıldığında 0.05 katkılı örnekte daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda, Y katkısının artması ile süperiletkenlik özellikler negatif olarak etkilenirken, kritik akım yoğunluğu ve akı çivileme kuvveti değerlerinde en iyi sonuçlar $x = 0.05$ Y katkılı örnekte elde edilmiştir [63].

Terzioğlu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2008), Bi-2223 seramiklerin kristal yapısı ve süperiletkenlik özellikleri üzerine altın elementi difüzyonunun etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada saf ve altının difüzyon işlemi uygulanacak örnek $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{2.1}\text{Cu}_3\text{O}_y$ kompozisyonunda katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Difüzyon işlemi uygulanacak örneğin yüzeyi sinter işlemi aşamasından önce altın ile kaplandı ve ısı işlemi uygulandı. Saf numune ile altın difüze edilen örneklerin temel özellikleri XRD, SEM ve öz direnç ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldı. XRD ölçümü vasıtasıyla, altının kristal yapı içerisine girdiğinin göstergesi olarak altın elementine ait herhangi bir safsızlık fazının olmadığı tespit edildi. Ayrıca difüzyon işlemi uygulanan örnekte Bi-2223 fazının yoğunluğu ve pik şiddetlerinin arttığı görülmektedir. SEM mikro yapı analizlerinde, saf örnekte Bi-2223 faz yapısına ait olan iğnemsiz tanelerin oluşumunun yanında Bi-2212 faz yapısına ait plaka benzeri tanelerin oluşumu da gözlemlenmektedir. Altın katkılı örnekte ise iğnemsiz yapıda taneler yüzeyde daha düzgün ve daha az boşluklu yapıda oluşmuştur. Elektriksel ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda ise, difüzyon işlemi uygulanan örnekte Bi-2223 faz yoğunluğunun ve taneciksel özelliklerinin gelişmesi ile daha yüksek süperiletkenlik geçiş sıcaklığı değeri ve daha düşük oda sıcaklığı direnç değeri gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgularda görüldüğü gibi sinter aşaması önce uygulanan altının difüzyon işlemi örnekte temel süperiletkenlik özellikleri geliştirmiştir [64].

Sotelo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2015), Bi-2212 süperiletken sisteminde bizmut sitelere farklı oranlarda kurşun katkısının etkileri araştırmışlardır. $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_y$ kompozisyonunda süperiletken örnekler polietilenimin yöntemi kullanılarak

üretmiş ve LFZ yöntemi ile tekstüre edilmiştir. Üretilen süperiletken örnekler XRD, SEM ve I-V ölçümleri ile karakterize edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında, ikincil safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen, tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, yapı içerisinde Pb katkısının artması ile örneklerde safsızlık fazlarının arttığı görülmektedir. Katkı oranında artış ile oluşan safsızlık fazları mikro yapı analizlerinde, yüzeyde farklı kontrastta yapıların oluşumu ile de tespit edilmiştir. Mikro yapı analizinde elde edilen görüntülerde saf numunede Bi-2212 süperiletkenlik fazının karakteristik görüntüsü olan koyu gri bölgeler daha yoğundur. Artan Pb katkısı ile örneklerin mikro yapılarında, diğer safsızlık fazlarının oluşumunu gösteren farklı kontrastta bölgeler ve daha düzensiz tane yapıları oluşmuştur. Elektriksel ölçüm sonuçlarında, kurşun katkısının artması ile Bi-2212 süperiletkenlik fazının diğer safsızlık fazlarına ayrışmasından dolayı süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları giderek azalmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen bulgularda Bi siteleri yerine yapılan Pb katkılanması süperiletkenlik özellikleri kötüleştirdiği görülmektedir [65].

Bouaïcha ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2015), Bi-2212 süperiletken sistemlerde bizmut sitelere farklı oranlarda kalay katkısının etkisi araştırılmıştır. $\text{Bi}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ ($x = 0.0, 0.1, 0.3$ ve 0.5) kompozisyonunda süperiletken örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilerek XRD, SEM ve manyetizasyon ölçümleri yapılarak analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında temel faz yapısının Bi-2212 süperiletkenlik fazı olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, XRD ölçüm sonuçlarında elde bulgularda, 0.1 oranında kalay katkılı örnekte Bi-2212 faz yapısına ait pik şiddetlerinde artış meydana gelmiştir. SEM ölçüm sonuçlarından elde edilen yüzey analizlerinde, artan kalay katkısı ile örneklerde tanelerin daha düzenli bir şekilde yöneldiği tespit edilmiştir. Duygunluk ölçümlerinden elde edilen süperiletkenlik geçiş sıcaklığı sonuçlarında, daha düzenli tanelerin oluşumu ve kalay elementinin taneler arasına yerleşip taneler arası bağlantıları arttırması ile en yüksek geçiş sıcaklığı 0.1 kalay katkılı örnekte elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda, Bi-2212 süperiletken sisteminde bizmut sitelere yapılan $x = 0.1$ oranında kalay katkısının temel özellikleri geliştirdiği görülmektedir [66].

Nane ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2016), Bi-2212 süperiletkenlerin üzerine vanadyum(V) katkısının etkisi araştırıldı. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{V}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ ($x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.3$, ve 0.4) kompozisyonunda süperiletken numuneler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı ve XRD, SEM ve manyetizasyon ölçümleri kullanılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, tüm örneklerde bazı safsızlık fazlarının oluşumunun yanında temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı olduğu gözlemlenmiştir. $x = 0.1$ vanadyum katksından daha yüksek oranlarda katkı içeren örneklerde safsızlık fazlarının yoğunluğu artmış ve Bi-2212 fazı, Bi-2201 fazına ayrışmaya başlamıştır. SEM ölçüm sonuçlarında XRD analizinde elde edilen sonuçlara uygun olarak örneklerin yüzey yapılarında hem Bi-2212 hem de Bi-2201 faz yapısına ait

tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. Bunun yanında örneklerde V katkısı arttıkça daha büyük tanelerin oluşumu tespit edilmiştir. Örneklerde en yüksek geçiş sıcaklığı $x = 0.05$ V katkılı örnekte elde edilmiştir. Daha yüksek katkı oranlarında geçiş sıcaklığı değeri giderek azalmıştır. Manyetik ölçüm sonuçlarında en yüksek manyetizasyon değeri daha kuvvetli akı çivileme özellikleri ile $x = 0.05$ V katkılı örnekte tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bulgularda Ca sitelere yapılan 0.05 V katkısı ile süperiletkenlik özellikleri geliştirdiği gözlemlenmiştir [67].

Sykorova ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2004), Bi-2223 seramiklerin üzerine Li ve Cs elementlerini ekleyerek süperiletkenlik özelliklerini araştırmışlardır. Malzemeler $\text{Bi}_{3.2}\text{Pb}_{0.8}\text{Sr}_4\text{Ca}_5\text{Cu}_7\text{V}_x\text{O}_y$ ($A = \text{Li}, \text{Cs}$ ve $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6,$ ve 0.8) kompozisyonunda iki farklı sistemde, süperiletken malzemeler katı hal tepkime yöntemi ile hazırlanarak, XRD ve elektriksel ölçümler ile karakterize edildi. XRD analizlerinde tüm örneklerde temel faz yapısının Bi-2223 yüksek sıcaklık fazı olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, kristal yapı içerisine Li elementinin girmesi Bi-2223 fazını desteklerken, aynı etki Cs elementinde görülemediği. Cs oranının artması ile Bi-2223 fazı diğer safsızlık fazlarına ayrılmıştır. XRD ölçüm sonuçlarında, diğer örneklerle karşılaştırıldığında en yüksek oranda Bi-2223 fazının oluşumu $x = 0.4$ oranında lityum eklenen örnekte elde edilmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında her iki sistemde de en yüksek geçiş sıcaklığı $x = 0.2$ oranında element eklenen örneklerde gözlemlenmiştir. Kritik akım yoğunluğu ölçüm sonuçlarında lityum içeren sistemde katkı oranının artması ile J_c değeri giderek azalmaktadır. Sezyum içeren sistemde ise en yüksek J_c değeri 0.2 oranında sezyum eklenen örnekte elde edilmiştir. Elde edilen bulgularda her iki sistem göz önüne alındığında en iyi süperiletkenlik özellikler $x = 0.2$ oranında Sezyum içeren örnekte gözlemlenmiştir [68].

Çam ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2016), Bi-2223 süperiletken sisteminde bizmut sitelere antimon katkısının etkisi araştırılmıştır. Seramik süperiletkenler $\text{Bi}_{1.75-x}\text{Pb}_{0.25}\text{Sb}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.2$) kompozisyonunda katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilmiş ve XRD, SEM ve elektriksel ölçümler kullanılarak analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında tüm örneklerde Bi-2223 yüksek sıcaklık faz yapısının oluşmasına rağmen temel faz yapısı Bi-2212 faz yapısı olduğu gözlemlenmiştir. Artan Sb katkısı ile safsızlık fazları giderek artmış ve Bi-2223 faz yapısına ait karakteristik piklerin yoğunluğu ve şiddetlerinde azalmalar tespit edilmiştir. SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen yüzey analizlerinde tüm örnekler rastgele yönelimli plaka benzeri tanelerden oluşmuştur. En geniş süperiletken taneler $x = 0.05$ oranında Sb katkılı örnekte oluşurken daha yüksek katkı oranlarında örneklerin tanecikler özellikleri bozulmuştur. Elektriksel ölçüm sonuçlarında en yüksek süperiletkenlik geçiş sıcaklığı $x = 0.05$ oranında Sb katkılı örnekte gözlemlenmiştir. Daha yüksek katkı oranlarında safsızlık fazlarında meydana gelen artışlar ile geçiş sıcaklıkları giderek

azalmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgularda en iyi süperiletkenlik özellikler $x = 0.05$ oranında Sb katkılı örnekte gözlenmiştir [69].

Maqsood ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (1992), Bi-2223 süperiletken sistemi içerisine farklı oranlarda baryum eklenerek elektriksel özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_4\text{O}_y + \text{Ba}_x$ ($x = 0.4, 0.05, 0.6, 0.8$ ve 1.6) kompozisyonunda katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilmiştir. XRD analizlerinde elde edilen bulgularda, kristal yapı içerisine $0.4-0.8$ aralığında Ba elementi girdiğinde Bi-2223 faz yapısının oluşumunu desteklediği görülmüştür. $x = 0.8$ 'den daha yüksek ekleme oranında ise Bi-2223 fazı düşük sıcaklık Bi-2212 ve diğer safsızlık fazlarına ayrılmıştır. Elektriksel direnç ölçüm sonuçlarında $x = 0.8$ oranında Ba eklenen ve 160 saat sinter işlemi uygulanan örnekte en yüksek süperiletkenlik geçiş sıcaklığı elde edilmiştir. $x = 1.6$ oranında Ba içeren örnekte XRD sonuçları ile uyumlu olarak geçiş sıcaklığı değeri azalmıştır [70].

Sasakura ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2009), Bi-2212 süperiletken sisteminde Bi sitelere bor katkısının etkisi araştırılmıştır. Süperiletken örnekler $\text{Bi}_{2-x}\text{B}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ve 1.0) başlangıç kompozisyonu ile katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve XRD, elektriksel direnç ve duygunluk ölçümleri yapılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, safsızlık fazlarının oluşması ile birlikte tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazının olduğu gözlemlenmiştir. Ancak artan bor katkısı ile Bi-2212 fazı safsızlık fazlarına ayrılmıştır. Duygunluk ölçümü ve elektriksel direnç ölçümleri ile elde edilen geçiş sıcaklığı değerlerinde, örneklerde süperiletkenlik geçiş sıcaklığı artan bor katkısı ile giderek azalmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgularda, bor katkısı ile Bi-2212 faz yapısının diğer safsızlık fazlara ayrışması ve hol konsantrasyonunun azalması ile sistemin temel özellikleri kötüleşmektedir [71].

Hamid ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2000), Bi-2212 ve Bi-2223 süperiletkenler içerisine TiO_2 ekleyerek her iki sistem üzerine etkisi araştırılmıştır. $\text{Bi}_{2-x}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_y + (\text{TiO}_2)_x$ ($x = 0.0, 0.05, 0.10$ ve 0.15) ve $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y + (\text{TiO}_2)_y$ ($y = 0.0, 0.10, 0.10, 0.20$ ve 0.40) kompozisyonlarında iki farklı sistem katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve XRD, SEM ve DC elektriksel ölçümler kullanılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, Bi-2212 sisteminde tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazının olduğu gözlemlenmiştir. Bi-2223 sistemi için elde edilen XRD ölçüm sonuçlarında ise, Bi-2212 ve Bi-2223 faz yapılarının beraber oluştuğu gözlemlenmektedir. Kristal yapı içerisinde, TiO_2 oranının artması ile Bi-2223 faz yapısı Bi-2212 ve diğer safsızlık fazlarına ayrılmaktadır. Her iki sistem için elde edilen SEM mikro yapılarında, TiO_2 oranının artması ile tane çapları giderek azalmış ve taneler arasında boşluklar meydana gelmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında, yapı içerisinde artan TiO_2 oranı ile Bi-2212 sisteminde safsızlık fazlarının oluşması ve tane yapılarında bozulmalar meydana gelmesi ile kritik geçiş sıcaklığı

değeri giderek azalmıştır. Diğer taraftan, Bi-2212 sisteminde örnekler içerisinde zayıf bağlı tane yapılarının oluşması ve safsızlık fazlarının akı çivileme merkezleri oluşturmamaları ile kritik akım yoğunluğu değeri giderek azalmıştır. Bi-2223 sisteminde elektriksel ölçüm sonuçlarında da Bi-2212 sisteminde olduğu gibi TiO_2 yapı içerisinde Bi-2223 faz yoğunluğunu azaltması, süperiletken tane yapılarını kötüleştirmesi ile geçiş sıcaklığı ve kritik akım yoğunluğu değerleri giderek azalmıştır. Bu çalışma için edilen bulgularda TiO_2 yapı içerisine eklenmesi her iki sistemde de temel süperiletkenlik özellikleri kötüleştirmiştir [72].

Vinu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2009), Bi-2212 sisteminde süperiletkenlik özellikler üzerine lütesyum katkısının etkisi araştırılmıştır. Süperiletken örnekler $Bi_{1.6}Pb_{0.5}Sr_{2-x}Lu_xCa_{1.1}Cu_{2.1}O_y$ ($x = 0.0, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125$ ve 0.15) başlangıç kompozisyonu ile katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve XRD, SEM, elektriksel direnç ve manyetik ölçümleri gerçekleştirilerek analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında tüm örneklerde temel faz yapısının Bi-2212 süperiletkenlik fazı olduğu ve lütesyum elementinin kristal yapı içerisine girebildiğinin göstergesi olarak, lütesyum elementine ait herhangi bir safsızlık fazı tespit edilmemiştir. Artan Lu katkısı ile Bi-2212 faz şiddetleri giderek azalmıştır. SEM ölçümü ile yapılan mikro yapı analizlerinde katkısız örnek daha düzenli plaka benzeri tanelerden oluşurken, Lu katkısının artması ile plaka benzeri tane oluşumları giderek azalarak, boşluklu yapıda artış meydana gelmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, artan Lu katkısı ile bakır oksit tabakalarda hol konsantrasyonunda meydana gelen gelişmeler ile örneklerde geçiş sıcaklığı giderek artmıştır. Örneklerde optimum hol konsantrasyonunun elde edilmesi ve kuvvetli akı çivileme mekanizmasının oluşumu sonucunda diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en iyi manyetik özellikler $x = 0.10$ Lu katkılı örnekte gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda, Sr sitelere Lu katkısı ile kuvvetli çivileme merkezlerinin oluşumu ve optimum hol konsantrasyonlarının elde edilmesi ile temel süperiletkenlik özellikler gelişmiştir [73].

Arani ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2018), Bi-2212 kristal yapısı içerisine bor elementi eklenerek temel süperiletkenlik özellikler araştırılmıştır. $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_2O_y + (B_2O_3)$ ($x = 0.0, 0.05, 0.1, \text{ ve } 0.2$) başlangıç kompozisyonu ile süperiletken örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve XRD, SEM, manyetizasyon ve kritik akım yoğunluğu ölçümleri kullanılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, bazı safsızlık fazlarının oluşması ile beraber örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 faz yapısı olarak elde edilmiştir. Bi-2212 faz yoğunluğu $x = 0.05$ bor eklenen örnekte en yüksek değerde oluşması ile birlikte daha yüksek katkı oranlarında Bi-2212 fazının yoğunluğu giderek azalmaktadır. SEM ile yapılan mikro yapı analizlerinde tüm örnekler Bi-2212 faz yapısının temel karakteristiği olan plaka benzeri tanelerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Diğer örneklerle karşılaştırıldığında daha büyük taneler, daha kuvvetli taneler arası bağlar ve daha az boşluklu yapı $x = 0.05$ bor eklenen

örnekte tespit edilmiştir. Duygunluk ölçümleri ile elde edilen kritik geçiş sıcaklığı değerleri sonuçlarında, yüksek oranda Bi-2212 fazının oluştuğu ve daha düzenli tane yapılarının elde edildiği belirtilmiş ve $x = 0.05$ bor eklenen örnekte en yüksek geçiş sıcaklığı değeri elde edilmiştir. Manyetizasyon ölçümlerinde elde edilen M-H grafiklerinde, taneler arası kuvvetli bağların meydana gelmesi ve kuvvetli çivileme merkezlerinin oluşumu ile $x = 0.05$ bor eklenen örnekte en yüksek manyetizasyon değeri elde edilmiştir. Bean modeli ile manyetizasyon ölçümlerine bağımlı olarak hesaplanan kritik akım yoğunluğu değerlerinde $x = 0.05$ bor eklenen örnek diğer örnekler ile karşılaştırıldığında daha yüksek değere sahiptir [74].

Igbal ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2006), Bi-2223 süperiletken üzerine antimon (Sb) katkısı araştırıldı. $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 0.00, 0.02, 0.04, 0.05, 0.08, 0.15$) başlangıç kompozisyonunda hazırlanan süperiletken örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı ve XRD, SEM, elektriksel direnç ölçümleri ve ac duygunluk ölçümü ile analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 fazı ile beraber Bi-2223 yüksek sıcaklık fazının olduğu gözlemlenmiştir. $x = 0.05$ Sb katkılı örnekte Bi-2223 fazının yoğunluğu ve pik şiddetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. SEM ölçüm sonuçlarında, tüm örneklerde Bi-2223 fazına ait tane yapılarının oluştuğu görülmektedir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, $x = 0.05$ Sb katkılı oranına örnekte tane çaplarının giderek arttığı ve daha az boşluklu yapı ile tane sınırlarının azaldığı görülmektedir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında ve duygunluk ölçümü sonuçlarında $x = 0.05$ Sb katkılı örnekte daha düzenli faz geçişleri ile daha yüksek geçiş sıcaklığı tespit edilmiştir. $x = 0.05$ katkılama oranından sonra Bi-2223 fazlarının şiddeti ve yoğunluğunun azalması ve tane yapısının kötüleşmesi ile süperiletkenlik özellikleri bozularak geçiş sıcaklığı değerleri azalmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgularda en iyi süperiletkenlik özellikleri $x = 0.05$ Sb katkılı süperiletken örnekte elde edilmiştir [75].

Azhan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2010), Bi-2223 süperiletkenler üzerine zirkonyum katkısı ve ısıl işlemin etkisi araştırıldı. Süperiletken örnekler katı hal tepkime yöntemi ile $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y + \text{Zr}_x$ ($x = 0.00, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1$ ve 0.2) başlangıç kompozisyonunda hazırlandı. Örnekler $850\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sinterlendikten sonra 30 saat boyunca $830\text{ }^\circ\text{C}$ ve $860\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ısıl işlem uygulandı. Üretilen süperiletken örnekler XRD ve R-T ölçümleri kullanılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, Bi-2212 ve Bi-2223 fazının birlikte oluşumları gözlemlenmiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında $x = 0.01$ Zr katkılı ve sinter işlemi sonrası $830\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 saat ısıl işlem uygulanan örnekte daha yüksek oranda Bi-2223 fazının oluşumu gözlemlenmiştir. Direnç ölçüm sonuçlarında Bi-2223 yüksek sıcaklık süperiletken fazının yüksek oranda oluşması ile en yüksek geçiş sıcaklığı $830\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ısıl işlem uygulanan $x = 0.01$ Zr katkılı örnekte gözlemlenmiştir [76].

Vera ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2018), Bi-2212 süperiletkenlerde stronsiyum tabakalarına indiyum (In_2O_3) katkısının etkisi araştırılmıştır. Seramik yapıda örnekler $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{In}_x\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ (0.0-0.8) başlangıç kompozisyonu ile katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Elde edilen süperiletken örnekler XRD, SEM ve elektriksel direnç ölçümleri ile analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında, bazı safsızlık fazlarının oluşumunun yanında Bi-2212 faz yapısı baskın olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan, 0.4 İndiyum katkısından sonra yapı içerisinde süperiletken olmayan ikincil fazların oluşumu artmıştır. SEM ölçüm sonuçlarında tüm örneklerde plaka benzeri tanelerin varlığı gözlemlenmiştir. Düşük katkılama oranlarında daha küçük taneler oluşurken daha yüksek indiyum katkılı örnekte taneler giderek büyümüştür. Elektriksel ölçüm sonuçlarında, süperiletken fazların daha yüksek oranda oluşması ile birlikte daha büyük süperiletken tanelerin gözlemlenmesi ile en yüksek geçiş sıcaklığı $x = 0.2$ indiyum katkılı örnekte oluşmuştur [77].

Sam ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2019), Bi-2212 süperiletkenlerin yapısal ve süperiletkenlik özellikleri üzerine baryum (Ba) katkısının etkileri araştırılmıştır. Sol-jel yöntemiyle üretilen süperiletken örnekler XRD, SEM ve manyetik ölçümler kullanılarak analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, tüm örneklerin tetragonal kristal yapıda oluşmasıyla birlikte temel faz yapısının Bi-2212 süperiletkenlik fazı olduğu gözlemlenmiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında yüksek oranda Bi-2212 faz yoğunluğunun oluşumu 0.01 oranında Baryum elementi katkılanan örnekte elde edilmiştir. Örneklerin yüzeyinden elde edilen SEM ölçüm sonuçlarında, tüm örnekler Bi-2212 fazının karakteristik davranışı olan rastgele yönelimli plaka benzeri tanelerden meydana gelmiştir. Ba içermeyen katkısız örnekte, birbirleriyle daha kuvvetli bağlı tanelerden oluşmuştur. AC duygunluk ölçümü sonuçlarında ise, artan Ba katkısı ile süperiletkenlik geçiş sıcaklığı giderek azalmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen bulgularda Ba elementi katkısının süperiletkenlik özellikleri olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir [78].

Çalış ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2015), Bi-2212 seramiklerin süperiletkenlik özellikleri üzerine sodyum-vanadyum ikili katkılamaların etkisi araştırılmıştır. Katı hal tepkime yöntemi ile üretilen örneklerde Sodyum oranı sabit tutularak, Vanadyum oranı ($x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.2$) arttırılmıştır. Elde edilen süperiletken örneklerde Sodyum-Vanadyum ikili katkılamasının etkisini araştırmak için XRD, SEM, R-T ve M-H ölçümleri gerçekleştirildi. XRD ölçümünden elde edilen bulgularda, birçok safsızlık fazının oluşmasının yanında örneklerde temel faz yapısının Bi-2212 yüksek sıcaklık faz yapısının olduğu elde edilmiştir. SEM sonuçlarında diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, 0.05 vanadyum katkılama oranı ile üretilen örnekte boşluklu yapının azaldığı ve plaka benzeri tanelerin daha düzenli oluşumu gözlemlenmiştir. Elektriksel direnç ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, T_c^{onset} sıcaklık

değeri artan katkılama oranı ile giderek artarken, T_c^{offset} değerleri ise giderek azalmaktadır. Optimum hol konsantrasyonu değerine ulaşılması ile diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en yüksek T_c^{onset} ve T_c^{offset} değeri 0.1 katkılı örnekte elde edilmiştir. Daha düzenli tanelerin dizilimi ve taneler arasında kuvvetli bağların oluşması ile en yüksek manyetizasyon değeri 0.05 Vanadyum katkılı örnekte elde edilmiştir [79].

Kır ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2016), katı hal tepkime yöntemi ile hazırlanan $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{K}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.1$ ve 0.2) seramik süperiletkenlerin faz oluşumu ve morfolojik yapı üzerine sodyum ve potasyum ikili katkılamaların etkisi araştırılmıştır. Örnekler üzerinde analiz çalışmaları için XRD, SEM, R-T ve M-H ölçümleri gerçekleştirildi. XRD ölçüm sonuçlarında, tüm örneklerin benzer faz oluşumuna sahip olduğu görülmüştür. Örneklerde Bi_2CaO_4 ikincil safsızlık fazının oluşmasına rağmen, temel faz yapısının Bi-2212 yüksek sıcaklık faz yapısı olduğu tespit edilmiştir. SEM mikro yapı analizlerinde, potasyum katkısının artması ile tane çaplarında artış gözlemlenmiştir. Ancak tane çaplarında artış meydana gelirken, taneler arasında elektriksel özellikleri negatif olarak etkileyebilecek geniş ölçekte boşluklu yapı oluşmuştur. Özdirenç sıcaklık ölçümü sonuçlarında en yüksek T_c^{onset} sıcaklık değeri $x = 0.2$ katkılı örnekte gözlemlenmesine rağmen $x = 0.2$ katkılı örnekte T_c^{offset} değeri diğer örneklerle karşılaştırıldığında en düşük değere sahiptir. Örneklerde faz yapılarının benzer olması sebebiyle, M-H ölçümü sonuçlarında, histerezis eğrilerinde benzer simetriler gözlemlenmiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, $x = 0.2$ katkılı örnekte büyük ölçekte tanelerin oluşumu ile en geniş histerezis alan gözlemlenmiştir. Manyetizasyon ölçümlerine bağımlı kritik akım ölçüm sonuçlarında $x = 0.2$ katkılı örnek diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en yüksek değere sahiptir. Böylece $x = 0.2$ potasyum ve $x = 0.25$ sodyum katkılı örnekte büyük ölçekte taneler oluşumunun yanında boşluklu yapı meydana gelmesine rağmen daha iyi süperiletkenlik göstermektedir [80].

Özkurt tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2017), Bi-2212 seramik süperiletkenlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine lityum ve sodyum ikili katkılamalarının etkisi araştırılmıştır. Polikristal örnekler $\text{Bi}_{1.8}(\text{Li},\text{Na})_x\text{Sr}_2\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.1}\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.10$ ve 0.2) genel formülü ile katı hal tepkime yöntemi ile hazırlandı ve XRD, SEM, DC elektriksel direnç ve M-H ölçümleri ile analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, bazı safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen, tüm örneklerde temel faz Bi-2212 faz yapısıdır. $x = 0.0, 0.05, 0.10$ oranlarında Li ve Na eklenen örneklerde piklerin şiddetleri ve yoğunluğu birbirlerine benzerken, $x = 0.2$ Li ve Na eklenen örnekte süperiletken özellikleri kötüleştirildiğinin bir göstergesi olarak pik şiddetleri önemli şekilde azalmıştır. Bunun yanında XRD grafiğinde katkı elementlerinin kristal yapı içerisine girebildiğinin bir göstergesi olarak Li ve Na elementine ait herhangi bir safsızlık fazı gözlemlenmemiştir. SEM ile gerçekleştirilen mikro yapı analizlerinde, tüm örneklerde rastgele yönelimli plaka benzeri taneler meydana gelmiştir. Kristal yapı içerisinde eklenen element

oranlarının artması ile taneler arasında daha kuvvetli bağların oluşması ve daha az boşluklu yapının elde edilmesi ile tane çapları giderek artmıştır. Elektriksel ölçüm sonuçlarında, örneklerde kritik geçiş sıcaklığı $x = 0.2$ oranında Li ve Na eklenen örneğe kadar giderek artmıştır. Süperiletken taneler arası bağlantıların kuvvetlenmesine bağlı olarak en yüksek geçiş sıcaklığı değeri $x = 0.10$ oranında Li ve Na eklenen örnekte elde edilmiştir. Manyetizasyon ölçümlerinde tüm örneklerin benzer manyetik davranış sergilemesinin yanında, kuvvetli çivileme merkezlerinin oluşumu ile en geniş histerezis alanı $x = 0.2$ oranında Li ve Na eklenen örnekte gözlemlenmiştir. Manyetizasyon değerlerine bağımlı hesaplanan kritik akım yoğunluğu ölçümünde ise en yüksek akım yoğunluğu değeri daha iyi manyetik davranış sergileyen $x = 0.2$ oranında Li ve Na eklenen örnekte gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda Bi-2212 krista yapısına Li ve Na ikili eklenmesi sistemin süperiletkenlik özelliklerini geliştirdiği gözlemlenmiştir [81].

Kaki ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2009), Bi-2212 süperiletkenlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine kurşun ve lantanyum ikili katısının etkisi araştırılmıştır. Seramik yapıda örnekler $\text{Bi}_{1.4}\text{Pb}_{0.6}\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$ (0.0, 0.005, 0.01, 0.015 ve 0.025) kompozisyonu ile katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilmiştir ve XRD, SEM ve AC duygunluk ölçümleri kullanılarak analiz edildi. XRD ile yapılan faz analizi sonuçlarında elde edilen bulgularda, örneklerde Bi-2201 ve bazı safsızlık fazlarının oluşumu ile tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazıdır. Yapı içerisinde La katkısının artması ile safsızlık fazlarında azalma gözlemlenmiştir. SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen mikro yapı analizlerinde, tüm örneklerde benzer yapıda tane oluşumları gözlemlenmiştir. Artan lantanyum katkısı ile örneklerde tane çapları giderek artmıştır. Duygunluk ölçümü ile elde edilen geçiş sıcaklığı ölçümlerinde en yüksek geçiş sıcaklığı $x = 0.01$ La katkılı örnekte gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda Bi-2212 süperiletken faz yoğunluğunun artması ve daha iyi tane özellikleri sergilemesi ile en iyi süperiletkenlik özellikleri $x = 0.01$ oranında La katkılı örnekte elde edilmiştir [82].

Sarun ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2009), kurşun katkılı Bi-2212 sistemine farklı oranlarda İtiryum eklenmiştir. $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.1}\text{O}_{8+\delta} + Y_x$ ($x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$) başlangıç kompozisyonunda örnekler katı hal tepkime yöntemi ile hazırlandı. Katı hal yöntemi ile hazırlanan örnekler XRD, SEM ve elektriksel direnç ölçümleri ile karakterize edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, bazı safsızlık fazlarının oluşması ile birlikte tüm örneklerde temel faz Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazıdır. Bi-2212 fazının yoğunluğu $x = 0.3$ katkı oranına kadar artarken, daha yüksek oranlarda itiryum katkılı örnekte ikincil safsızlık fazlarının oluşumu ile Bi-2212 faz yoğunluğu azalmıştır. SEM ölçümü ile elde edilen yüzey analizinde tüm örnekler plaka benzeri tane yapılar gözlemlenmiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığı zaman, $x = 0.1$ itiryum katkılı örnek, daha büyük ölçekte ve daha az boşluklu yapı tanelerden meydana

gelmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında ise, faz yapısında meydana gelen gelişmeler ve optimum hol konsantrasyonunun elde edilmesi ile en yüksek geçiş sıcaklığı $x = 0.3$ itriyum katkı örnekte elde edilmiştir [83].

Biju ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2007), Bi-2212 süperiletken sisteminde Bi sitelere kurşun ve bazı nadir toprak elementlerinin katkısının etkisi araştırıldı. $\text{Bi}_{2-x}\text{PbSr}_2\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.1}\text{RE}_{0.25}\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.4$ RE = La, Gd ve Yb) başlangıç kompozisyonunda süperiletken seramikler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak sentezlendi ve XRD, SEM ve elektriksel direnç ölçümleri kullanılarak analiz edildi. X ışını toz kırınım ölçüm sonuçlarında elde edilen faz analizinde tüm örnekler Bi-2212 fazının oluştuğu ve nadir toprak elementlerine ya da kurşun elementi ile alakalı herhangi bir safsızlık fazın oluşmadığı gözlemlenmiştir. SEM ölçüm sonuçlarından elde edilen bulgularda yapı içerisinde Pb katkısız örneklerde daha fazla boşluklu yapıda ve küçük tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. Ancak nadir toprak element katkı örneklerde yapı içerisine Pb elementi girdiği zaman daha düzgün dizilime sahip daha büyük tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında, lantanyum ve kurşun elementinin her ikisinde katkı olduğu örnekte gözlemlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlarda Pb ve RE elementleri ile ikili katkılama yapıldığı zaman sistemin süperiletkenlik özellikleri gelişmiştir [84].

Literatür çalışmalarından görüldüğü gibi BSCCO süperiletkenler içerisine yapılan Nb, B, Cd, Sn, Ag, Pb, Ni, Na gibi birçok faydalı element, yapının süperiletkenlik özelliklerini önemli şekilde artırmıştır. Diğer taraftan, nano boyutta elementlerin BSCCO yapısı içerisine katkılanması ya da eklenmesinde de önemli sonuçlar elde edilmiştir. Nano boyutlu parçacıklar yüksek manyetik alanda J_c değerini arttırmak için akı çivileme merkezi olarak hareket edebilir. Literatürden Bilindiği gibi, boyutları karakteristik Cooper çifti uzunluğuna eşit olan nano mertebede elementler BSCCO kristal yapısı içerisine katkılındığı zaman sistem içerisinde etkili çivileme merkezleri oluşturulabilmektedir. Böylece bu boyutta nano partiküller yapı içerisine girdiği zaman, akı çivileme merkezi oluşturarak J_c değerini pozitif olarak etkileyebilmektedir.

Öztornacı ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri çalışmada (2017), Bi-2212 seramikleri üzerine nano boyutta altın elementi ($x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.2$) eklenerek sistemin yapısal ve manyetik özellikleri araştırıldı. Bi-2212 seramiklerine nano boyutta altın elementi eklemenin etkisi XRD, SEM, R-T ve M-H ölçümleri yapılarak incelendi. XRD sonuçlarında, bazı safsızlık fazlarının oluşmasının yanında temel faz yapısının Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletkenlik fazı olduğu tespit edildi. Diğer taraftan, XRD grafiğinde altın eklenen numunelerde, daha iyi kristalleşmenin göstergesi olarak Bi-2212 pik şiddetlerinde önemli derecede artış elde edilmiştir. SEM ölçüm sonuçlarında tane yapıları incelendiğinde, tüm örneklerde benzer dizilim ve büyüklükte plaka benzeri tanelerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Direnç ölçümü sonuçlarında, altın elementinin artan konsantrasyonu ile taneler arası bağlantıların arttığının göstergesi

olarak T_c^{offset} değeri giderek artmıştır. Manyetizasyon ölçüm sonuçlarında ise diğer örnekler ile karşılaştırıldığında $x = 0.2$ oranında nano altın eklenen örnekte daha geniş manyetizasyon eğrisi elde edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda nano boyutta altın elementi taneler arasında boşluklara yerleşerek Bi-2212 süperiletkenlik sisteminin yapısal ve manyetik özelliklerini geliştirdiği gözlemlenmiştir [85].

Zelati ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2014), BSCCO süperiletkenlerin fiziksel özellikleri üzerine Eu_2O_3 nanopartikül katkısının etkileri araştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada örnekler, $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y + \text{Eu}_2\text{O}_3$ kompozisyonunda ($x = 0.0, 0.3, 0.5$ ve 1.0) sol-jel metodu kullanılarak hazırlanmış ve XRD, SEM, TEM, DC elektriksel özdirenç ve manyetik ölçümler gerçekleştirilerek analiz edilmiştir. XRD analizlerinde, Bi-2212 fazlarının oluşumunun yanında, örneklerde temel faz olarak Bi-2223 yüksek sıcaklık süperiletken fazı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen XRD verilerinden, fazların yüzdelik yoğunlukları hesaplanmış ve dört numunede sırası ile Bi-2223 yüksek sıcaklık fazının oranı %76, 80, 84, 70 olarak elde edilmiştir. Bi-2223 yüksek sıcaklık fazının oranı $x = 1.0$ nano boyutta Eu_2O_3 katkılı örneğe kadar artarken, $x = 1.0$ katkılı örnekte Bi-2223 fazının oranı diğer örneklerle kıyasla azalmıştır. SEM analizinde Bi-2223 yüksek sıcaklık faz yapısının karakteristiği olarak, tüm örnekler rastgele yönelimli plaka benzeri tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, SEM fotoğraflarında artan katkılama oranı ile örneklerde taneler giderek büyürken, maksimum katkılı örnekte tanelerin diğer örnekler ile karşılaştırıldığında küçüldüğü görülmüştür. TEM ölçümü sonuçlarında elde edilen bulgularda, Eu nanopartikülünün süperiletken tane sınırları arasına yerleştiği tespit edilmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında ise, $x = 0.1$ nano boyutta Eu_2O_3 katkısına kadar, örneklerin T_c^{onset} değerleri değişmezken, süperiletken tanelerin birbirileri ile kuvvetli bağlantılarının göstergesi olarak T_c^{offset} değerinde giderek artış gözlemlenmiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en yüksek geçiş sıcaklığı değeri $x = 0.5$ Eu_2O_3 katkılı örnekte gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, $x = 0.1$ nano boyutta Eu_2O_3 katkılı örnekte ise, Bi-2223 faz yoğunluğunun azalması ve süperiletkenlik taneler arası bağlantıların zayıflaması ile geçiş sıcaklığı azalmıştır. Manyetizasyon ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, Eu_2O_3 nano partiküllerinin tane sınırları arasına yerleşmesi ve taneler arası iletkenliği geliştirmesi ile diğer ölçüm sonuçlarıyla uyumlu olarak $x = 0.1$ oranında nano boyutta Eu_2O_3 katkısına kadar manyetizasyon değerlerinde gelişim gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ölçüm sonuçlarından elde edilen bulgularda, katkı malzemesinin süperiletken taneler arasına yerleşerek taneler arası iletimi arttırmasıyla $x = 0.1$ örneğine kadar temel süperiletkenlik özellikler artan katkılama oranı ile gelişmiştir [86].

Yavuz ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2016), (Bi,Pb)-2223 süperiletken sistemine SnO_2 nano partiküllerinin katkısının etkisi araştırılmıştır. $\text{Bi}_{1,7-x}\text{Pb}_{0,3}\text{Sn}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.10$ ve 0.2) kompozisyonunda örnekler katı hal tepkime yöntemi ile hazırlandıktan

sonra XRD, SEM ve AC duygunluk ölçümleri ile analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında örneklerde hem Bi-2212 hem de Bi-2223 faz yapılarının beraber olduğu gözlemlenmiştir. SnO₂ konsantrasyonu x = 0.1 oranına kadar arttırıldığında Bi-2223 faz yoğunluğunda artış meydana gelmiştir. Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda Bi-2223 fazı, Bi-2212 fazı ve diğer safsızlık fazlarına ayrılmıştır. Diğer örneklerle karşılaştırıldığında en yüksek Bi-2223 faz yoğunluğu x = 0.1 katkılı örnekte elde edilmiştir. SEM mikro yapı analizlerinde, tüm örneklerde birbirleri ile zayıf bağlantılı rastgele yönelimli plaka benzeri tanelerin olduğu gözlemlenmiştir. Artan SnO₂ katkısı ile tanelerin küçüldüğü, taneler arası bağlantıların zayıfladığı ve taneler arasında boşlukların olduğu gözlemlenmiştir. Duygunluk ölçümü sonucunda tespit edilen geçiş sıcaklıklarında diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en yüksek geçiş sıcaklığı x = 0.05 SnO₂ nano partikülü katkılı örneğinde elde edilmiştir. Daha yüksek katkılı örneklerde safsızlık fazların oluşumu, tanelerin küçülmesi ve taneler arasında boşlukların oluşması ile geçiş sıcaklıklarında azalmalar gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda x = 0.05 SnO₂ nano partikülü katkılı örnekte en iyi süperiletkenlik özellikler tespit edilmiştir [87].

Agail ve Shukor tarafından yapılan çalışmada (2014), Bi-2223 seramik süperiletkenlere farklı oranlarda nano boyutta SnO₂ ekleyerek temel özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. (Bi_{1,6}Pb_{0,4})Sn_xSr₂Ca₂Sn_xCu₃O_y (x = 0.0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05) kompozisyonunda hazırlanan örnekler XRD, SEM ve elektriksel direnç ölçümleri ile analiz edildi. XRD analizlerinde elde edilen bulgularda, örneklerde temel faz yapısının Bi-2223 yüksek sıcaklık fazı olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, SnO₂ konsantrasyonu oranının artması ile Bi-2223 faz yapısı Bi-2212 faz yapısı ve diğer safsızlık fazlarına ayrılmaktadır. SEM mikro yapı analizlerinde, tüm örneklerde rastgele yönelimli plaka benzeri tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. SEM görüntülerine bakıldığı zaman daha düşük nano boyutta SnO₂ konsantrasyona sahip örnekler daha geniş plaka benzeri tanelere sahiptir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında x = 0.02 SnO₂ eklenen örnekte daha düzenli yapıda ve daha büyük ölçekte taneler oluşmuştur. Elektriksel ölçüm sonuçlarında ise, daha düzenli tane oluşumu, daha büyük ölçekte taneler elde edilmesi ve taneler arası bağların kuvvetlenmesi ile x = 0.02 SnO₂ eklenen örnekte diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en yüksek geçiş sıcaklığı ve kritik akım yoğunluğu değerleri elde edilmiştir [88].

Çördük ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2017), Bi-2223 süperiletkenlerin üzerine nano boyutta magnezyum nano partikülü eklemenin etkisi araştırılmıştır. Örnekler Bi_{1,7}Pb_{0,3}Sr₂Ca₂Cu₃O_y+(MgO)_x (x=0.00, 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20) genel formülü ile geleneksel katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve XRD, SEM ve manyetizasyon ölçümleri gerçekleştirilerek karakterize edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, bazı safsızlık fazları oluşmasının yanında örneklerde temel faz yapısı Bi-2223 yüksek sıcaklık fazı olduğu tespit edilmiştir. Ancak nano boyutta MgO katkısının artması ile Bi-2223 faz yoğunluğunun giderek azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, XRD ölçüm sonuçlarından

hesaplanan tane boyutlarında en yüksek değer $x = 0.15$ oranında nano MgO katkılı örnekte elde edilmiştir. SEM mikro yapılarında, tüm örneklerde taneler plaka benzeri ve rastgele yönelimli yapıda tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. Mikro yapı analizlerinde MgO katkısının artması ile taneler arasında boşlukların azaldığı ve taneler arasında bağlantıların geliştiği gözlemlenmiştir. Diğer örneklerle karşılaştırıldığında daha az boşluklu yapı ve taneler arasında daha kuvvetli bağların oluşumu maksimum MgO katkılı örnekte elde edilmiştir. Örneklerde süperiletkenlik geçiş sıcaklığı değerleri AC manyetik duygunluk ölçümleri ile elde edilmiştir. Elde edilen bulgularda, daha düzenli tane yapılarının oluşumu ve taneler arası bağlantıların kuvvetlenmesi ile en yüksek süperiletkenlik geçiş sıcaklığı maksimum oranda MgO katkılı örnekte gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bulgularda MgO katkısının artması ile Bi-2223 fazı diğer faz yapılarına ayrışmasına rağmen tane özelliklerine meydana gelen gelişmeler ile en yüksek geçiş sıcaklığı maksimum MgO katkılı örnekte gözlemlenmiştir [89].

Abou-Aly ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (2011), Bi-2223 seramik süperiletkenler üzerine 40 nm boyutta SnO₂ eklemesinin etkisi araştırılmıştır. Süperiletken örnekler (SnO₂)_xBi_{1.6}Pb_{0.4}Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} ($x=0.0, 0.2, 0.4, 1.0, 1.5$ and 2.0) başlangıç kompozisyonunda katı hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı ve XRD, SEM ve elektriksel ölçümleri ile analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, bazı safsızlık fazlarının oluşumu ile birlikte tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2223 yüksek sıcaklık fazının olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Bi-2223 faz yapısına ait karakteristik pik şiddetlerinde ve faz yoğunluğunda $x = 0.4$ SnO₂ eklenen örneğe kadar artış görülmektedir. SEM ölçümü ile gerçekleştirilen mikro yapı analizlerinde tüm örneklerde plaka benzeri tanelerin oluşumu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, $x = 0.4$ oranına kadar yapı içerisine giren nano boyutta kalay taneler arasına yerleşebilmekle taneler arasındaki bağlantıları geliştirmiştir. Daha yüksek oranlarda ise safsızlık fazlarının oluşumu ve boşluklu yapının artması ile morfolojik yapıda bozulmalar meydana gelmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda ise Bi-2223 faz yapısının gelişmesi ve taneler arası daha kuvvetli bağlantıların oluşmasıyla süperiletkenlik geçiş sıcaklığı $x = 0.4$ SnO₂ eklenen örneğe kadar artış göstermiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda $x = 0.4$ nano boyutta SnO₂ eklenen örnekte en iyi süperiletkenlik sonuçları elde edilmiştir [90].

Bakiah ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2009), farklı oranlarda nano boyutta samaryum eklenen Bi-2223 süperiletkenlerin özellikleri araştırılmıştır. Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} + Sm₂O₃ ($x = 0.0, 0.05, 0.01, 0.02, 0.03$ ve 0.05) başlangıç kompozisyonu ile örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı ve XRD, SEM ve elektriksel ölçümler kullanılarak karakterize edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, örneklerde temel faz yapısının Bi-2223 ve Bi-2212 faz yapıları olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, yapı içerisine nano boyutta Sm₂O₃'ün girmesi ile Bi-2223 fazı diğer safsızlık fazlarına dönüşmüştür. SEM ile yapılan mikro yapı analizlerinde, katkısız örnekte daha düzenli yapıda plaka benzeri tanelerin

oluşumu gözlemlenmiştir. Artan Sm_2O_3 oranı ile örneklerde tane yapılarında bozulmalar meydana gelmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında ise safsızlık fazlarının giderek artması ve mikro yapısal özelliklerde bozulmalar meydana gelmesi ile saf örnek daha yüksek geçiş sıcaklığına sahiptir [91].

Atfabi ve Mozaffari tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2015), (Bi,Pb)-2223 süperiletken sistemi içerisine alüminyum nano partikülleri eklenerek sistemin süperiletkenlik özellikleri araştırılmıştır. Seramik yapıda süperiletken örnekler $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y + \text{Al}_2\text{O}_3$ ($x = 0.0, 0.10, 0.2, 0.3, 0.5$ ve 1) kompozisyonu ile geleneksel katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Örneklerin analiz çalışmalarında XRD, SEM, elektriksel direnç ve kritik akım yoğunluğu ölçümleri kullanıldı. XRD ölçüm sonuçlarından elde edilen bulgularda, Bi-2212 ve bazı safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen, tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2223 yüksek sıcaklık fazı olduğu gözlemlenmiştir. Alüminyum nano partiküllerinin yapı içerisine girmesi ile Bi-2223 faz yoğunluğu ve Bi-2223 faz yapısına ait karakteristik pik şiddetleri giderek artmıştır. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında Bi-2223 faz yapısının en yüksek yoğunluğu $x = 0.2 \text{ Al}_2\text{O}_3$ nano partikülünün eklendiği örnekte elde edilmiştir. SEM mikro yapı analizlerinde elde edilen bulgularda, artan Al_2O_3 nano partikülü oranı ile plaka benzeri tanelerin boyutları giderek arttığı ve taneler arası boşlukların giderek azaldığı gözlemlenmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarından elde edilen geçiş sıcaklıkları değerlerinde, tüm örneklerin onset geçiş sıcaklığı değerleri benzer olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, en yüksek offset sıcaklığı değeri ise taneler arası kuvvetli bağların oluşumuna bağlı olarak $x = 0.2 \text{ Al}_2\text{O}_3$ nano partikülü eklenen örnekte gözlemlenmiştir. I-V ölçümü ile gerçekleştirilerek elde edilen kritik akım yoğunluğu değerlerinde, $x = 1 \text{ Al}_2\text{O}_3$ nano partikülü eklenen örneğe kadar kritik akım yoğunluğu değerleri kuvvetli akı çivileme merkezlerinin oluşumuna bağlı olarak giderek arttırmış, $x = 1$ eklenen örnekte ise azalmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgularda, Al_2O_3 nano partikülü eklenmesi sistemin faz yapısını ve süperiletkenlik özelliklerini geliştirmiştir [92].

Oboudi tarafından yapılan çalışmada (2016), (Bi,Pb)-2223 süperiletkenler üzerine farklı oranlarda nano boyutta itriyum eklemesinin etkisi araştırılmıştır. Seramik yapıda örnekler $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta} + \text{Y}_2\text{O}_3$ ($x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ve 1.0) başlangıç kompozisyonu ile katı hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı ve XRD, SEM, elektriksel ölçüm ve manyetik ölçümler kullanılarak karakterize edildi. XRD ölçüm sonuçlarında bazı safsızlık fazları ve Bi-2212 süperiletken fazı oluşumuna rağmen tüm örneklerde temel faz yapısı (Bi,Pb)-2223 yüksek sıcaklık fazı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen XRD grafiklerinde nano boyutta Y un BSCCO kristal yapısına katıldığına göstergesi olarak Y elementine ait herhangi bir safsızlık fazı oluşmadığı gözlemlenmiştir. SEM ölçümleri ile elde edilen mikro yapılarda, tüm örneklerde BSCCO süperiletkenlerin karakteristik özelliği olarak plaka benzeri tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. Bunun yanında artan nano boyutta Y oranı ile örneklerde taneler giderek

büyümüştür. Diğer örneklerle karşılaştırıldığından daha büyük ölçekte ve daha kuvvetli bağlantılı tanelerin oluşumu $x = 0.1$ oranında nano boyutta Y eklenen örnekte gözlemlenmiştir. DC elektriksel direnç ölçüm sonuçlarında, örneklerde offset geçiş sıcaklığı artan Y ile giderek artmıştır. Hesaplan kritik akım yoğunluğu değerlerinde en yüksek değer kuvvetli taneler arası bağlantılar ve kuvvetli çivileme merkezlerinin oluşumu ile maksimum oranda Y eklenen örnekte gözlemlenmiştir. Manyetizasyon ölçüm sonuçlarında kuvvetli çivileme ve daha düzenli tane yapılarının oluşumu ile en iyi diamanyetik sinyal maksimum oranda Y eklenen örnekte gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda tane yapılarında elde edilen gelişmeler ile nano boyutta Y eklenmesi sistemin temel özellikleri geliştirdiği gözlemlenmiştir [93].

Kong ve Shukor tarafından yapılan çalışmada (2010), Bi-2223 seramikler içerisine nano boyutta NiFe_2O_4 (15 nm) ekleyerek süperiletkenlik özellikleri araştırmışlardır. Malzemeler $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta} + \text{NiFe}_2\text{O}_4$ ($x = 0.0, 0.01, 0.02, 0.04, \text{ ve } 0.05$) kompozisyonunda çökeltme yöntemi kullanılarak hazırlandı ve XRD, SEM ve elektriksel direnç ölçümleri gerçekleştirilerek karakterize edildi. XRD ölçüm sonuçlarında örneklerde ikincil faz yapısı olarak Bi-2212 fazının oluşması ile beraber temel faz yapısı Bi-2223 yüksek sıcaklık süperiletkenlik fazıdır. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, $x = 0.01$ oranında nano boyutta NiFe_2O_4 eklenen örnekte Bi-2223 fazının daha yüksek olduğu görülmektedir. SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen görüntülerde tüm örneklerin plaka benzeri tane yapılarında oluştuğu gözlemlenmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarından elde edilen geçiş sıcaklığı sonuçlarında, en yüksek geçiş sıcaklığı Bi-2223 fazının daha yüksek oranlarda oluşması ile $x = 0.01$ NiFe_2O_4 eklenen örnekte elde edilmiştir. Daha yüksek oranlarda ise, geçiş sıcaklığı değerinin giderek azaldığı gözlemlenmektedir. Örneklerde en yüksek kritik akım yoğunluğu değeri Bi-2223 fazının daha yüksek oranlarda oluşması ve kuvvetli etkili çivileme merkezlerinin oluşumu ile $x = 0.01$ NiFe_2O_4 eklenen örnekte gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bulgularda, $x = 0.01$ NiFe_2O_4 eklenen örnekte en iyi süperiletkenlik özellikler elde edilmiştir [94].

Guo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (1998), Bi-2223 süperiletken yapısına nano boyutta SiC ekleyerek faz oluşumu, mikro yapı ve elektriksel özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Seramik yapıda süperiletken örnekler $\text{Bi}_{1.83}\text{Pb}_{0.34}\text{Sr}_{1.91}\text{Ca}_{2.03}\text{Cu}_{3.05}\text{O}_x + (\text{SiC})_x$ ($x = 0.0, 0.15, 0.50, 1.00 \text{ ve } 2.00$) kompozisyonunda PIT (powder in tube) tekniği ile üretildi ve XRD, SEM, elektriksel direnç ve manyetik ölçümleri yapılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında $x = 0.0, 0.15, 0.50 \text{ ve } 1.00$ nano boyutta SiC eklenen örnekte yüksek oranda Bi-2223 fazı oluşurken, 2.00 oranında nano boyutta SiC eklenen örnekte Bi-2223 fazı diğer süperiletkenlik fazlarına ve safsızlık fazlarına ayrılmıştır. Düşük oranlarda nano boyutta SiC eklenen örneklerde benzer tane bağlantıları ve tane yönelimlerinin göstergesi olarak Bi-2223 fazının şiddeti ve yoğunluğu aynıdır. SEM ölçümü ile elde edilen mikro yapı analizlerinde, $x = 0.15$ SiC eklenen örnekte, daha az boşluklu yapı, büyük ölçekte ve birbirlerine daha kuvvetli

bağlı tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. Daha yüksek oranlarda nano boyutta SiC eklenen örneklerde tane yapılarının kötüleştiği SEM görüntülerinde görülmektedir. Örneklerde manyetik duygunluk ölçümleri ile elde edilen geçiş sıcaklığı değerlerinde diğer örnekler ile karşılaştırıldığında $x = 0.15$ oranında nano boyutta SiC eklenen örnek daha keskin süperiletkenlik geçişi ile birlikte daha yüksek geçiş sıcaklığına sahiptir [95].

Özkurt tarafından yapılan çalışmada (2013), Bi-2212 süperiletkenlerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine nano boyutta WO_3 eklenmenin etkisi araştırılmıştır. Seramik yapıda malzemeler $Bi_{1.8}Sr_2Ca_{1.1}Cu_{2.1}O_y + W_x$ ($x=0.0, 0.05, 0.1$ ve 0.25) başlangıç kompozisyonu ile katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilmiştir ve XRD, SEM, dc elektriksel direnç, manyetizasyon ve mekaniksel ölçümleri ile analiz edilmiştir. XRD ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, bazı safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen, tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı olduğu tespit edilmiştir. Artan tungsten oranı ile Bi-2212 faz yoğunluğu giderek azalarak safsızlık fazları giderek artmıştır. SEM ölçümü ile yapılan yüzey analizlerinde, tüm örneklerde Bi-2212 faz yapısının karakteristik özelliği olan plaka benzeri tane yapıları oluşumu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, yapı içerisinde WO_3 oranının artmasıyla oluşan safsızlık fazları ile tanelerde düzensiz yapıların oluşumu giderek artmıştır. Elektriksel ölçüm sonuçlarında elde edilen süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları değerlerinde, WO_3 oranının artması ile safsızlık fazlarının artması, tanelerin küçülmesi ve taneler arası oluşan bağların zayıflaması ile örneklerde geçiş sıcaklığı değeri giderek azalmıştır. Uygulanan manyetik alana karşı elde edilen manyetizasyon grafiklerinde, WO_3 oranının artması ile taneler arasında safsızlık fazlarının artması, tanelerde oluşan düzensiz yapı ve zayıf çivileme kuvveti ile grafik alanı giderek azalmaktadır. Mikro sertlik ölçümleri ile gerçekleştirilen mekaniksel ölçümlerde, WO_3 eklenmesi ile örneklerde tane yapılarında kötüleşme ile mekaniksel özelliklerde negatif etki elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda, kristal yapı içerisinde WO_3 oranının artması ile süperiletkenlik faz yoğunluğunun azalması, safsızlık oranlarının artması ve tane yapılarının bozulması ile örneklerde fiziksel, manyetik ve mekaniksel özellikleri giderek kötüleşmiştir [96].

Mawasi tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2013), (Bi,Pb)-2223 süperiletkenler üzerine nano boyutta gümüş eklenerek temel özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Seramik yapıda süperiletken örnekler $Bi_{1.8}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_x + (Ag)_x$ ($x = 0.0, 0.2, 0.4, 1.00$ ve 1.5) kompozisyonu ile katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilmiştir ve X ışını analizleri, SEM ve elektriksel ölçümler kullanılarak karakterize edilmiştir. X ışını analizlerinde elde edilen bulgularda tüm örneklerde temel faz yapısının Bi-2223 yüksek sıcaklık fazı olması ile birlikte Bi-2212 fazı ve bazı safsızlık fazlarının da oluşumu gözlemlenmiştir. SEM ölçümü ile gerçekleştirilen mikro yapı analizlerinde, tüm örneklerde Bi-2223 faz yapısına ait olan rastgele yönelimli plaka benzeri tanelerin varlığı tespit edilmiştir. Yapı içerisinde artan nano boyuta gümüş oranı ile tanelerin giderek küçüldüğü görülmektedir. Diğer taraftan, SEM görüntülerinde gümüş nano

parçacıklarının yüzeyde topaklandığını ve böylece XRD ölçüm sonuçları ile uyumlu olarak safsızlık fazlarının oluşumunu desteklediği görülmektedir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında ise nano boyutta gümüş elementlerin süperiletken taneler arasına yerleşmesi ve taneler arası bağlantıların gelişmesi ile diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en yüksek geçiş sıcaklığı maksimum oran nano boyutta gümüş eklenen örnekte gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda nano gümüş elementinin Bi-2223 sistem içerisine eklendiğinde safsızlık fazlarının oluşumunu desteklemesi ve tanelerin küçülmesine rağmen taneler arasında boşluklara yerleşip taneler arası bağları kuvvetlendirmesi ile süperiletken geçiş sıcaklığı ve kritik akım yoğunluğu değerini arttırmıştır [97].

Hafız ve Shukor tarafından yapılan çalışmada (2015), Bi-2223 süperiletkenler üzerine nano boyutta CoFe_2O_4 eklemenin etkisi araştırılmıştır. Malzemeler $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta} + \text{CoFe}_2\text{O}_4$ ($x = 0.0-0.05$) kompozisyonunda çökeltme yöntemi kullanılarak hazırlandı ve XRD, SEM elektriksel direnç ölçümleri ve kritik akım yoğunluğu ölçümleri gerçekleştirilerek karakterize edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, tüm örneklerde bazı safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen temel faz Bi-2223 yüksek sıcaklık fazı olduğu gözlemlenmiştir. Diğer örnekler arasından $x = 0.01$ CoFe_2O_4 eklenen örnekte Bi-2223 yüksek sıcaklık fazları daha yoğun oranda oluşmuştur. SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, tüm örnekler Bi-2223 fazının karakteristik özelliği olan plaka benzeri tanelerden oluştuğu belirlenmiştir. Bunun yanında $x = 0.01$ CoFe_2O_4 eklenen örnekte süperiletken taneler daha büyük ölçekte oluşmuştur. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında $x = 0.01$ CoFe_2O_4 eklenen örnekte daha yüksek oranda Bi-2223 fazlarının oluşumu, daha büyük oranda ve birbirleri ile daha kuvvetli bağlı tanelerin oluşumu ile daha yüksek değerde geçiş sıcaklığı ve kritik akım yoğunluğu değerleri elde edilmiştir [98].

Roumie ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2013), (Bi,Pb)-2223 süperiletkenler üzerine nano boyutta Fe_2O_3 eklenerek temel özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Malzemeler $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ($x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.1$ ve 1.5) başlangıç kompozisyonunda katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve XRD, SEM, elektriksel direnç ve kritik akım yoğunluğu ölçümleri kullanılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında tüm örnekler temel olarak Bi-2212 ve Bi-2223 faz yapısında oluştuğu tespit edilmiştir. Yapı içerisine artan oranlarda Fe_2O_3 eklenmesi ile örneklerde Bi-2223 faz yoğunluğunun giderek azaldığı tespit edilmiştir. Bunun yanında XRD ölçüm sonuçlarından elde edilen bulgularda, katkısız ve saf örneklerde nano boyutta Fe_2O_3 kristal yapı içerisine giremediğinin bir göstergesi olarak kristal yapıda herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. SEM ölçüm sonuçlarında katkısız örnekte daha geniş plaka benzeri taneler oluşumu gözlemlenirken, artan nano boyutta Fe_2O_3 oranı ile taneler giderek küçülmüştür. Yapı içerisinde nano boyutta Fe_2O_3 taneler arasında bariyer olarak davranarak tanelerin gelişimlerini engellemiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarından elde edilen bulgularda, yapı içerisinde artan

nano boyutta Fe_2O_3 oranı ile örneklerde safsızlık oranlarının artması ve plaka benzeri tanelerin küçülmesi ile örneklerde süperiletkenlik geçiş sıcaklığı giderek azalmıştır. Diğer taraftan, kritik akım yoğunluğu ölçümlerinde elde edilen bulgularda $x=0.2$ oranına kadar nano boyutta Fe_2O_3 akı çivileme merkezi oluşturarak kritik akım yoğunluğu değerlerini arttırmıştır. Ancak $x=0.2$ nano boyutta Fe_2O_3 taneler arasında bariyer oluşturarak elektriksel iletimin engellenmesine yol açmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgularda nano boyutta Fe_2O_3 Bi-2223 süperiletkenlik faz yoğunluğunu azaltarak daha düşük geçiş sıcaklığı oluşturmuştur. Ancak nano boyutta Fe_2O_3 akı çivileme merkezi oluşturarak $x=0.2$ oranına kadar kritik akım yoğunluğunu geliştirmiştir [99].

Özkurt tarafından yapılan çalışmada (2019), Bi-2212 süperiletken sistemi içerisine nano boyutta altın eklemenin etkisi araştırılmıştır. Katı hal tepkime yöntemi ile üretilen süperiletken örnekler XRD, SEM, dc elektriksel direnç ve manyetizasyon ölçümleri ile analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında bazı safsızlık fazlarının oluşmasının yanında, temel faz yapısının Bi-2212 süperiletkenlik fazı olduğu tespit edilmiştir. SEM ölçüm sonuçlarında örnek yüzeylerinde, katı hal tepkime yöntemi ile üretilen BSCCO süperiletkenlerin karakteristik davranışı olan rastgele yönelimli plaka benzeri tanelerin oluşumu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, morfolojik yapı analizlerinde, nano altının süperiletken taneler arasında yerleştiği tespit edilmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında, elde edilen öz direnç sıcaklık grafiğinde tüm örnekler benzer sonuçlar sergilemiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında maksimum nano boyutta altın eklenen örnekte boşluklu yapının azalmasıyla daha yüksek değerlerde süperiletkenlik geçiş sıcaklığı elde edilmiştir. Manyetizasyon ölçümlerinde elde edilen M-H grafiklerinde tüm örneklerin diamanyetik davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bulgularda, nano boyutta altın elementinin plaka benzeri taneler arasında yerleşerek süperiletkenlik özellikleri geliştirdiği gözlemlenmiştir [100].

Özçelik tarafından yapılan çalışmada, Bi-2212 süperiletken sistemine farklı oranlarda karbon nano tüp eklenmesinin etkisi araştırılmıştır. LFZ yöntemi ile üretilen süperiletken seramik örnekler XRD, SEM ve manyetizasyon ölçümleri ile analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında bazı safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen temel faz Bi-2212 süperiletkenlik fazıdır. SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda süperiletken tanelerin çapları artan karbon nano tüp oranları ile giderek azalmış ve tanelerdeki düzensizlik artmıştır. Manyetizasyon ölçümleri ile elde edilen geçiş sıcaklığı değerlerinde yapı içerisinde artan karbon nano tüp ile giderek azalmıştır. Manyetizasyon ölçümleri ile elde edilen M-H grafiklerinde safsızlık fazlarının artmasıyla manyetizasyon özellikler giderek kötüleşmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen bulgularda, tanelerin küçülmesi ve safsızlık fazlarının artması ile süperiletken özellikler azalmıştır [101].

Literatürden iyi bildiği gibi, metalik element katkılama çalışmalarının yanında ısı işlem sıcaklığı-süresi, öğütme süresi, peletizasyon basıncı ya da LFZ metodunun uygulanması gibi

malzeme hazırlama yöntemlerinde temel parametrelerde en uygun sonucu elde etmeye yönelik çalışmalarda da dikkat çekici sonuçlar elde edilmiştir [102,103,104].

Safran ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2017), katı hal tepkime yöntemi ile hazırlanan Bi-2223 sisteminde sinter aşamasından sonra örnekler üzerine tekrar presleme (400 MPa) ve her bir örneğe farklı sürede ısı işlem (845°C'de 40, 60 ve 120 saat) uygulanarak sistemin yapısal ve mekaniksel özellikleri araştırıldı. Hazırlanan örnekler XRD, elektriksel direnç, manyetik ve mikro sertlik ölçümleri ile analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında, tüm örneklerde Bi-2212 ve Bi-2223 fazları temel faz yapısı olarak tespit edilmiştir. Örneklerde sinter sonrası presleme ve uygulanan ısı işlemler ile Bi-2212 faz yoğunluğunun giderek azaldığı görülmüştür. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında Bi-2223 faz yapısına sahip karakteristik piklerin şiddetleri ve yoğunluğu en yüksek 40 saat ısı işlem uygulanan örnekte elde edilmiştir. Duygunluk ölçümü ve elektriksel direnç ölçümlerinde elde edilen geçiş sıcaklığı ölçüm sonuçlarında daha iyi Bi-2223 faz yapısının oluştuğu 40 saat ısı işlem uygulanan örnekte elde edilmiştir. Vickers mikro sertlik ölçüm ile gerçekleştirilen mekaniksel ölçüm sonuçlarında, sinter işlemi sonrasında tekrar peletizasyon basıncı uygulanan ve 845°C'de 40 saat ısı işlem uygulanan örnekte daha iyi mekaniksel sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda diğer örnekler ile karşılaştırıldığında sinter işlemi sonrasında 400 MPa peletizasyon basıncı ve 845°C'de 40 saat ısı işlem uygulanan örnekte daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [105].

Garnier ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (1999), farklı üretim teknikleri ile üretilen (katı hal tepkime yöntemi, sol-jel yöntemi ve polimer matriks yöntemi) Bi-2212 seramiklerin mikro yapısal ve süperiletkenlik özellikleri araştırılmıştır. Farklı yöntemler uygulanarak hazırlanan seramik örnekler XRD, SEM, elektriksel direnç ve kritik akım yoğunluğu ölçümleri kullanılarak analiz edildi. XRD ölçüm sonuçlarında tüm örneklerde bazı safsızlık fazlarının oluşması ile birlikte temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı olarak tespit edilmiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, polimer matriks yöntemi ile üretilen örnekte daha iyi kristalleşmenin göstergesi olarak Bi-2212 süperiletken faz yapısına ait piklerin şiddeti daha yüksektir. SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen mikro yapısal özelliklerde tüm örneklerde rastgele yönelimli plaka benzeri tane oluşumları gözlemlenmiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında daha büyük çapta tane oluşumları polimer matriks yöntemi ile üretilen örnekte elde edilmiştir. Diğer taraftan, elektriksel ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda en yüksek geçiş sıcaklığı sol-jel metodu ile üretilen örnekte gözlemlenmiştir. Bu çalışmada XRD ve SEM ölçümlerinde polimer matriks yöntemi ile üretilen örnekte daha iyi kristal yapı ve daha büyük tanelerin elde edilmesine rağmen taneler arasında meydana gelen boşluklu yapı elektriksel özelliklerin kötüleşmesine sebep olmuştur. Sol jel metodu ile üretilen örnekte küçük

ölçekli tanelerin daha kuvvetli bağ oluşturmaları ile daha yüksek geçiş sıcaklığı ve kritik akım yoğunluğu elde edilmiştir [106].

Özkurt tarafından gerçekleştirilen çalışmada (2017), Bi-2212 süperiletkenler katı hal tepkime yöntemi ile üretilirken bilyeli öğütücüyü farklı sürelerde (1, 4 ve 8 saat) uygulayarak temel özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Örnekler $\text{Bi}_{1.8}\text{Sr}_2\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.1}\text{O}_y$ başlangıç kompozisyonu ile üretildi ve XRD, SEM, elektriksel direnç ve manyetizasyon ölçümleri ile karakterize edildi. X ışını ölçüm sonuçlarında tüm örneklerde bazı safsızlık fazlarının oluşumunun yanında temel faz olarak Bi-2212 süperiletkenlik fazı olduğu tespit edilmiştir. Öğütme süresinin kristal yapı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını göstergesi olarak tüm örnekler benzer pik şiddeti ve yoğunluğuna sahiptir. SEM ölçümü ile yapılan mikro yapı analizlerinde XRD ölçüm sonuçları ile uyumlu olarak tüm örnekler benzer yapıda rastgele yönelimli tanelerden oluşumu gözlemlenmiştir. Farklı öğütme süreleri örneklerde taneler arasında farklı tane sınırlarının oluşumuna neden olmuştur. Elektriksel ölçüm sonuçlarında, artan öğütme süresi ile safsızlık fazları ve taneler arasında boşluklu yapının giderek artması ile geçiş sıcaklığı azalmıştır. Manyetizasyon ölçüm sonuçlarında artan öğütme süresi ile alan tane sınırları ve boşluklu yapının giderek artması ile M-H grafiğinde manyetizasyon değeri giderek azalmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgular ile en iyi fiziksel ve manyetik özellik 1 saat öğütme süresi uygulanan örnekte elde edilmiştir [107].

Sotelo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2012), LFZ metodu uygulanarak üretilen Bi-2212 süperiletkenlere farklı sıcaklıkta ekstra ısıl işlem (postannealing) (0, 680 °C ve 900°C) uygulayarak temel özellikler üzerine etkisi araştırıldı. Seramik yapıda örnekler $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2.1}\text{Ca}_{0.9}\text{Cu}_2\text{O}_y$ başlangıç kompozisyonu ile üretilerek XRD, SEM ve elektriksel direnç ölçümleri ile karakterize edildi. XRD ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, postannealing işlemi uygulanmayan örnekte ve postannealing işlemi uygulanan örnekte temel faz yapısı Bi-2212 faz yapısı olarak tespit edilmiştir. 680°C postannealing işlemi uygulanan örnekte Bi-2212 süperiletkenlik fazının ayrışması oldukça düşük olmasıyla birlikte, 900 °C postannealing işlemi uygulanan örnekte Bi-2212 süperiletkenlik fazının ayrışması nispeten daha yüksektir. SEM ölçümü ile gerçekleştirilen mikro yapı analizlerinde, postannealing işlemi uygulanmayan ve 680° C postannealing işlemi uygulanan örnekte temel olarak Bi-2212 faz yapısına ait tane yapılarının oluşumu tespit edilmiştir. 900 °C'de postannealing işlemi uygulanan örnekte Bi-2212 faz yapısının daha yüksek oranda ayrışabildiğinin göstergesi olarak farklı kontrasta safsızlık fazlarının oluşumu gözlemlenmiştir. Elektriksel ölçüm sonuçlarında postannealing sıcaklığı ile Bi-2212 fazının ayrışması ile geçiş sıcaklığı giderek azalmıştır. Kritik akım ölçüm sonuçlarında akı çivileme merkezlerinin kuvvetli bir şekilde oluşması ile en yüksek akım yoğunluğu değeri 680 °C 168 saat postannealing işlemi uygulanan örnekte elde edilmiştir [108].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bizmut tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerin üretilmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler katı hal tepkime yöntemi, eritme döküm yöntemi, çözelti jel yöntemi ve ince film yöntemleri olarak sıralanabilmektedir. BSCCO süperiletken sisteminde temel özellikler üretim aşamasında kullanılan yöntemle son derece duyarlıdır. Malzeme üretiminde çeşitli yolların denenmesindeki amaç süperiletken malzemede fiziksel, manyetik ve mekaniksel özelliklerde gelişim sağlayabilmektir. Bu bölümde seramik süperiletkenlerin üretiminde en yaygın yöntemler arasında olan standart katı hal tepkime yöntemi ve sol-jel yöntemi ayrıntılı olarak verilmektedir. Ayrıca bu çalışmada üretilen süperiletken örneklerin fiziksel, manyetik ve mekaniksel özelliklerini analiz etmek için kullanılan deneysel ölçüm cihazları da anlatılmaktadır.

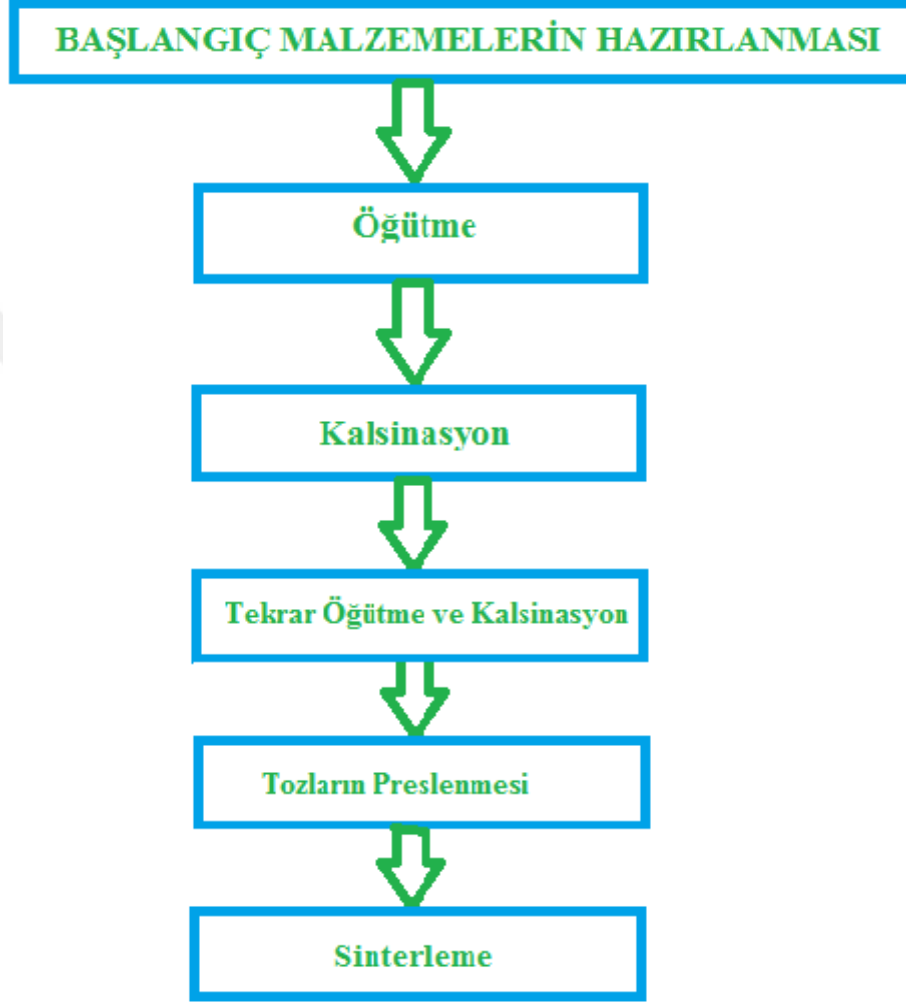
3.1. Katı Hal Tepkime Yöntemi

Öğütme, presleme ve sinterleme gibi mekanik süreçlere dayalı olan katı hal tepkime yöntemi nispeten kolay, basit ve ucuz bir yöntem olması dolayısıyla seramik süperiletken malzemelerin hazırlanmasında birçok çalışma grubu tarafından tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, yüksek saflıkta başlangıç tozların, redoks eşitliğine göre uygun stokiometrik oranla miktarları belirlenir ve homojen bir şekilde karıştırılır. Elde edilen karışımda, başlangıç tozlarının tane çaplarını daha küçük oranlara getirebilmek için agat havanda öğütülmektedir. Öncü tozların karıştırılması ve öğütülmesi işlemi sonrasında, karışım içerisine girebilen yabancı maddelerin ve oksitlerin atılması için ilk ısıl işlem olan kalsinasyon aşamasına geçilir. Kalsinasyon aşamasının uygulanabilmesi için tozlar uygun bir potaya konular ve fırın içerisinde belirli süre ve sıcaklıkta tutulur. Bilindiği gibi, BSCCO sisteminde uygun görülen kalsinasyon işlem sıcaklığı 750-820 °C'dir. Kalsinasyon işlemi sonrasında tozlar havan içerisinde tekrar öğütülür ve tekrar kalsinasyon işlemi uygulanır. Öğütme ve kalsinasyon işlemlerini içeren süreçler birkaç kez daha tekrarlanabilmektedir. Bu aşamalardan sonra toz halde malzemeler katı hal tepkime yönteminde son işlem olan sinterleme işlemine hazır hale gelmektedir.

Sinterleme işleminden önce toz halindeki malzemeye şekil vermek ve atomlar arasındaki bağları kuvvetlendirmek için tablet halinde preslenmektedir. Toz malzemeler tablet haline geldikten sonra oldukça yüksek sıcaklıklara dayanabilen bir potaya konularak fırında sinterlenir. Katı hal tepkime yönteminde süperiletken sistemelerde, homojen yapıda yüksek sıcaklık süperiletken fazlarını elde etmek, karışımı oluşturan atomlar arası bağları kuvvetlendirmek ve süperiletkenliğe geçiş sıcaklığını yükseltmek için yüksek sıcaklıkta ve belirli sürelerde tablet halindeki numunelere sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme sürecinde

örneklerde oluşabilecek gerilmeler ve iç zorlanmalardan kaçılabilmesi için hedeflenen sıcaklığa ulaşılması ve daha sonra soğutulması oldukça yavaş bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Sinterleme aşamasından sonra üretilen numuneler ölçüme hazır hale gelmektedir. Katı hal tepkime yönteminin gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

KATI HAL TEPKİME YÖNTEMİ



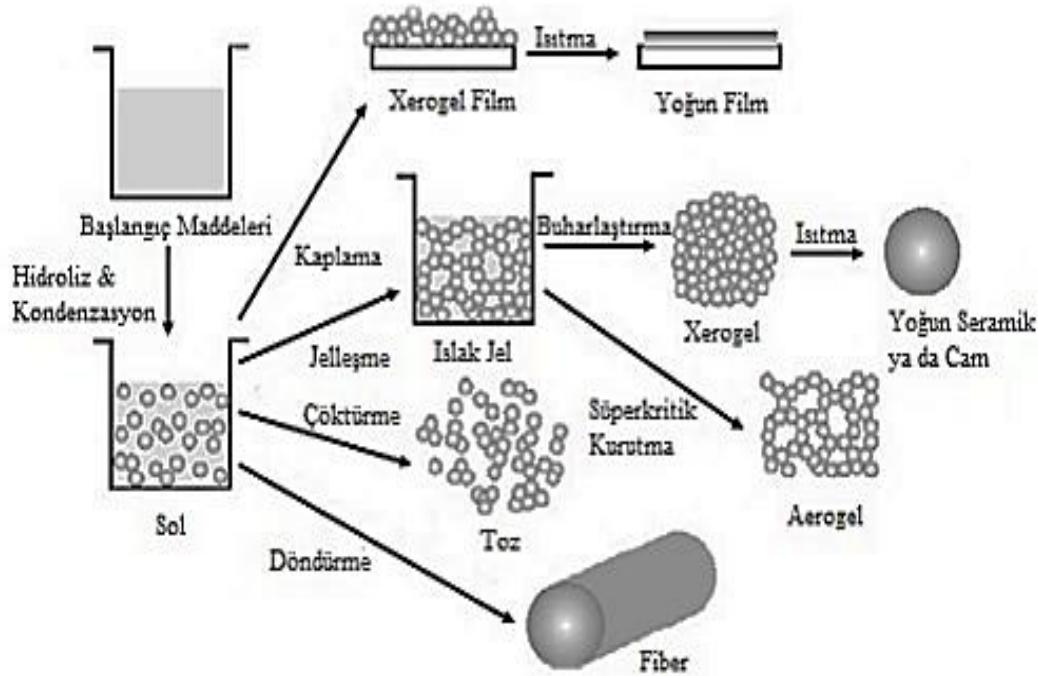
Şekil 3.1. Katı hal tepkime yöntemi

3.2. Sol-Jel Yöntemi

Bu yöntem solüsyon ve jelleşme (solution-gelation) kelimelerinin kısaltılması ile isimlendirilen ve çözeltinin hazırlanması, hazırlanan sistemin jelleşmesi ve çözücünün sistemden ayrıştırılması temeline dayanmaktadır. Bu yöntem kullanılarak oldukça saf ve küresel biçimli tozlar, ince film kaplamalar, seramik fiberler ve cam malzemeler elde

edilebilmektedir. Genel olarak bu yöntemde sıvı fazdan (sol), katı faza (Jel) geçiş yapılmaktadır. Sol için başlangıç malzemeleri inorganik metal tuzları ve ya metal inorganik bileşenlerdir.

Sol-jel sürecinde başlangıç malzemeleri çözücü içerisinde hidroliz ve polimer tepkimeleri ile çözdürülerek, yaklaşık olarak 500 nm tanecik boyutuna sahip homojen ve heterojen yapı arasında tanımlanan kolloidal yapı "sol"e dönüşür. Bilindiği gibi, molekül içerisinde Van Der Waals ve elektriksel itme kuvvetlerinin etkisi yer çekimi kuvvetinin etkisine göre daha fazla olması sebebiyle çözelti içerisinde tanecikler dibe çökmez. Bu durumda çözeltide moleküller bileşerek büyük ölçekli tanecikler meydana gelir ve jel fazına geçerler. Jel fazı katı gibi görünmesine rağmen ıslak bir çözeltidir. Bu durumda jel durumundaki malzemeye ısı işlem uygulanarak organik çözücüler ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Şekil 3.2'de sol-jel yöntemi gösterilmektedir.



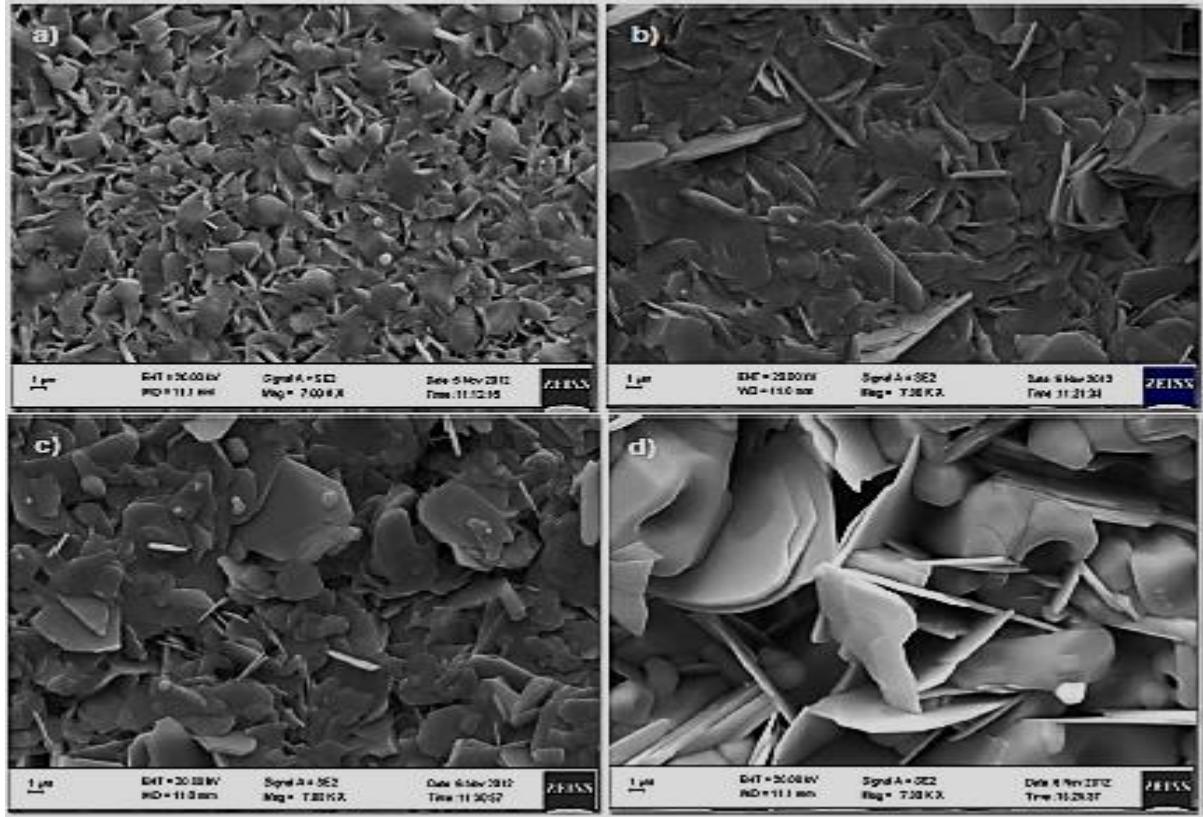
Şekil 3.2. Sol-jel yöntemi [109]

3.3. Süperiletken Örneklerin Hazırlanması

Literatürden bilindiği gibi, süperiletken sistem içerisine nano boyutlu parçacıklar ile katkılama yapmanın avantajı, bu boyuttaki parçacıkların, tanecikler (grain) arası boşluklara yerleşmesi ve böylece BSCCO seramiklerin elektriksel iletimi ile mekaniksel özelliklerin geliştirebilme olasılığıdır. Buna ek olarak, nano boyutlu parçacıklar kristal yapı içerisinde bir akı çivileme merkezi (pinning center) olarak davrandıklarında J_c değerlerinde önemli artışlar elde etmek mümkündür. Diğer taraftan, nano mertebede SnO_2 partikülleri optik geçirgenlik,

mekaniksel sertlik ve düşük öz direnç gibi özelliklere sahip olmaları, onları önemli materyaller haline getirmektedir [110]. Ayrıca, nano boyutta SnO₂'de oksijen eksikliğinin bulunması bu malzemelerin bir başka özelliğidir [89,110]. Böylece, BSCCO kristal yapı içerisine nano boyutta SnO₂ girdiği zaman, Cu-O düzlemlerindeki hol miktarını önemli şekilde etkileyebilir. Bunun yanında literatürden görüldüğü gibi, nano boyutta kalay uygun oranlarda süperiletken sistem içerisine katkılандığı zaman taneler arasındaki bağlantıyı geliştirerek kritik akım yoğunluğu değerinde önemli gelişmeler sağlamaktadır [87,88,90]. Nano boyutta kalay elementinin bu özellikleri göz önüne alındığında, bu çalışmada Bi-2212 süperiletken sisteminde stronsiyum sitelerine nano boyutta SnO₂ katkılanması yapılmıştır.

İyi bilindiği gibi, en dış kabuğunda bir elektrona sahip olan alkali metaller oldukça reaktif bir yapıya sahiptir ve daha kararlı hale gelebilmek için valans elektronlarını kolayca kaybetmeyi tercih edebilir. Bu özelliklerinden dolayı alkali elementler BSCCO sistemi içerisine katkılандığı zaman, sistemin hol konsantrasyonunu değiştirerek temel süperiletkenlik özellikleri geliştirebilir [26]. Özkurt tarafından yapılan çalışmada Bi-2212 süperiletken sisteminde bakır sitelere farklı oranlarda sodyum elementi katkılanmıştır [60]. Elde edilen bulgularda, Şekil 3.3'de görüldüğü gibi, Bi₂Sr₂Ca₁Cu_{1.75}Na_{0.25}O_y yapısı ile büyük ölçekte taneler elde edilerek temel süperiletkenlik özelliklerde önemli gelişimler sağlanmıştır. Böylece bu tez kapsamında Bi-2212 yapısında Cu sitelerine yapılan x=0.25 Na katkısı yanında Sr sitelerine nano boyutta SnO₂ ile birlikte ikili katkılama (co-doping) gerçekleştirilecektir.



Şekil 3.3. a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_y$ b) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.95}\text{Na}_{0.05}\text{O}_y$ c) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.90}\text{Na}_{0.10}\text{O}_y$ d) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ farklı katkılama oranlarıyla elde edilen süperiletken örneklerden alınan SEM görüntüleri [60]

Bilindiği gibi, katı hal tepkime yönteminde öncü tozların homojen bir şekilde karışması için agat havan ya da bilyeli öğütücü gibi öğütme süreçlerini içeren çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu öğütme yöntemleri kullanıldığı zaman tozların öğütme sürecinde potaya yapışması nedeniyle malzemede kayıplar meydana gelerek kristal yapıda bozulmalara sebep olabilir [81]. Malzemede oluşan bu tarz kayıpları engellemek için bu çalışmada nitrik asit ve saf su kombinasyonu kullanılmıştır.

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}(\text{SnO}_2)_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ kompozisyonunda ($x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20$) farklı katkılama oranları ile seramik örnekler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanabilmesi için %99 saflıkta Bi_2O_3 (Panreac, 98+ %), SrCO_3 (Panreac, 98+%), CaCO_3 (Panreac, 98.5+%), Na_2CO_3 (Panreac, 98.5+%), CuO (Panreac, 97+ %) ve SnO_2 (Abo Swiss, 98.5+%) öncü tozlar 0.001 hassasiyetinde dijital terazi ile uygun oranlarda tartıldı. Öncü tozların homojen karışımını elde edebilmek için nitrik asit ve saf su çözeltisi içerisinde manyetik karıştırıcıda 90 °C'de karıştırıldı. 24 saat sonrasında çözeltinin rengi açık maviye dönüşerek homojen karışım elde edildi. Çözeltide homojen karışım elde edildikten sonra, çözelti içerisinde tozların ayrıştırılma işlemine geçildi ve bu aşamada çözelti manyetik karıştırıcıda 275 °C'de buharlaştırıldı. Çözeltide sıvının tamamen ayrışmasından sonra siyah renkte tozlar

elde edildi. Sistem içerisinde nitrik asitin tamamen uzaklaştırılabilmesi için tozlar kül fırında 300 °C'de kurutuldu. Kurutma aşamasından sonra, tozlarda oluşabilecek topaklanmayı engellemek için agat havanda elde öğütüldü. Tozlar iyice öğütüldükten sonra 15 ton basınç uygulayabilen Yurtmak marka hidrolik pres cihazı ile 375 MPa basınç altında 2.9 cm yarıçapında tablet halinde oda sıcaklığında preslendi. Ayrıca, örneklerin preslenmesinde sertleştirilmiş 48HRC çelik kalıp kullanıldı. Presleme aşamasından sonra tablet halindeki örneklerde karışım içerisine giren yabancı maddelerin ayrıştırılması için ilk ısıl işlem olan kalsinasyon işlemine geçildi. Örnekler 1200 °C sıcaklığa ulaşabilen Mikrotest marka programlanabilir yüksek sıcaklık fırınında, oda sıcaklığından 5 °C /dak. hızla 700 °C'ye kadar ısıtıldı ve bu sıcaklıkta 12 saat bekletildi. Uygulanan ilk ısıl işlem aşamasından sonra, tablet halindeki örnekler tekrar öğütüldü ve örnekler toz haline geldikten sonra katkı malzemesi olan nano boyutta SnO₂ tozları uygun oranlarda örneklerle katıldı. Bu aşamadan sonra örnekler x = 0.0, 0.05, 0.1 ve 0.2 katkılama oranı ile sırasıyla A Örneği, B Örneği, C Örneği ve D Örneği olarak isimlendirildi.

Her bir örnek içerisine uygun oranlarda nano boyutta kalay tozları katıldıktan sonra, kalay elementinin yapı içerisinde homojen karışması için toz numuneler tekrar agat havanda elde karıştırıldı. Tozlar homojen bir şekilde öğütüldükten sonra tablet haline getirmek için 375 MPa basınç altında 2.9 cm yarıçapında oda sıcaklığında tekrar preslendi. Presleme aşamasından sonra tablet halinde örnekler 750°C ısıl işlem uygulayabilmek için fırına konuldu. 5 °C /dak. hızla oda sıcaklığından 750°C sıcaklığa ulaşıldı ve 12 saat boyunca bu sıcaklıkta kalsine edildi. 750°C'de fırınlama aşamasından sonra örnekler tekrar öğütüldü ve 375 MPa basınç altında tekrar preslendi. Bu işlemlerden sonra her bir örnekte Bi-2212 yüksek sıcaklık fazlarının oluşması için 820°C ısıl işlem uygulanmasına geçildi. 5 °C /dak. hızla oda sıcaklığından 820 °C sıcaklığa ulaşıldı ve 12 saat boyunca bu sıcaklıkta tekrar kalsine edildi. Sinterleme aşamasına kadar öğütme, kalsinasyon ve preslemeye dayalı bu süreçler iki kez daha tekrarlandı.

3.4. Örnekler Üzerine Sinterleme İşleminin Uygulanması

Örneklerde süperiletken fazları üretmek, karışımı oluşturan atomlar arasındaki bağları kuvvetlendirmek, polikristalleri oluşturmak ve yapı içerisindeki kristal hataları en aza indirebilmek için hazırlanan tabletlerin sinterlenmesi gerekir. Hazırlanan tabletlere sinter işlemi uygulanabilmesi için fırına konuldu ve 5 °C/dak. hızla 850 °C'ye kadar ısıtıldı. 120 saat bu sıcaklıkta bekletildi ve daha sonra 5 °C /dak. hızla oda sıcaklığında soğutuldu. Sinter işlemi uygulanan örneklerde tabletlerin siyah renkli oldukları gözlemlendi. Bu aşamanın tamamlanmasından sonra örnekler ölçüm için hazır hale getirilmiş oldu.

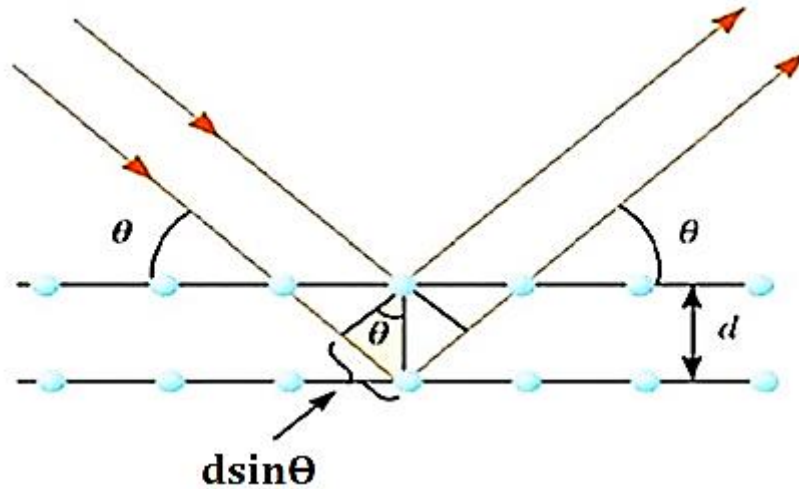
3.5. Deneysel Ölçümler

Üretilen seramik süperiletkenlerde sodyum ve nano boyutta SnO₂ ikili katkısının fiziksel, manyetik ve mekaniksel özellikleri üzerine etkisini araştırabilmek için X-ray kırınım ölçümü (XRD), taramalı elektron mikroskobu ölçümü (SEM), elektriksel direnç, manyetizasyon, mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümde kullanılan analiz yöntemleri detaylı olarak devam eden bölümlerde açıklanacaktır.

3.6. X Işını Kırınım (XRD) Yöntemi

Bilindiği gibi kristal yapılar kendine özgü atom dizilimlerine sahiptir ve X ışınları kristal yapı içerisinde belirli bir düzene göre kırınıma uğramaktadır. Bragg yasası ile açıklanan bu olayda kırınıma uğrayan, yani atom düzleminde yansıyan X-ışınlarının aynı fazda olması durumunda kırınım desenleri oluşmaktadır. Bu kırınım desenleri ile yapısı bilinmeyen bir kristalin yapısı, örgü parametreleri ve faz oluşumları tespit edilebilmektedir.

Bragg yasası $n\lambda = 2d\sin\theta$ formülü ile ifade edilmektedir ve λ kullanılan X ışığının dalga boyudur. Cihazdan gönderilen X-ışını örnek üzerinden yansıtılır daha sonra dedektör yardımı ile algılanan ışınlar cihaz içerisinde yazılım ile yansıma şiddetine karşın 2θ değerlerine karşılık XRD kırınım desenleri otomatik olarak çizilmektedir. Şekil 3.4'de Bragg yasası gösterilmektedir.

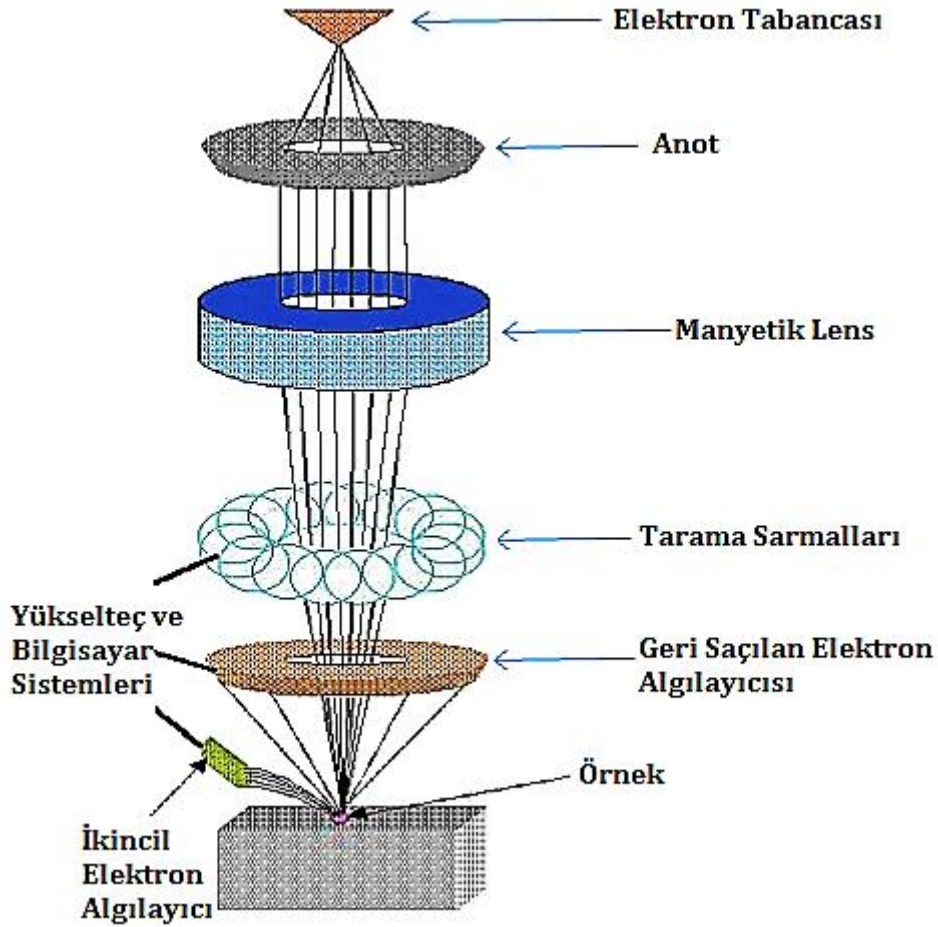


Şekil 3.4. Bragg Yasası [111]

Hazırlanan süperiletken örneklerde kristal yapı, örgü parametreleri ve faz oluşumlarının tespiti için bilgisayar kontrollü $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5045 \text{ \AA}$) ışımaya sahip X-ray toz kırınım cihazı kullanılmıştır. Kırınım ölçümleri $3^\circ/\text{dak.}$ tarama hızında ve $2\theta = 3-60^\circ$ aralığında gerçekleştirildi.

3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Ölçümü

Bilindiği gibi bizmut tabanlı yüksek sıcaklık süperiletkenler taneciksel (granüler) yapıya sahiptir ve sistemin temel süperiletkenlik özellikleri tanelerin davranışına son derece duyarlıdır. Sonuç olarak malzemede tane yapılarının analizi oldukça gereklidir. Süperiletken malzemelerde tane oluşumları optik mikroskoplarda tespit edilemeyecek ölçekte meydana gelmektedir. Bu nedenle süperiletken örneklerde mikro yapı analizi yapabilmek için optik mikroskoplardan daha düşük ölçeklere inebilen taramalı elektron mikroskobu kullanılmaktadır. Şekil 3.5'de elektron mikroskobunun genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Taramalı elektron mikroskobu çalışma prensibi [112]

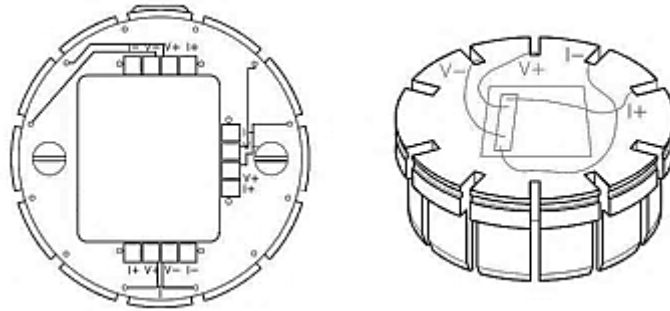
Taramalı elektron mikroskopunda görüntü oluşumu için geleneksel ışın mikroskopunda kullanılan ışık yerine elektron demeti kullanılır. Demet halinde elektronlar Şekil 3.5'de de gösterilen elektron tabancası adı verilen kısımda oluşturulur ve anot tabakası vasıtası ile hızlandırılır. Hızlandırılan elektron demeti manyetik lenslerde (saptırma bobinleri) yoğunlaştırılarak incelenecek numune üzerine odaklanır [113, 114]. Malzeme yüzeyine ile yüzey üzerine gönderilen elektron demetinin etkileşiminden elde edilen ışımalar veya geri yansıyan elektronlar algılayıcılar tarafından sayılarak görüntü elde edilir [115].

Bu tez çalışması kapsamında üretilen süperiletken örneklerde taramalı elektron mikroskobu ölçümü SEISS/SUPRA 55 marka ve modelde SEM cihazında gerçekleştirilmiştir. Süperiletken numuneler SEM'de görüntü alınabilmesi için uygun boyutlarda kesildi ve daha sonra yüzeyleri parlatılarak ölçüm gerçekleştirildi.

3.8. Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümleri

Süperiletken malzemelerin elektriksel analizleri, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak 5 - 300 K sıcaklık aralığında öz direncin (R-T) belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Genel olarak malzemede 5 - 300 K sıcaklık aralığında ölçüm alınarak öz direnç sıcaklık grafiği elde edilir. Bu grafikler vasıtasıyla süperiletken numunelerde süperiletkenlik geçiş sıcaklığı (T_c) belirlenir.

Özdirenç-sıcaklık grafiklerinin elde edilmesinde kullanılan en yaygın yöntem dört nokta kontak yöntemidir. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bu yöntemde, dış tellerden akım uygulanır ve içte bulunan kontaklar voltmetreye bağlıdır [116].



Şekil 3.6. PPMS cihazında kullanılan numune tutucu şekli [116]

Bu çalışma kapsamında üretilen süperiletken örneklerimizde genel elektriksel davranışı gözlemlenmesi ve süperiletkenlik geçiş sıcaklıklarının (offset ve onset) belirlenmesinde yaklaşık olarak 2 K sıcaklıklara ulaşabilen kapalı döngü Helyum sisteminden oluşan Cryogenic Limited PPMS cihazı kullanıldı.

3.9. Manyetizasyon (M-H) Ölçümleri

Daha önce de belirtildiği gibi süperiletken malzemeler elektriği kayıpsız iletebilmelerinin yanında iyi bir diyamanyetik malzemelerdir. Süperiletken malzemelerin teknolojik alanlarda elektriksel iletim uygulamaları ile birlikte bu malzemelerin diamanyetik özelliklerinde kullanılması da önemli uygulamalardır. Dolayısıyla malzeme geliştirme çalışmalarında manyetik analizler de oldukça gerekli ve önemlidir. Manyetik özelliklerin belirlenmesinde numuneler üzerine manyetik alan uygulanarak manyetizasyon histerezis eğrisi olarak isimlendirilen manyetizasyon grafikleri elde edilir [117]. Histerezis eğrisinde elde edilen kapalı alan ise malzemelerde süperiletkenliğin yok edilebilmesi için gereken enerjidir. Böylece manyetik ölçümler ile elde edilen M-H grafiklerinde analiz edilen süperiletken malzemelerin hem de diyamanyetik davranışı hem de manyetizasyon özellikleri tespit edilmiş olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında hazırlanan süperiletken örneklerin M-H ölçümleri Şekil 3.7'de gösterilen Cryogenic Limited PPMS cihazı ile elde edildi. Ölçümler iki farklı sıcaklıklarda (10-25 K) ve 0-2 Tesla manyetik alan altında gerçekleştirildi.



Şekil 3.7. Cryogenic Limited PPMS cihazı [13]

3.10. Mikro Sertlik Ölçümü

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerin seramik doğasından dolayı kırılğan yapısı teknolojik uygulamalarda kullanılabilmesi için çözülmesi gereken önemli bir problemdir. Kristal yapıda meydana gelen dislokasyonlar, taneler arasında boşlukların oluşumu ve mikro çatlaklar yüksek sıcaklık süperiletkenlerin mekaniksel dayanımını ve elastik özelliklerini etkileyen etmenlerdir. Bu nedenle süperiletkenlerin tel ve kablo olarak teknolojik uygulamalarda kullanılması için mekaniksel özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda süperiletken malzemelerin dayanımı ve deformasyonu hakkında bilgi veren mekaniksel ölçümler son derece önemlidir. Malzeme biliminde mekaniksel analizlerde mikro sertlik ölçüm yöntemleri yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Vickers, Knopp, Rockwell ve Brinell gibi çeşitli yöntemler mikro sertlik ölçümlerinde kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında Vickers mikro sertlik yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.8. HV-100 Vickers Mikrohardness marka test cihazı

Vickers mikro sertlik ölçüm yönteminde, piramit geometriye sahip küçük bir elmas batıcı uç örnek yüzeyine uygulanarak iz oluşturulur [105]. Oluşan bu izin köşegen uzunlukları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanarak Vickers sertlik değerleri hesaplanır [118].

$$Hv = 1.8544 \frac{P}{d^2} \text{ (GPa)} \quad (3.1)$$

Burada; P uygulanan yük olup, d izin köşegen uzunluğudur.

HV-100 Vickers Mikrohardness marka test cihazı örneklerimizin mikro sertlik ölçümlerini gerçekleştirmek için kullanıldı. Ölçümler gerçekleştirilirken 0.245, 0.49, 0.98, 1.96, 2.94, 4.98, 9.81 N gibi farklı kuvvetler 20 saniye boyunca örnekler üzerine uygulanarak mikro sertlik değerleri hesaplandı.

3.11. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Genel olarak yüzey pürüzlülüğü, malzemeyi oluşturan bileşenler ile oluşan ve malzemenin üretim işleminden kaynaklanan yüzey dokusunda meydana gelen ince düzensizlikler ifade edilebilmektedir [119]. Mekaniksel özellikler malzemelerin kristal yapıları ve tane özellikleri kadar malzeme yüzeyinde meydana gelen bu düzensizliklere de bağlıdır. Malzeme analiz edilirken, mekaniksel karakterizasyonda yüzey pürüzlülüğü ölçümünde araştırılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri uygulama şekline göre (Tahribatlı, Tahribatsız, Temaslı, Temassız) ve ölçme hassasiyetine göre (Kaba, Orta, Hassas) iki temel başlık altında gerçekleştirilmektedir [120]. Bu çalışma kapsamında kullanılan yüzey pürüzlülüğü cihazı Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Şekil 3.9'da gösterilen cihaz, malzeme yüzeyini elmas uçlu bir iğnenin düşey hareketleri ile tarar ve elektrik sinyallerine dönüştürür. Elde edilen elektriksel sinyali analiz ederek μm mertebesinde ölçüm sonucu vermektedir [121].



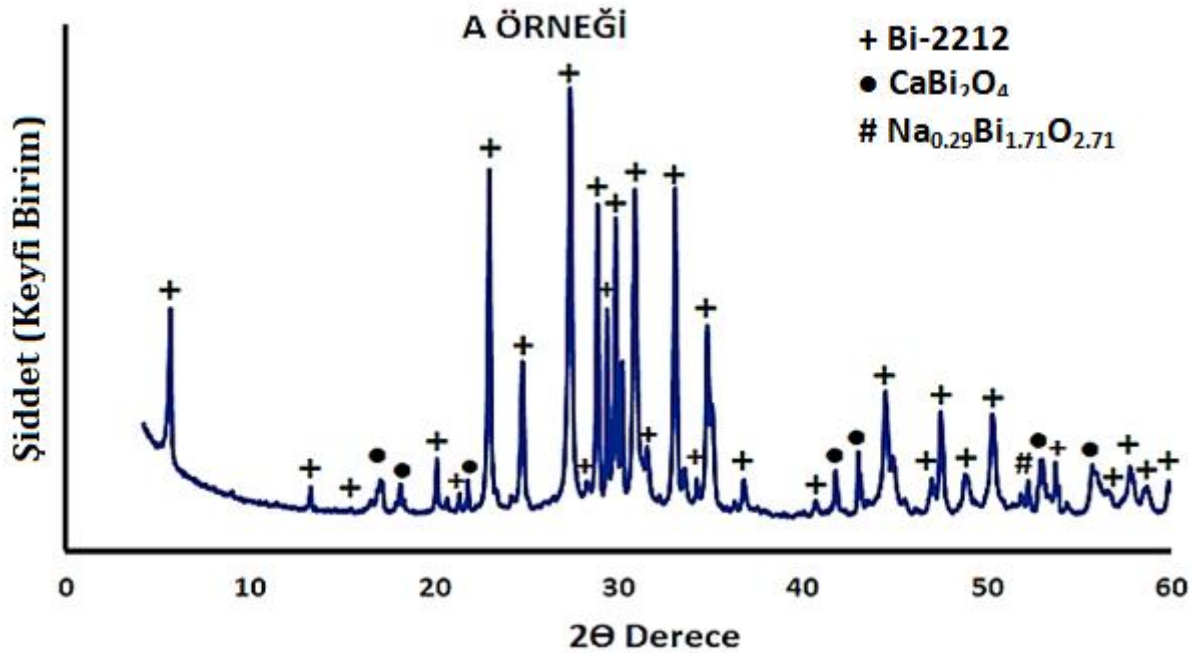
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. X-Işını Kırınım Ölçümü Bulguları

Bu tez kapsamında üretilen örneklerin kristal yapısı, örgü parametreleri ve faz oluşumları üzerine sodyum ve nano boyutta kalay katkısının etkisini belirlemek için X- ray kırınım ölçümleri gerçekleştirildi. Bi-Sr-Ca-Cu-O elementlerini içeren Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken sistemi, katı hal tepkime yöntemi ile hazırlandığı zaman uygulanan ısı işlem aşamasında sıcaklık ve süreye bağlı olarak Bi-2212 fazının yerine istenmeyen safsızlık fazları oluşabilmektedir. X ışını ölçüm sonuçları ile bu tür analizleri yapmak oldukça önemlidir.

4.1.1. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait X-Işını Kırınım Ölçümleri

Kristal yapı içerisinde nano boyutta kalay ihtiva etmeyen $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (A Örneği) örneğine ait X-Işını ölçümü deseni Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. A Örneğine ait X-Işını Kırınım (XRD)Grafığı

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, + sembolü Bi-2212 yüksek sıcaklık fazını simgelemektedir. Bunun yanında, ● ile Bi_2CaO_4 , # ise $\text{Na}_{0.29}\text{Bi}_{1.71}\text{O}_{2.71}$ süperiletken olmayan safsızlık fazları gösterilmektedir. Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken sistemi yüksek oranda kimyasal aktiviteye sahip olmasından dolayı malzeme hazırlama şartlarına oldukça duyarlıdır [122].

Kristal yapı içerisinde bizmut, kalsiyum ve stronsiyum elementlerinin iyonik yarıçaplarının birbirlerine çok yakın olması sebebiyle bu elementler sistem içerisinde farklı

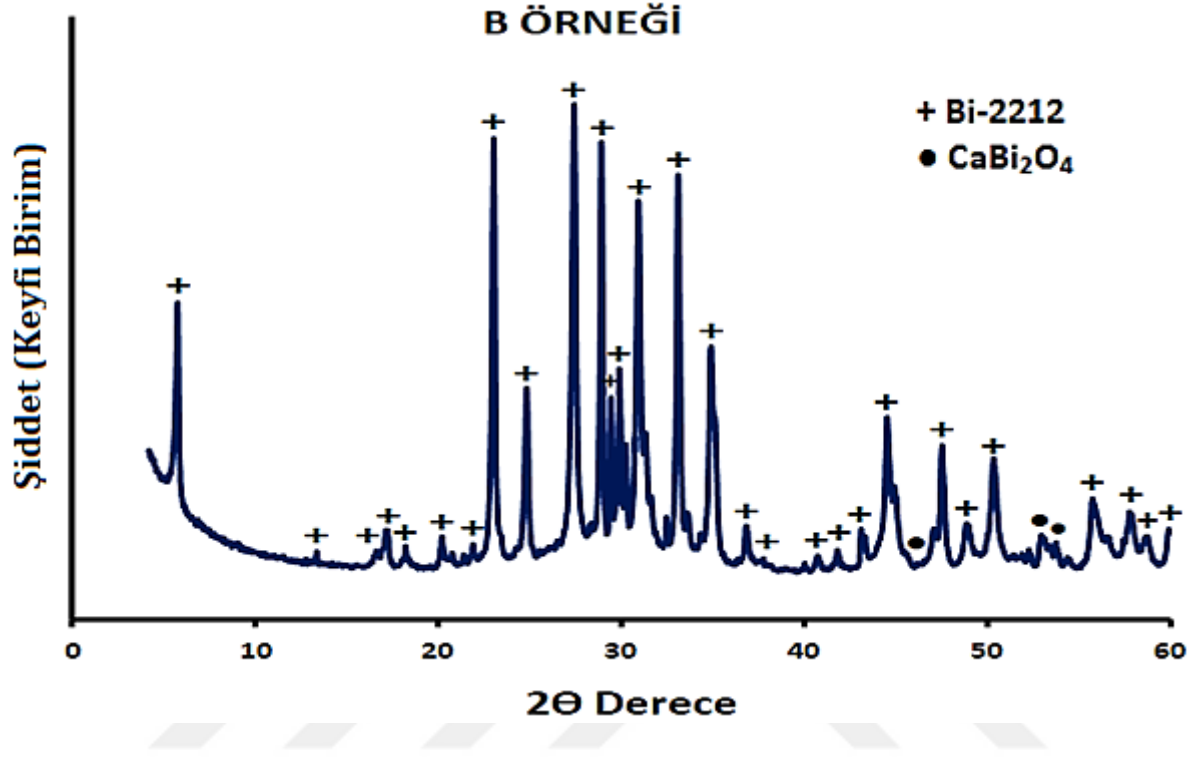
türde safsızlık fazı oluşturabilmektedir [123, 124]. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ kompozisyonuna sahip A örneğinde, literatürde alkali element katkılı Bi-2212 süperiletkenlerde benzer safsızlık fazı elde edilmiştir [60, 80, 81]. Diğer taraftan, farklı tipte safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen, A örneğinde temel faz Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazıdır.

İyi bilindiği gibi, kristal yapının konumu aynı doğru parçası üzerinde olmamak koşulu ile üç düzlem üzerinde belirlenir. Bu düzlemler Angstrom (Å) biriminde olmak üzere a, b ve c örgü parametreleri ile tanımlanmaktadır. Kristal yapıya ait örgü parametreleri X-ışını kırınım analizinden tespit edilen fazlara ait hkl miller indislerinin belirlenerek hesaplanabilmesinin yanında, çeşitli yazılımlar ile de hesaplanabilmektedir. Gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda tüm örneklere ait örgü parametreleri ICDD version 6.0 Database, 1.6.0.1 PDXL software version ile otomatik olarak hesaplanmıştır. A örneğinin örgü parametreleri $a = b = 3,8274 \text{ Å}$ ve $c = 30,9014 \text{ Å}$ olarak elde edilmiştir. Tetragonal kristal yapıya sahip A örneğinde örgü parametre değerleri, literatürde Bi-2212 kristal yapısına ait değerlere uygun olarak elde edilmiştir [125,126].

Şekil 4.1'de XRD grafiğinde bakıldığında, Bi-2212 fazının karakteristik pikleri $2\theta \approx 5.7^\circ; 24.8^\circ; 29.1^\circ; 31.24^\circ$ ve 45.04° gibi noktalarda gözlemlenmektedir. Literatürden iyi bilinmektedir ki, Bi-2212 süperiletken fazına ait karakteristik piklerin şiddetlerinin keskin olması ya da pik şiddetlerinde artış meydana gelmesi, iyi bir kristalleşmenin oluşumuna işaret etmektedir [127, 128]. Yıldırım ve arkadaşları Bi-2223 süperiletken sistemine mangan ekleyerek, sistemin temel özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen bulgularda, artan mangan oranı ile örneklerin taneleri giderek küçülmesinin yanında Bi-2223 faz yapısına ait karakteristik pik şiddetlerinde de önemli ölçüde azalış tespit edilmiştir. Pik şiddetlerinde azalmalar meydana gelmesi ve taneciksel özelliklerin bozulması ile elektriksel özellikler olumsuz yönde etkilenmiştir [129]. Diğer taraftan, Şekil 4.1'de A örneğine ait X ışını kırınım grafiğine bakıldığında, Bi-2212 yüksek sıcaklık fazına ait karakteristik piklerin oldukça keskin olduğu görülmektedir. A örneğinde Bi-2212 faz şiddetlerinin keskin olması, iyi bir kristalleşmenin meydana gelebileceğine işaret edebilmektedir.

4.1.2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait X-Işını Kırınım Ölçümleri

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (B Örneği) örneğine ait X-Işını ölçümü deseni Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. B Örneğine ait X-Işını Kırınım (XRD) Grafiği

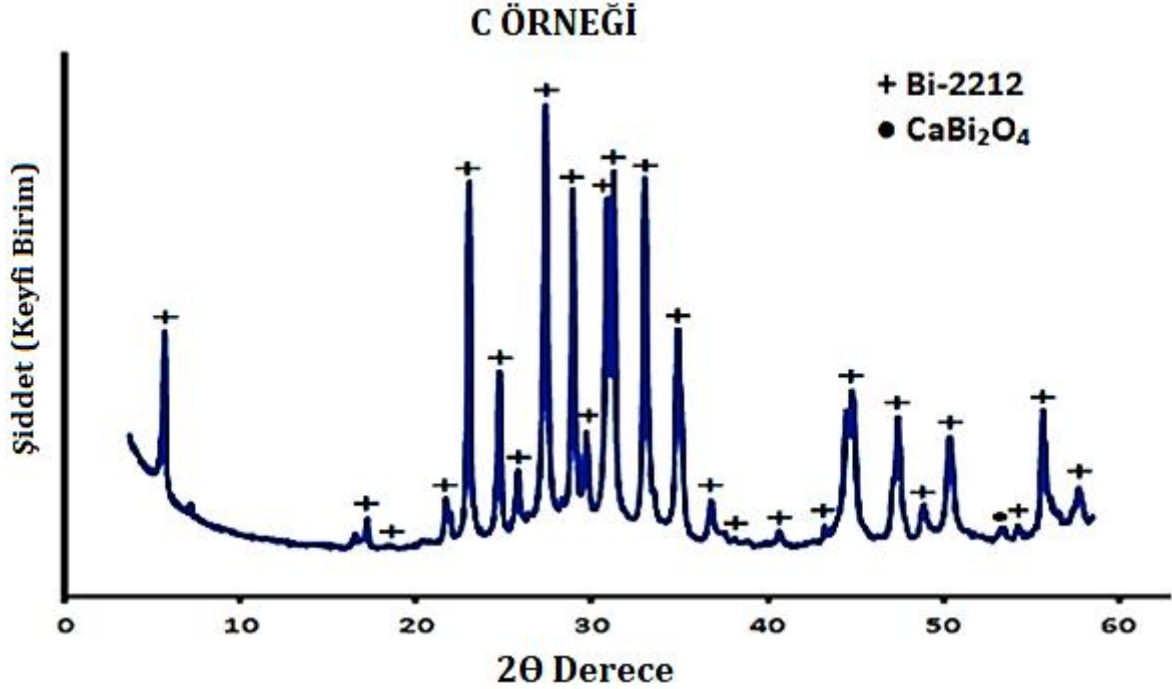
Şekil 4.2'de B örneğine ait X-ışını kırınım deseninden görüldüğü gibi, + sembolü Bi-2212 yüksek sıcaklık fazını simgelerken, ● ile Bi_2CaO_4 safsızlık fazı gösterilmektedir. Ayrıca, sodyum ve kalay elementine ait herhangi bir safsızlık fazının gözlemlenmemesi bu elemetlerin Bi-2212 kristal yapısı içerisine girebildiğini işaret etmektedir. B örneğinde Bi_2CaO_4 safsızlık fazının oluşmasına rağmen Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı temel fazdır. B örneğinde Bi-2212 fazının karakteristik pikleri $2\theta \approx 5.7^\circ$; 24.8° ; 29.1° ; 31.24° ve 45.04° gibi noktalarda açıkça görülmektedir. Ayrıca, X ışını ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, A örneğinde $2\theta \approx 17.905^\circ$; 18.187° ; 41.78° ve 43.02° de gözlemlenen Bi_2CaO_4 safsızlık fazı ve $2\theta \approx 52.225^\circ$ de gözlemlenen $\text{Na}_{0.29}\text{Bi}_{1.71}\text{O}_{2.71}$ safsızlık fazları, B örneğinde Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletkenlik fazına dönüşmüştür. Ayrıca, $2\theta \approx 52.76^\circ$ ve 53.73° gibi noktalarda Bi_2CaO_4 safsızlık fazının pik şiddetlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bilindiği gibi, Bi tabanlı süperiletken örneklerde safsızlık fazları süperiletken taneler arasına yerleşerek taneler arası bağlantıları zayıflatabilmektedir. Bu durumda temel süperiletkenlik özellikler kötüleşebilmektedir. Diğer taraftan, A örneğinde oluşan safsızlık fazlarının B örneğinde

süperiletkenlik fazına dönüşmesi ve bazı bölgelerdeki safsızlık fazlarının pik şiddetlerinde azalmalar meydana gelmesi, $x = 0.05$ gibi düşük oranda nano boyutta kalay katkısının Bi-2212 faz yapısını geliştirdiğini işaret etmektedir. Elde edilen bu gelişmeler BSCCO kristal yapısında stronsiyum sitelere düşük oranda nano boyutta kalay katkısı Bi-2212 faz yapısını geliştirdiğini göstermektedir.

B örneğinin örgü parametreleri $a = b = 3,8260 \text{ \AA}$ ve $c = 30,8909 \text{ \AA}$ olarak elde edilmiştir. BSCCO sisteminde a örgü parametre değeri Cu-O düzlemlerdeki hol sayılarına bağlıyken, c örgü parametresi Bi-O tabaklar arasındaki bağ uzunluğu ile ilişkilidir [130]. İyi bilindiği gibi, Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken sistemlerde oksijen eksikliği bulunmamasına rağmen, Bi-O düzlemlerde oksijen eksikliği bulunmaktadır. Elektrostatik açıdan daha kararlı bir yapı elde etmek için Bi-O düzlemleri genellikle oksijeni yakalamayı tercih edebilir, bu da Bi-O düzlemlerinde pozitif yüklerin artması nedeniyle c ekseni uzunluğunda değişime neden olabilir [131, 132]. c örgü parametresinde değişime neden olan bir başka etken ise, BSCCO sistemi içerisine farklı iyonik yarıçapa sahip elementler katkılamaaktır [133, 134]. Yıldırım ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, nano boyutta kalay elementi Bi-2223 sistemine 650-850°C arasında değişen sıcaklıklarda ısı işlem uygulanarak difuze edilmiştir. Elde edilen bulgularda, nano boyutta kalayın kristal yapı içerisine katılmayıp tane sınırları arasına yerleştiğini böylece c örgü parametre değerlerinde önemli değişiklik gerçekleştirmediği tespit edilmiştir [135]. Benzer bir şekilde, bu çalışma kapsamında nano boyutta SnO₂ içermeyen ve $x = 0.05$ oranında nano boyutta SnO₂ içeren örneklerin c örgü parametre değerleri karşılaştırıldığında, $x = 0.05$ oranında nano boyutta SnO₂ içeren örneğin c örgü parametre değerinde önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. $x = 0.05$ oranında nano boyutta SnO₂ içeren B örneğinde c örgü parametresinde önemli değişimler gözlemlenmemesi, nano boyutta SnO₂ parçacıklarının süperiletken taneler arasına yerleşebileceğini işaret edebilir. Nano boyutta kalayın sistem içerisinde bu davranışı, taneler arasında kuvvetli bağların oluşumuna destek olarak süperiletkenlik özelliklerin gelişimine katkıda bulunabilir.

4.1.3. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.9}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait X-Işını Kırınım Ölçümleri

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.9}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (C Örneği) örneğine ait X-Işını ölçümü deseni Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. C Örneğine ait X-Işını Kırınım (XRD) Grafiği

C örneğine ait X-ışını kırınım desenine bakıldığında, + sembolü Bi-2212 yüksek sıcaklık fazını simgelerken, ● ile Bi_2CaO_4 safsızlık fazı gösterilmektedir. C örneğinde Bi_2CaO_4 safsızlık fazı ile tek tip safsızlık fazının oluşmasının yanında, temel faz yapısı Bi-2212 süperiletken fazı olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan, C örneğinin faz analizinde, Bi-2212 fazının karakteristik pikleri $2\theta \approx 5.7^\circ$; 24.8° ; 29.1° ; 31.24° ve 45.04° gibi noktalarda görünmesinin yanında, $2\theta \approx 51.396$ noktasında Bi_2CaO_4 safsızlık fazı oluştuğu tespit edilmiştir. C örneğinde kristal yapıda, Bi_2CaO_4 safsızlık fazının tek bir noktada oluşması sistemin faz yapısı üzerinde olumlu bir gelişme olarak beklenebilirken, $2\theta \approx 13.45^\circ$; 20.182° ; ve 20.763° gibi noktalarda Bi-2212 yüksek sıcaklık fazları kaybolmaktadır. C örneğinde bazı noktalarda Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazlarının kaybolması, sistemin Bi-2212 faz yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklık süperiletkenlik fazının yoğunluğunda bu şekilde azalma görülmesi süperiletkenlik özellikleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

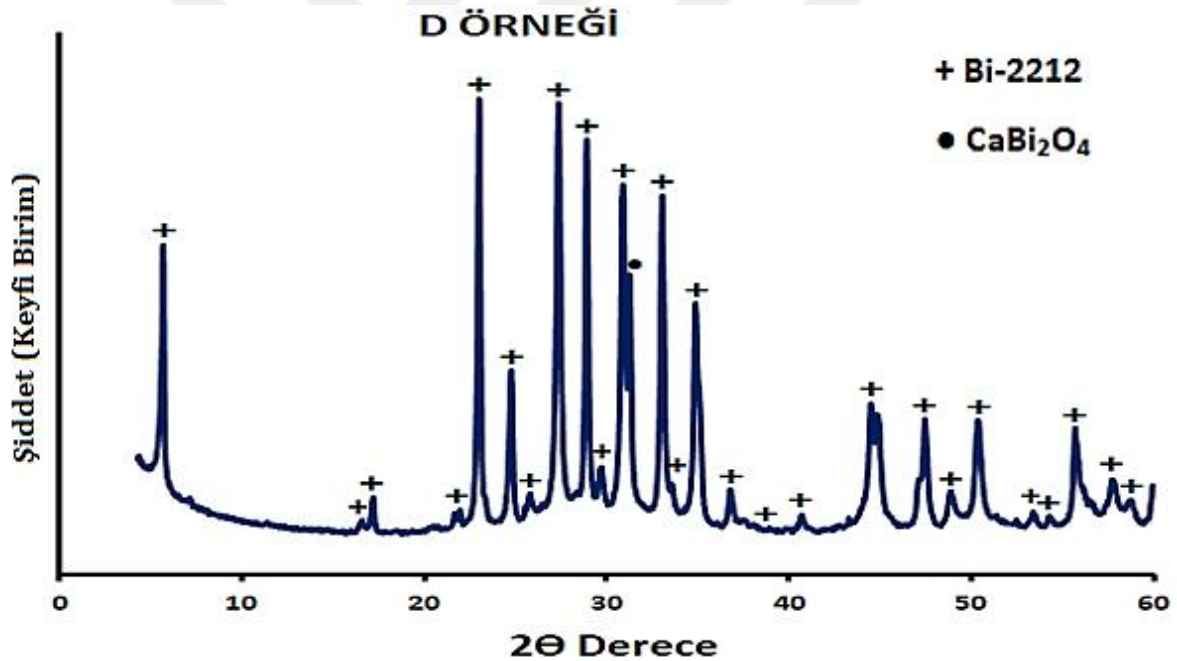
Tetragonal kristal yapıda elde edilen C örneğinin örgü parametre değerleri $a = b = 3,8314 \text{ \AA}$ ve $c = 30,878455 \text{ \AA}$ olarak elde edilmiştir. c örgü parametresi B örneğinde $30,902153 \text{ \AA}$ iken C örneğinde ise $30,878455 \text{ \AA}$ 'a azalmıştır. c örgü parametresinde meydana gelen bu

azalış, BiO (bizmut oksit) tabakalarda oksijen konsantrasyonunun değişimine bağlı olan itici kuvvetlerin azaldığını işaret etmektedir.

İyi bilindiği gibi, BSCCO süperiletken sisteminde safsızlık fazların oluşumu ve Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazlarının pik pozisyonlarında ve şiddetlerinde meydana gelen değişimler ile temel süperiletken özellikler üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Yapı içerisinde 0.25 oranında sodyum katkısının varlığı ile $x = 0.2$ oranında nano boyutta SnO_2 içeren C örneğinde, diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, Bi-2212 süperiletkenlik faz yoğunluğunun azalması ve c örgü parametre değerinde düşüş gözlemlenmesi ile süperiletken özelliklerde olumsuz etkiler beklenebilmektedir.

4.1.4. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.8}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait X-Işını Kırınım Ölçümleri

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.8}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (D Örneği) örneğine ait X-Işını ölçümü deseni Şekil 4.4'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. D Örneğine ait X-Işını Kırınım (XRD) Grafiği

Şekil 4.4'de D örneğine ait kırınım deseninde, + ile Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı, ● ile Bi_2CaO_4 safsızlık fazı gösterilmektedir. Örnekte tek tip Bi_2CaO_4 safsızlık fazının oluşmasına rağmen temel faz yapısı Bi-2212 süperiletkenlik fazıdır. Diğer taraftan, Şekil 4.4'deki D örneğine ait X-ışını analizinden elde edilen grafikte görüldüğü gibi, C örneğinde gözlenen bazı bölgelerde Bi-2212 fazının kaybolma davranışı D örneğinde de devam etmiştir. D örneğinde Bi-2212 yüksek sıcaklık fazı $2\theta \approx 17.15^\circ; 13.45^\circ; 20.182^\circ; 20.763^\circ$ ve 31.256° gibi noktalarda gözlemlenmemiştir. Diğer taraftan, Bi-2212 yüksek sıcaklık fazına ait

$2\theta \approx 21.660^\circ$ ve 27.372° gibi bazı noktalarda pik şiddetleri diğer örnekler ile karşılaştırıldığı zaman azalmıştır.

Tetragonal kristal yapıda elde edilen D örneğinin örgü parametre değerleri $a = b = 3,8305 \text{ \AA}$ ve $c = 30,876466 \text{ \AA}$ olarak elde edilmiştir. D örneğinde elde edilen c örgü parametre değeri, C örneğinin c örgü parametre değerine eşit olarak tespit edilmiştir. c örgü parametre değerinin $c = 30,876466 \text{ \AA}$ ile C ve D örneklerinde benzer değerde olması D örneğinde de BiO (bizmut oksit) tabakalarda itici kuvvetlerin azaldığını işaret etmektedir. Bi-2212 yüksek sıcaklık fazlarının yoğunluğunun ve pik şiddetlerinin azalmasının yanında c örgü parametresi değerinde A örneğine göre azalma meydana gelmesi, D örneğinde süperiletkenlik özelliklerinin bozulmasına işaret edebilmektedir.

4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu Bulguları

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}(\text{SnO}_2)_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20$) süperiletken seramik örneklerin tane oluşumları ve yüzey mikro yapılarını araştırmak için Taramalı Elektron Mikroskobu ölçümleri (SEM) gerçekleştirildi.

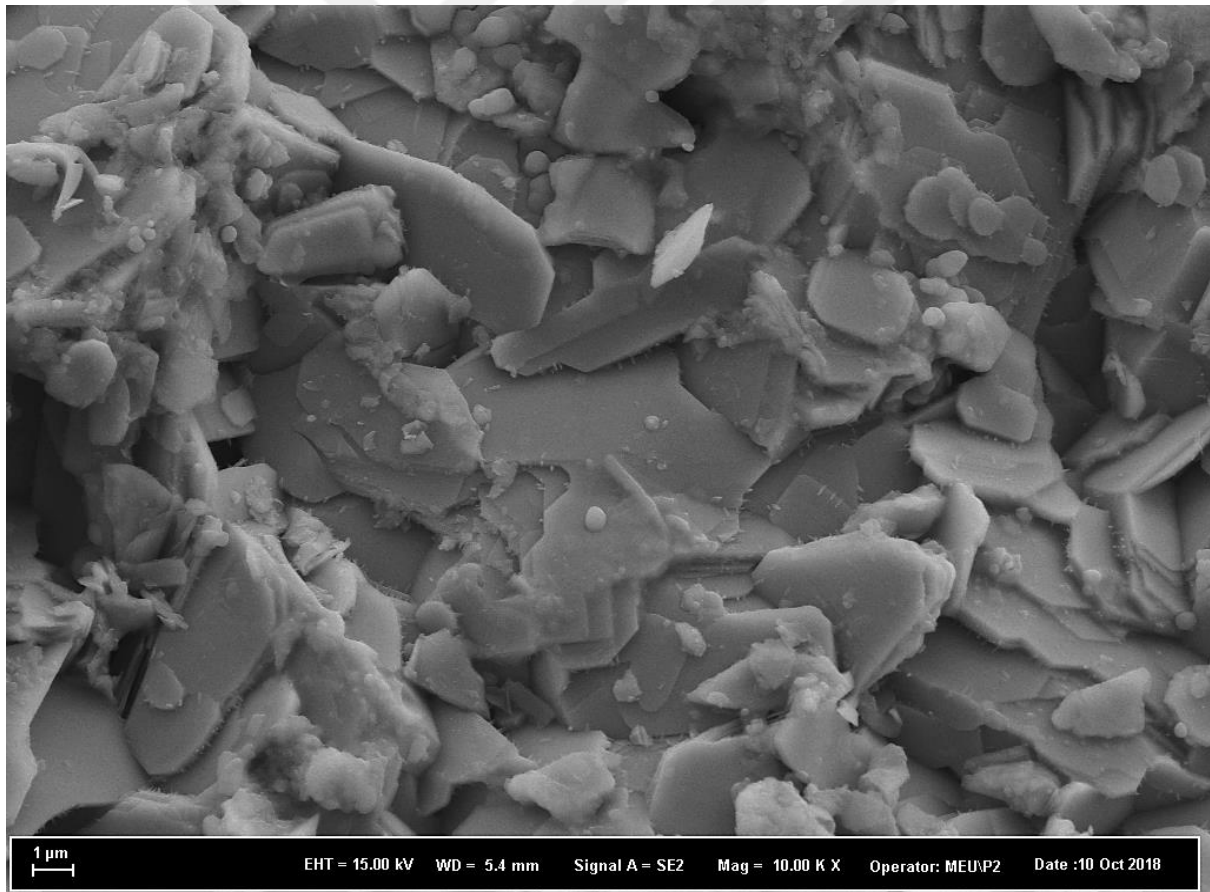
4.2.1. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu Bulguları

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (A Örneği) Örneğinde 10 K büyütme oranı ile elde edilen SEM mikro yapı görüntüleri Şekil 4.5'de gösterilmektedir. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi, birbirleri ile tane sınırları ile ayrılmış rastgele yönelimli plaka benzeri (plate) tane oluşumları gözlemlenmektedir. Genel olarak Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerde mikro yapıda plaka benzeri tanelerin oluşumu Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletkenlik fazının varlığına işaret etmektedir [136, 137]. Diğer taraftan, Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken malzemeler, katı hal tepkime yöntemiyle üretildiği zaman boşluklu yapı ile birlikte rastgele yönelimli tanelerden oluşabilmektedir. Şekil 4.5'de A örneğine ait SEM görüntülerine bakıldığında zaman, plaka benzeri yapıda tanelerin oluşumu kolaylıkla görülmektedir.

Süperiletken malzemelerde elektriksel özellikler granüler (taneciksel) yapıya son derece bağlıdır. Tanelerin boyutları, tanelerin düzenli yönelimi, taneler arasında kuvvetli bağların oluşumu, boşlukların oranı ve taneler arasında safsızlık fazlarının meydana gelmesi elektriksel özellikleri etkileyen parametrelerdir. Özellikle, BSCCO süperiletken sisteminde daha yüksek seviyede akım taşıma kapasitesine ulaşabilmek için iyi bir şekilde hizalanmış tanelerin oluşumu oldukça önemlidir [138].

BSCCO süperiletken malzemelerde istenilen yönde düzgün bir şekilde hizalanmış tane yönelimleri uygun malzeme hazırlama teknikleri kullanılarak sağlanabilmektedir. Literatürden

bilindiği gibi, LFZ (Lazer Floating Zone) metodu kullanıldığında malzemede oluşturulan eriyik bölge istenilen yönde katılaştırılarak büyük ölçekte ve istenilen yönde hizalanmış süperiletken taneler oluşturulabilmektedir [139, 140]. Böylece, LFZ metodu kullanılarak istenilen yönde hizalanan, büyük plaka benzeri tanelerin oluşumu ile BSCCO süperiletken sisteminde elektriksel özellikler önemli oranda geliştirilebilmektedir [141]. Özkurt tarafından yapılan çalışmada, Bi-2212 süperiletken sisteminde bizmut sitelere farklı oranlarda itriyum elementi katılarak Bi-2212 süperiletken sistemine etkisi araştırılmıştır. Süperiletken malzemeler polimer solisyon yöntemi kullanılarak hazırlandıktan sonra LFZ metodu ile tekstüre edilmiştir. Elde edilen bulgularda, katkısız örnek 95 K (T_c^{offset}) geçiş sıcaklığına sahipken, yapı içerisinde artan Yb katkısı ile geçiş sıcaklığı değeri giderek azalmıştır [142]. Bu çalışmada elde edilen bulgular göstermiştir ki, yaklaşık olarak 85 K geçiş sıcaklığına sahip Bi-2212 süperiletken yapısına malzeme hazırlama sürecinde LFZ tekniği uygulandığı zaman, taneciksel özelliklerde meydana gelen gelişmeler ile 95 K gibi yüksek bir değerde süperiletkenlik geçiş sıcaklığı elde edilmiştir.



Şekil 4.5. $Bi_2Sr_2Ca_1Cu_{1.75}Na_{0.25}O_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü

Malzeme içerisinde kristalin oluşumu; atom, molekül ya da iyon gruplarının bir araya gelerek daha geniş kümeleri oluşturması sonucu çekirdeklenme süreci ile başlar. Kristalleşme

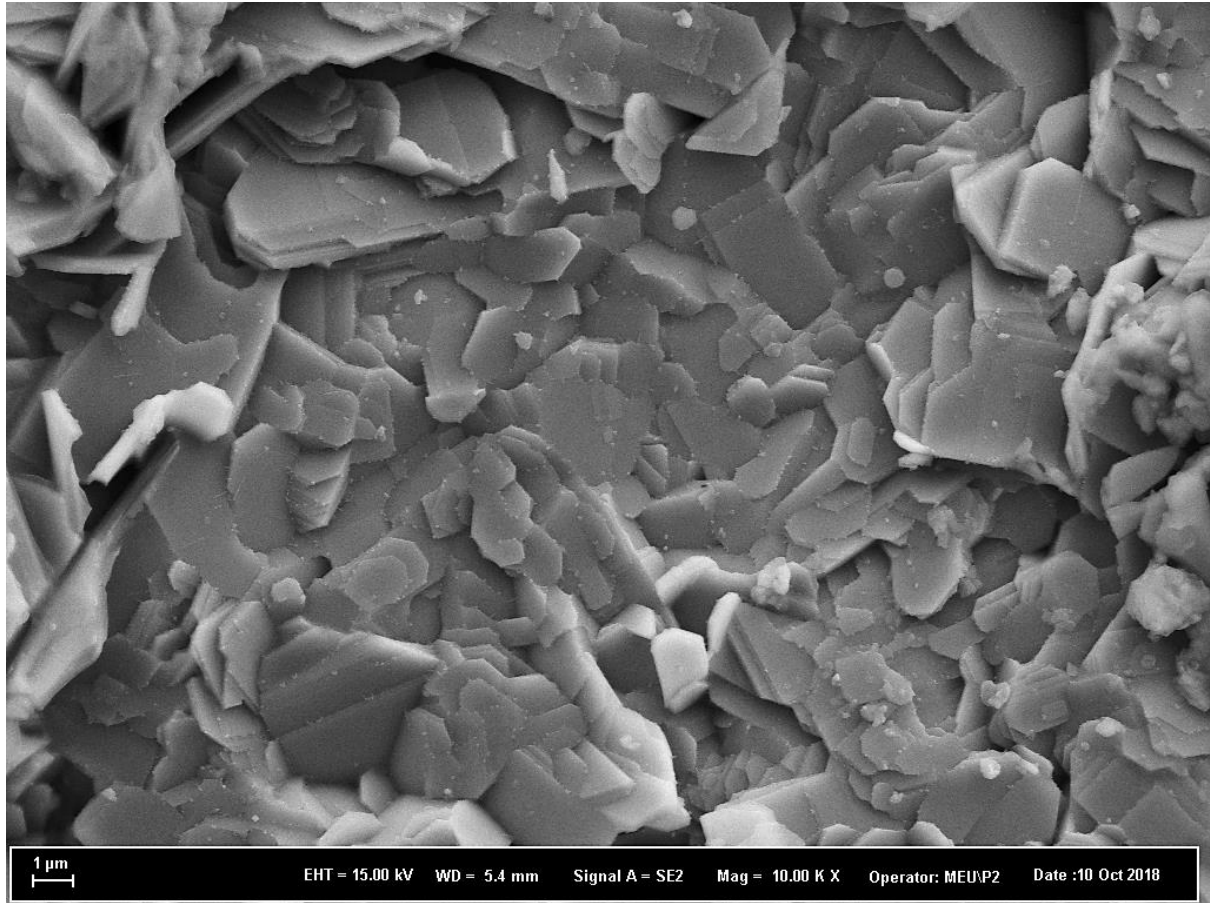
sürecinde sıvı fazın oluşumu herhangi bir noktada bulunan iki atomun hareket kabiliyetlerinin artabilmesi sebebiyle kristalleşmeyi kolaylaştırabilmektedir [80].

Dış kabuğunda bir elektrona sahip olmalarından dolayı alkali elementler oldukça reaktif yapıya sahiptirler ve kararlı hale gelebilmek için dış kabuğundaki bir elektronu kolayca kaybedebilirler. Literatürden bilindiği gibi, sodyum, lityum ve potasyum gibi alkali elementler sistem içerisine katıldığında zaman, sistem içerisinde sıvı faz oluşumunu daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirerek, BSCCO süperiletkenlerin kristalleşme sıcaklığını düşürmektedir [60,79,80]. Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazının süperiletken olmayan safsızlık fazlarına ayrışmadan daha düşük sıcaklıklarda kristalleşmeye başlaması ve gelişmesi süperiletken tane büyüklüklerini önemli ölçüde arttırabildiğini göstermektedir [26,61]. Böylece malzemeye LFZ metodu uygulandığı zaman taneciksel özelliklerde gözlemlenen olumlu etkiler, BSCCO sisteminde yapı içerisine alkali element katılanması ile de gözlemlenebilmektedir.

Şekil 4.5'de SEM görüntülerine bakıldığında, sodyum elementinin yapı içerisine katıldığında zaman düşük sıcaklıklarda kristalleşmeye başlamasının belirgin etkisi olan büyük ölçeğe sahip tanelerin oluşumu açıkça görülmektedir. Bunun yanında, katı hal tepkime yönteminin doğası olan rastgele yönelimli tanecikli yapısı A örneğinin yüzey morfolojisinde gözlemlenebilmektedir. Büyük ölçekte plaka benzeri tanelerin rastgele yönelimli dağılımı yapı içerisinde bazı bölgelerde boşluklar da oluşturabilmektedir. Taneler arasında oluşan bu boşluklar temel süperiletkenlik özellikleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. A örneğinde büyük tanelerin varlığı elektriksel özellikler için önemli bir gelişme olabilirken bazı bölgelerde taneler arasında boşlukların oluşması elektrik iletimini engelleyici bariyer oluşturabilmektedir.

4.2.2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu Ölçümü Bulguları

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (B Örneği) örneğinden 10 K büyütme oranı ile elde edilen SEM mikro yapı görüntüleri Şekil 4.6'da gösterilmektedir. B Örneğinin yüzey analizinde de Bi-2212 faz yapısının varlığına işaret eden plaka benzeri tanelerin oluşumu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.6. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü

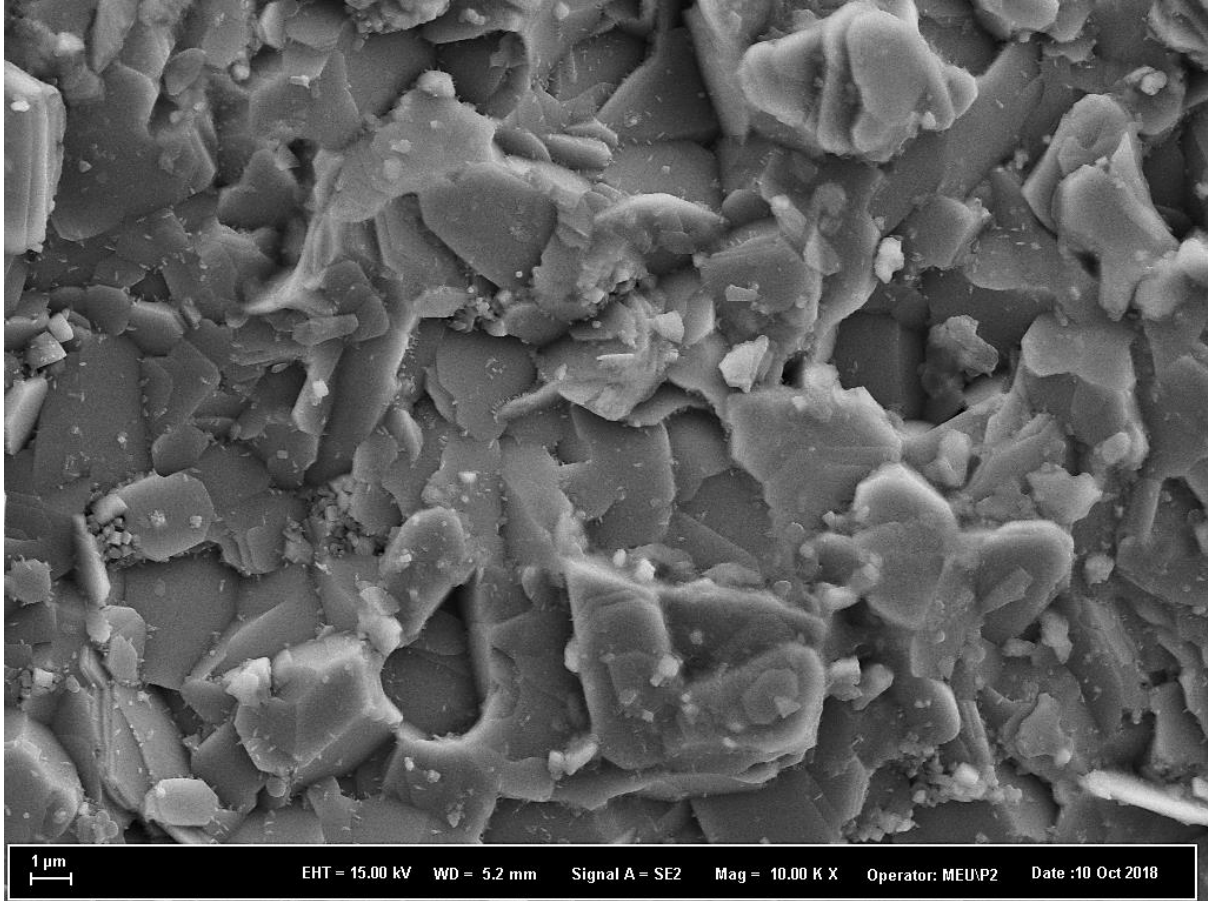
Bilindiği gibi, uygun boyutta ve katkılama oranlarında nano boyutta elementler, BSCCO süperiletkenlerde kristal yapı içerisine katkılındığı ya da eklendiği zaman taneler arasında boşluklara yerleşebilmektedir. Bu durumda daha az boşluklu yapı ve birbirleri ile daha kuvvetli bağlanmış tanelerin oluşumu temel süperiletken özellikler üzerine olumlu katkılar sağlayabilmektedir. Jannah ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada Bi-2223 süperiletken sistemi içerisine farklı oranlarda nano boyutta Co_3O_4 (% 0.00, % 0.01, % 0.02, %0.03, % 0.04 ve % 0.05 oranları ile) eklemiştir. Elde edilen bulgularda %0.03 oranında nano boyutta Co_3O_4 sistemin taneciksel özelliklerini geliştirerek kritik akım yoğunluğu değerini arttırmıştır. Daha yüksek değerde nano boyutta Co_3O_4 sistemin taneciksel özellikleri üzerine negatif etki gerçekleştirdiği için temel özellikler bozulmuştur [143]. Diğer taraftan, nano boyutta altın elementinin de BSCCO süperiletken sistemi içerisinde taneler arasına yerleşerek süperiletken taneler arasında bağlantıları geliştirdiği gözlemlenmiştir [85,100]. Oboudi ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Bi-2223 süperiletken sistemine nano boyutta altın elementi (%0.0, %0.2, %0.4, %0.6, %0.8 ve %1.0 oranları ile) eklemenin etkisi

araştırılmıştır. Elde edilen bulgularda, maksimum oranda nano boyutta altın elementi içeren örnekte plaka benzeri tanelerin gelişmesi ile en yüksek geçiş sıcaklığı gözlenmiştir [144].

Şekil 4.6'da SEM görüntülerine bakıldığında, daha düzenli ve birbirleri ile kuvvetli bağlı tanelerin oluşumu görülebilmektedir. Diğer taraftan, A örneği ile karşılaştırıldığında, B örneğinin morfolojik yapısında daha az boşluklu yapının oluşumu da görülebilmektedir. Sistem içerisinde sodyumun varlığı ile taneciksel özelliklerin gelişmesi ile beraber $x = 0.05$ oranında nano boyutta kalay elementinin sisteme girmesi boşluklu yapıyı azaltmıştır. Diğer taraftan, B örneğinin kristal yapı analizinde c örgü parametresi değerinde A örneğine göre önemli bir değişim gözlemlenmediği X-ışını analizlerinde tespit edilmiştir. Bu durum nano boyutta kalay elementinin, plaka benzeri taneler arasındaki boşluklara yerleşerek taneler arası bağlantıların geliştirdiğini işaret edebilmektedir. Böylece B örneğinde süperiletken tanelerin büyümesi, boşluklu yapının azalarak daha az sayıda tane sınırlarının oluşumu ve taneler arasındaki bağların kuvvetlenmesi süperiletkenlik özelliklerin gelişmesini sağlayabilmektedir.

4.2.3. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.9}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü Bulguları

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.9}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (C Örneği) örneğinden elde edilen SEM mikro yapı görüntüleri Şekil 4.7'de gösterilmektedir. C Örneğinin yüzey analizi incelendiğinde de Bi-2212 faz yapısının varlığına işaret eden plaka benzeri tanelerin oluşumu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.7. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.9}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü

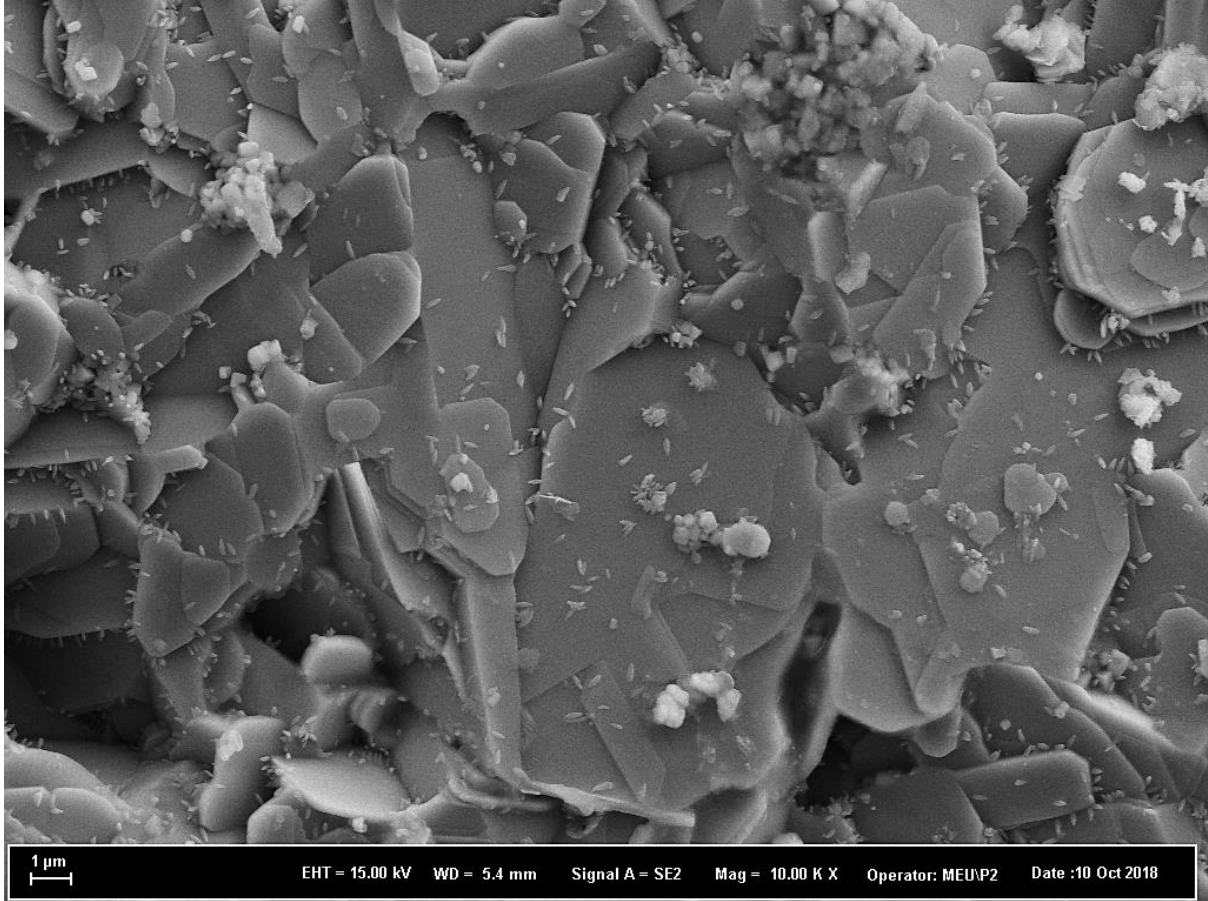
SEM ölçüm sonuçlarında elde edilen görüntülerde, tanelerin sahip oldukları renk tonları ve bu renklerdeki kontrast farklılıkları yapı içerisindeki fazlar hakkında önemli bilgiler vermektedir. Genel olarak, gri bölgelerin daha koyu tonları ya da çok daha açık tonları safsızlık fazlarının göstergesi olabilmektedir [145]. Literatürden bilindiği gibi, Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazı keskin gri kontrasta sahip olmasıyla birlikte düşük geçiş sıcaklığına sahip Bi-2201 süperiletken fazı beyaz renge yakın tonlara sahiptir [146, 147]. Diğer taraftan, morfolojik yapıda koyu gri tonlara sahip bölgeler bizmut içeren safsızlık fazlarını işaret ederken, siyah renge sahip bölgeler bizmut içermeyen safsızlık fazının oluşumuna işaret edebilmektedir [148, 149].

Şekil 4.7'de C örneğine ait SEM görüntülerine bakıldığında, A örneğine benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Sodyum katkısı ile birlikte $x = 0.1$ oranında nano boyutta kalay katkısı içeren örneğin yüzey yapısında tanelerin düzensiz dağılımına ve taneler arasında yüksek değerlerde açılarda oluşumu gerçekleşmiştir. Sotelo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, katı hal tepkime yöntemi, sol-jel yöntemi, polimer solüsyon sentezi yöntemi ve eriyik döküm yöntemi kullanılarak dört farklı yöntem ile üretilen süperiletken örnekler üzerine uygulanan LFZ metodunun etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgularda polimer solüsyon sentez yöntemi

ile hazırlanan örnekte daha düzenli tane oluşumları gözlemlenmesinin yanında Bi-2212 fazının göstergesi olan gri tonları baskın bir şekilde tespit edilmiştir. Morfolojik yapıda elde edilen gelişmeler ile en iyi süperiletkenlik özellikler polimer solüsyon sentez yöntemi ile üretildikten sonra LFZ metodu uygulanan örnekte gözlemlenmiştir [146]. Benzer bir şekilde, bu çalışma kapsamında elde edilen SEM görüntüleri göz önüne alındığında tüm örneklerin yüzeylerinde Bi-2212 fazının baskın bir şekilde oluşumunu işaret eden gri renk tonuna sahip plaka benzeri tanelerin oluşumu açıkça gözlemlenmektedir. Bu sonuçlar, X-ışını kırınım ölçümlerinde elde edilen örneklerde temel faz yapısının Bi-2212 fazı bulgusunu desteklemektedir. Diğer taraftan, Şekil 4.7'de C örneğine ait SEM ölçüm sonuçları göz önüne alındığında, safsızlık fazlarının oluşumuna ve Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken faz yoğunluğunun azalmasına işaret edebilen, bazı bölgelerde grinin oldukça açık tonlarına sahip düzensiz hizalanmış tane oluşumları gözlemlenmektedir. C örneğinde X- ışını ölçüm sonuçlarında elde edilen buğularda, Bi-2212 faz yoğunluğunun azalması ile birlikte morfolojik yapıda birbirleriyle yüksek oranda açığı oluşturacak şekilde boşluklarla ayrılmış tane oluşumları temel süperiletkenlik özellikler üzerinde negatif etki oluşturabilir.

4.2.4. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.8}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü Bulguları

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.8}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (D Örneği) örneğinden elde edilen SEM mikro yapı görüntüleri Şekil 4.8'de gösterilmektedir. D Örneğinin yüzey analizi incelendiğinde de Bi-2212 faz yapısının varlığına işaret eden plaka benzeri tanelerin oluşumu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.8. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.8}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait SEM Ölçümü

Literatürde, plaka benzeri taneler arasına yerleşerek tane boyutları ve taneler arası bağlantıları geliştiren bir başka faydalı element ise gümüştür [27,30]. Şakiroğlu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Bi-2223 ($\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Ag}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$) süperiletken sistemine farklı oranlarda gümüş ($x = 0.0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$) katkılanmıştır. Elde edilen bulgularda, gümüş elementinin taneler arası sınırlara yerleşerek birbirleriyle daha kuvvetli bağlı tanelerin oluşumu tespit edilmiştir. Artan gümüş katkısı ile gelişen taneciksel özellikler sonucu temel süperiletkenlik özellikler giderek gelişmiştir [150]. Diğer taraftan, Şekil 4.8’de D Örneğine ait SEM ölçüm sonucuna bakıldığında, literatürde gözlemlenen katkı elementlerinin tane sınırlarına yerleşerek tane boyutlarını geliştirme etkisi, benzer bir şekilde sodyum ve $x = 0.20$ oranında nano boyutta SnO_2 ikili katkılamada da gözlemlenmektedir. Bu çalışma kapsamında, diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, daha büyük ölçekte tane oluşumları D örneğinde elde edilmiştir. Sodyum elementinin tane boyutlarını geliştirici etkisinin yanında nano boyutta SnO_2 elementinin taneler arasındaki boşluklara yerleşmesi sonucu D örneğinde tanelerin boyutları artmıştır. Ancak bazı durumlarda tane boyutlarında artış gözlemlenebilirken, temel süperiletkenlik özellikleri olumsuz yönde etkileyecek süperiletken olmayan tane yapıları, taneler arasında yüksek oranda aç ve boşlukların oluşumu meydana gelebilmektedir. Diğer

tarafından, D örneğine ait SEM mikro yapı görüntülerine bakıldığında, plaka benzeri tanelerin üzerine yerleşmiş açık renkli daha küçük ölçekte taneler görülmektedir. Bu tür oluşumlar morfolojik yapıda homojenliği olumsuz yönde etkilemektedir. D örneğine ait SEM görüntülerinde, tanelerin oluşumunda meydana gelen olumsuz etkiler homojenliğini etkileyerek temel süperiletkenlik özellikler üzerinde negatif etkiler yaratabilmektedir.

4.3. Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları

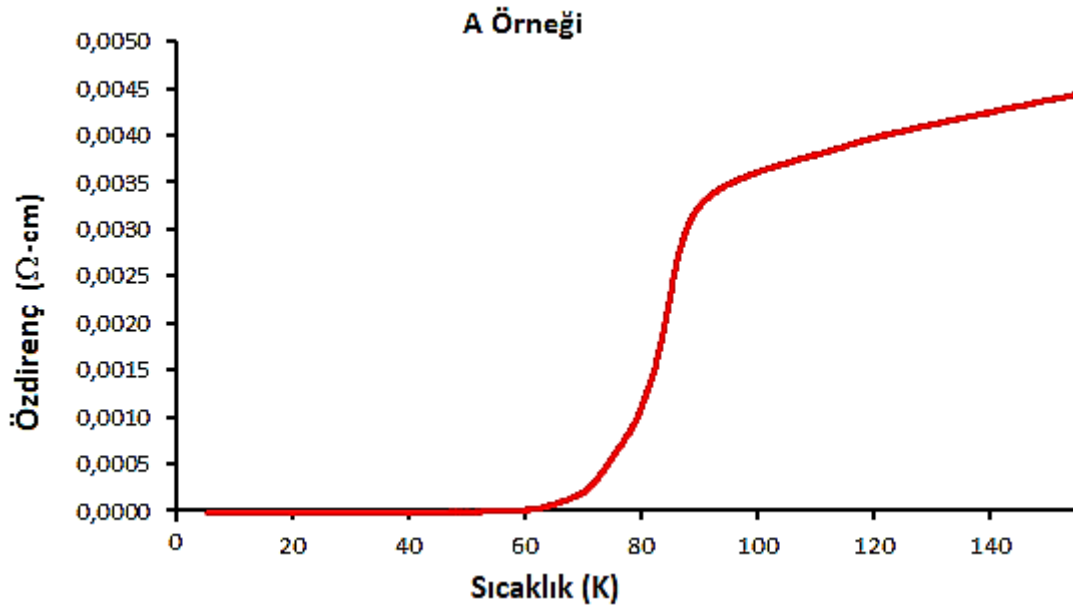
Özdirenç sıcaklık (R-T) grafikleri; malzemelerin süperiletkenliğe geçtiği kritik sıcaklığın tespit edilmesiyle beraber, süperiletken örneklerin mikroyapısal özelliklerini oluşturan tanelerin davranışları, süperiletkenlik ve safsızlık fazlarının durumu hakkında da önemli bilgiler vermektedir. Üretilen süperiletken örneklerimizde T_c^{onset} ve T_c^{offset} geçiş sıcaklıklarını tespit edebilmek için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak özdirenç (ohm-cm) ölçümleri 2 K - 150 K sıcaklıkları arasında gerçekleştirildi.

4.3.1. $Bi_2Sr_2Ca_1Cu_{1.75}Na_{0.25}O_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları

Bi tabanlı yüksek geçiş sıcaklığına sahip süperiletken sistemlerde malzemelerde süperiletken faza ilk geçiş olan T_c^{onset} sıcaklık değeri kristal yapıda ki süperiletken fazların oranına bağlı iken, süperiletkenlik geçişin tamamlandığı T_c^{offset} sıcaklık değeri ise kristal yapı içerisinde meydana gelen fazların birbirleriyle bağlantıları ile ilişkilidir [17]. Literatürden bilindiği gibi, Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken sistemine metalik elementler katıldığında zaman, katyon ve anyonlar kristal yapı içerisine girerek taneler arasında açığı, tanelerin yönelimi, kristal yapıda oluşan kusurların sayısı ve oksijen miktarı gibi parametreleri kolaylıkla değiştirebilir [96]. Aynı zamanda, sistem içerisine katılan bu elementler kristal yapıya girdiklerinde BSCCO sisteminin yük taşıyıcılarına ekstra yük transfer ederek sistemde optimum hol konsantrasyonun elde edilmesine katkı sağlayabilmektedir [151]. Böylece, BSCCO seramik süperiletkenlerde bu türlü gelişmelerin elde edilmesi ile sistemin geçiş sıcaklık değeri arttırılabilmektedir.

$Bi_2Sr_2Ca_1Cu_{1.75}Na_{0.25}O_y$ (A Örneği) Örneğine Ait öz direnç sıcaklık grafiği şekil 4.9'da gösterilmektedir. A örneğine ait özdirenç ölçüm sonucunda elde edilen bulgularda, T_c^{onset} geçiş sıcaklığı değeri 89.08 K sıcaklık olarak elde edilirken, T_c^{offset} sıcaklık değeri ise 61.4 olarak elde edilmiştir. Bunun yanında, ΔT_c ise 27.68 olarak ölçülmüştür. A örneği için tespit edilen bu geçiş sıcaklığı değerleri literatürde Bi-2212 süperiletken faz yapısına uygun olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan, özdirenç sıcaklık grafiğine bakıldığında, T_c^{onset} değerleri üzerindeki sıcaklık bölgelerinde süperiletkenlerin karakteristik davranışı olan metalik davranış sergilediği

(sıcaklığın azalması ile öz direnç değerinin düşmesi) görülmektedir. Bununla birlikte, onset geçiş sıcaklığı değerinin altındaki bölgelerde ise, yapılan ikili katkılamamanın etkisi ile farklı davranışlar meydana getirmiştir. İyi bilindiği gibi seramik süperiletken sistemlerde ikincil fazların oluşumu BSCCO kristal yapısında yüksek sıcaklık süperiletken fazlar arasındaki bağlantıları etkileyebilmektedir. Bu durumda öz direnç-sıcaklık grafiklerinde onset ve offset sıcaklıklar arasında yüksek değerde fark oluşumu ve grafikte dalgalanmalar oluşturabilmektedir. Gopalakrishna ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Bi-2212 süperiletken sisteminde bakır oksit sitelere lityum katkılmasının (0.4, 0.6 ve 0.1 katkı oranları) etkileri araştırıldı. Elde edilen bulgularda, artan lityum katkısı ile safsızlık fazlarının oranı giderek artmıştır. Safsızlık fazlarının bu şekilde artması sonucu, süperiletkenlik geçiş sıcaklık değerlerinin giderek azalmasının yanında örneklerde onset ve offset geçiş sıcaklıkları arasında farkın azalmasına sebep olmuştur[152]. Benzer bir şekilde bu çalışma kapsamında üretilen A örneğinde literatürde Bi-2212 süperiletken sistemine uygun grafik sonuçları elde edilmiş olsa da, XRD sonuçlarında tespit edildiği gibi safsızlık fazlarının oluşması ile offset ve onset arasındaki bölgenin genişlemesine sebep olmuştur.



Şekil 4.9. Bi₂Sr₂Ca₁Cu_{1.75}Na_{0.25}O_y Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Grafiği

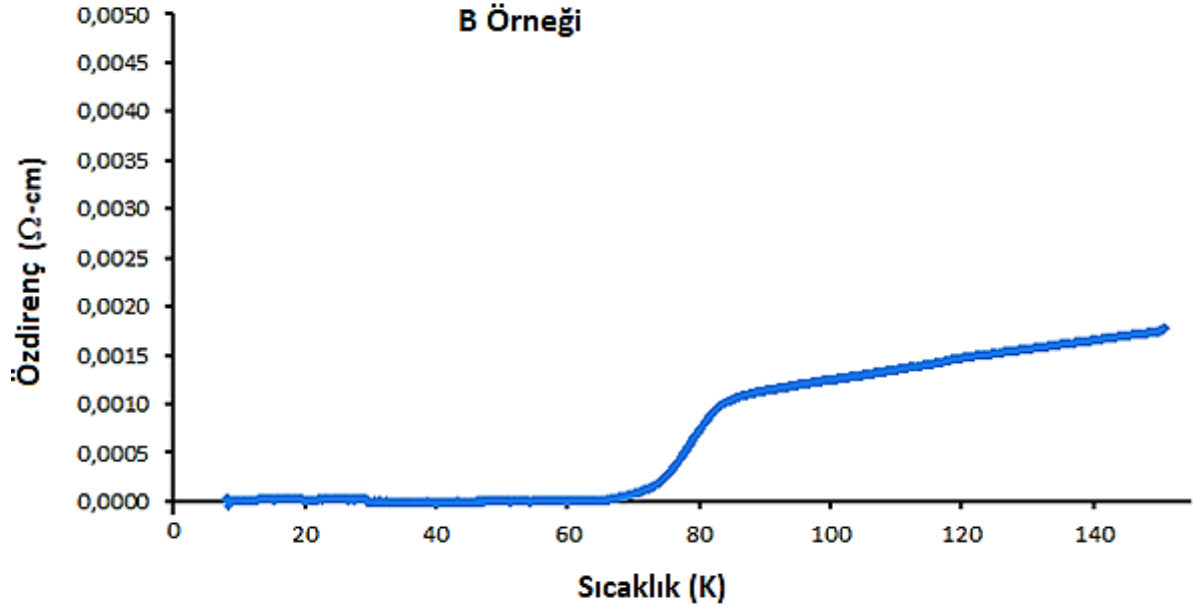
BSCCO süperiletken malzemeler katı hal tepkime yöntemi ile üretildiğinde, rastgele yönelimli tanelerden oluşabilmektedir. Bazı durumlarda ise gelişi güzel yönelmiş taneler aralarında boşluk oluşturabilmektedir. İyi bilindiği gibi, BSSCO süperiletken sisteminde elektriksel özellikler tane boyutları, taneler arasındaki açı ve tanelerin rastgele yönelimi gibi parametrelere oldukça duyarlıdır. A örneğinde sodyum katkısının bilenen etkisi olarak büyük ölçekte plaka benzeri taneler oluşumu SEM görüntülerinde tespit edilmiştir. Bunun yanında

morfolojik yapıda gelişmiş plaka benzeri taneler arasında bazı bölgelerde boşluklar meydana gelebilmektedir. Böylece oluşan boşluklu yapı ve taneler arasına yerleşen safsızlık fazları elektriksel iletim esnasında bariyer oluşturarak elektriksel özellikleri zayıflatabilmektedir. Bu durum geçiş sıcaklık değerlerini ve malzemenin sahip olduğu öz direnç değerlerini etkileyen bir diğer önemli parametrelerdendir.

A örneğinde, X-ışını kırınım analizlerin elde edildiği gibi, bazı noktalarda safsızlık fazlarının gözlemlenmesi ve süperiletken taneler arasında zayıf bağlantılar oluşması ile T_c^{onset} ve T_c^{offset} değerleri arasındaki farkın artmasına ve süperiletkenlik geçişte nispeten dalgalanmaların meydana gelmesine sebep olmuştur.

4.3.2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (B Örneği) Örneğine Ait öz direnç sıcaklık grafiği şekil 4.10'de gösterilmektedir. B örneğine ait öz direnç ölçüm sonucunda elde edilen bulgularda, T_c^{onset} geçiş sıcaklığı değeri 84.6 K sıcaklık olarak elde edilirken, T_c^{offset} sıcaklık değeri ise 66.3 olarak elde edilmiştir. Bunun yanında, ΔT_c ise 18.3 olarak hesaplanmıştır. Öz direnç sıcaklık grafiğine bakıldığında, T_c^{onset} değerleri üzerindeki sıcaklık bölgelerinde metalik davranış sergilediği görülmektedir. Örnekte, T_c^{onset} değerinden sonra süperiletkenlik geçişin tamamlandığı T_c^{offset} değerine keskin bir geçiş gerçekleşmiştir. Bu davranış B Örneğinde süperiletken olmayan ikincil fazların oranının oldukça az olduğunun göstergesidir. Böylece örnekte homojenliğin geliştiğinin ve süperiletken fazlar arasında daha iyi bağların oluştuğunun göstergesi olarak daha küçük değerde ΔT_c değeri elde edilmiştir.

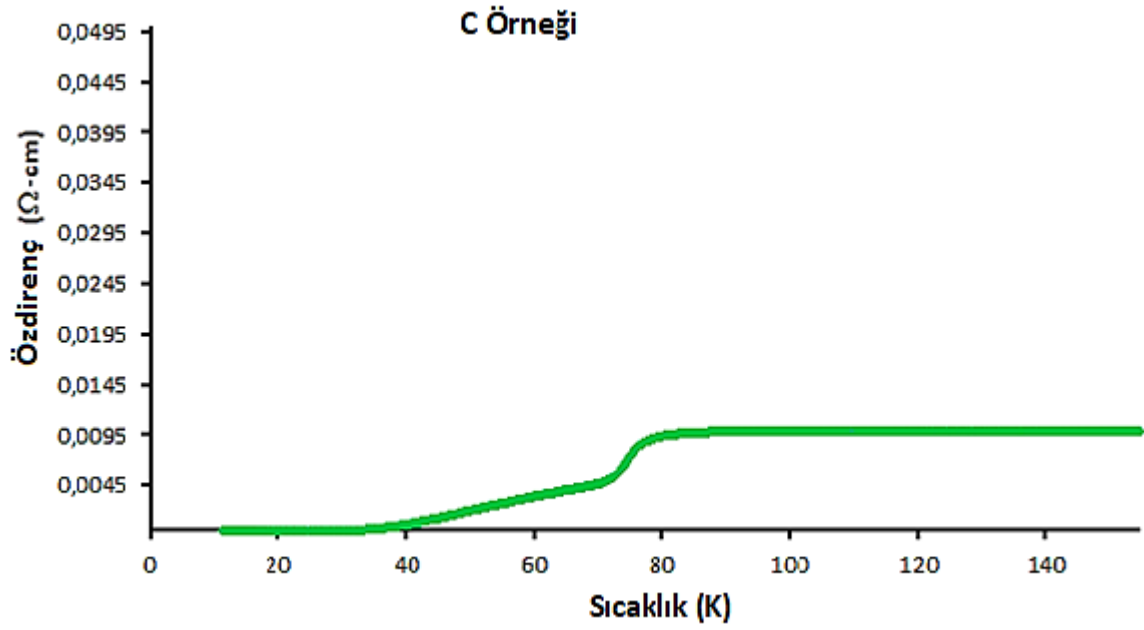


Şekil 4.10. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}(\text{SnO})_{0.05}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Grafiği

Biju ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Bi-2212 süperiletken sisteminin mikroyapısal ve süperiletkenlik özellikleri üzerine lantanyum (0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5) katkısının etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgularda 0.2 oranında lantanyum içeren örnekte Bi-2212 süperiletkenlik fazının gelişmesinin yanında diğer örnekler ile karşılaştırılığında homojen yapıda taneciksel yapı elde edilmiştir. Bu gelişmeler sonucu 0.2 oranında lantanyum içeren örnekte daha iyi süperiletkenlik özellikler elde edilmiştir [153]. Bu çalışma kapsamında üretilen B örneğinde de daha önce bahsedildiği gibi, X ışını ölçüm sonuçlarında safsızlık fazlarının şiddeti ve yoğunluklarının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun yanında diğer örnekler ile karşılaştırıldığında B örneğinde, nispeten daha düzenli tane yapılarının oluşumu, tanelerin bir birbirleriyle kuvvetli bağlandığı SEM ölçüm sonuçlarında elde edilmiştir. Böylece B örneğinde mikro yapısal ve faz analizlerinde elde edilen gelişmeler sonucu süperiletkenlik geçiş sıcaklıklarında artış gözlemlenmiştir.

4.3.3. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.90}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.90}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (C Örneği) Örneğine Ait öz direnç sıcaklık grafiği şekil 4.11'de gösterilmektedir. Öz direnç sıcaklık grafiğine bakıldığında, T_c^{onset} değerleri üzerindeki sıcaklık bölgelerinde metalik davranış sergilediği görülmektedir.

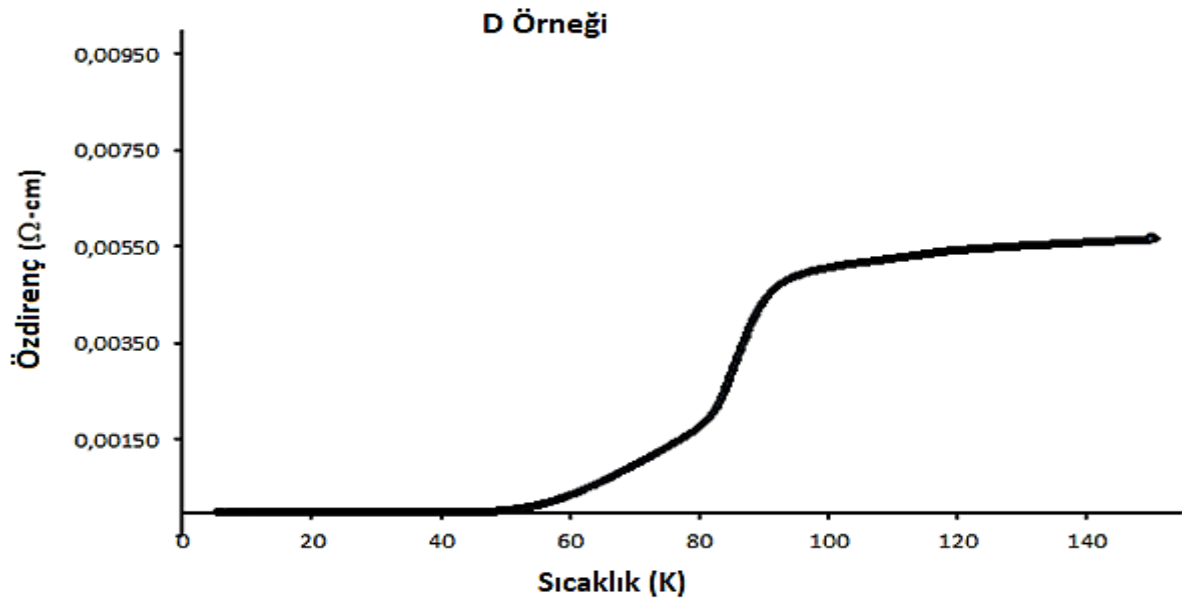


Şekil 4.11. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.90}(\text{SnO})_{0.1}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Grafiği

C örneğine ait öz direnç ölçüm sonucunda elde edilen bulgularda, T_c^{onset} geçiş sıcaklığı değeri 82.8 K sıcaklık olarak elde edilirken, T_c^{offset} sıcaklık değeri ise 35.8 K olarak elde edilmiştir. Bunun yanında, diğer örnekler ile karşılaştırıldığında ΔT_c ise 47 olarak oldukça yüksek bir değer hesaplanmıştır. İyi bilindiği gibi süperiletken sistemlerde T_c^{onset} geçiş sıcaklığı değeri yapı içerisinde oluşan süperiletken fazların oranı hakkında bilgiler verebilirken, T_c^{offset} geçiş sıcaklığı değeri ise genel olarak süperiletkenlik fazların birbirleri ile olan bağlantıları hakkında önemli bilgiler vermektedir. İki geçiş sıcaklığı değeri arasındaki fark ise ΔT_c olarak isimlendirilmektedir. C örneğine ait öz direnç-sıcaklık grafiğinde görüldüğü gibi, yapı içerisinde sodyum elementinin taneler üzerinde olumlu etkiler yaratması ve tek tip safsızlık fazının oluşması ile T_c^{onset} değerinde artış gözlemlenmiştir. Ancak, C örneğine ait XRD analizlerinden daha önce tespit edildiği gibi, bazı bölgelerde Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletkenlik fazı kaybolmuştur. Bi-2212 fazının yoğunluğunun ve bazı bölgelerde şiddetinin azalması ile T_c^{offset} değerinde gözle görülür azalış meydana gelmiştir. Böylece T_c^{onset} ve T_c^{offset} sıcaklık değerlerinde gözle görülür bir fark oluşmuştur. Diğer taraftan, T_c^{onset} ' den T_c^{offset} sıcaklık değerine geçişin keskin olması ise, örneğin homojenliği hakkında bilgi vermektedir. C örneğinde onset ve offset sıcaklıkları arasında yüksek değerde farkın olması ve geçişte dalgalanmaların meydana gelmesi süperiletken faz yoğunluklarının azalması, süperiletken fazlarının birbirleriyle bağlantılarının zayıf olması ve homojen yapının zayıflaması gibi etkilerden meydana gelebilmektedir. Böylece, oluşan bu olumsuz etkiler C örneğinde süperiletkenlik özelliklerini zayıflatmıştır.

4.3.4. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.80}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Bulguları

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.80}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ (D Örneği) Örneğine ait öz direnç sıcaklık grafiği şekil 4.12'de gösterilmektedir. D örneğine ait öz direnç sıcaklık grafiğine bakıldığında, BSCCO süperiletkenlerin genel davranışı olarak, $T_{c^{\text{onset}}}$ değerleri üzerindeki sıcaklık bölgelerinde metalik davranış sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.12. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.80}(\text{SnO})_{0.2}\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Örneğine Ait Elektriksel Direnç (R-T) Ölçümü Grafiği

D örneğine ait öz direnç ölçüm sonucunda elde edilen bulgularda, $T_{c^{\text{onset}}}$ geçiş sıcaklığı değeri 92.6 K sıcaklık olarak elde edilirken, $T_{c^{\text{offset}}}$ sıcaklık değeri ise 50.2 K olarak elde edilmiştir. Bunun yanında, ΔT_c ise 42.4 olarak hesaplanmıştır. Yapı içerisinde 0.25 oranında sodyum ve 0.20 oranında nano boyutta SnO_2 içeren D örneğinin yüzey morfolojisinde oldukça büyük ölçekte plaka benzeri tanelerin varlığı gözlemlenmişti. Sodyum elementinin ve yapı içerisine nano boyutta kalay katkısının olumlu etkisi olarak tanelerin büyümesi sonucu D örneğinde 92.6 ile en yüksek $T_{c^{\text{onset}}}$ geçiş sıcaklığı değeri tespit edilmiştir. Ancak $T_{c^{\text{offset}}}$ sıcaklık değeri göz önünde bulundurulduğunda, D örneğinin offset sıcaklık değeri A ve B örneğine göre azaldığı gözlemlenmektedir. Şekil 4.12'de gözlemlendiği gibi, D örneğinde elektriksel özellikler bakımından diğer örnekler ile karşılaştırıldığında A ve B örneklerine göre daha düşük offset geçiş sıcaklığı ve daha yüksek öz direnç değerleri sergilese de, C örneğine göre daha iyi sonuçlar göstermektedir. D örneğinde faz yapısı analizlerinde bazı bölgelerde Bi-2212 yüksek sıcaklık

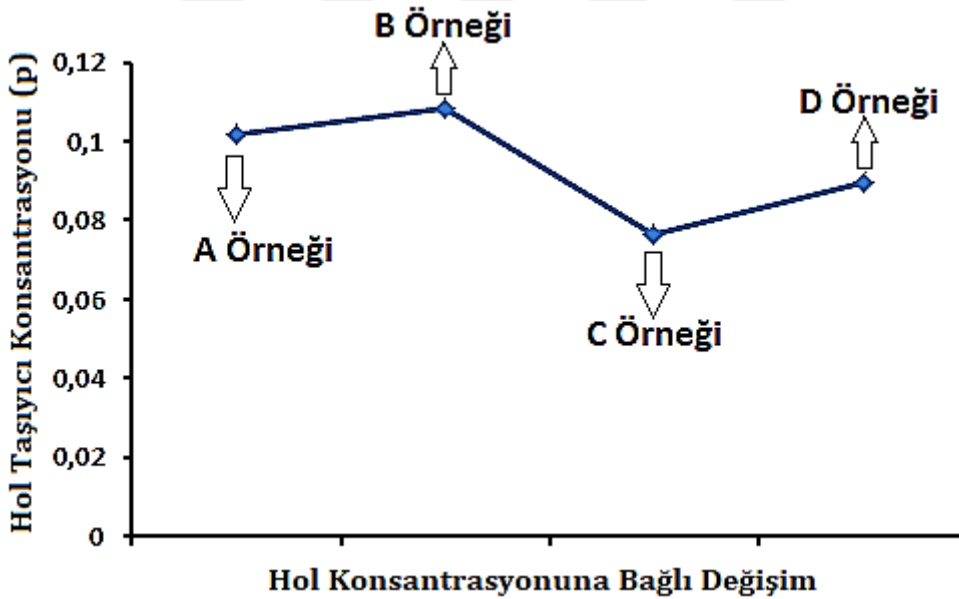
süperiletken fazının kaybolması ve morfolojik yapı analizlerinde büyük ölçekte plaka benzeri tanelerin gelişi güzel yönelimi ile homojenliğin azalması gibi olumsuz etmenler D örneğinde elektriksel özellikleri (offset sıcaklığının azalması gibi) olumsuz yönde etkilemiştir.

4.4. Hol Taşıyıcı Konsantrasyonu Hesaplaması

Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken sisteminde, elektriksel iletimden sorumlu olan Cu-O tabakalarda, Cu iyonları başına hol taşıyıcı konsantrasyonu, P, aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır [154].

$$P = 0.16 - \left[\left(1 - \frac{T_c^{offset}}{T_c^{max}} \right) / 82.6 \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

Denklemden hol taşıyıcı konsantrasyonu, P, değeri hesaplanırken, T_c^{max} Bi-2212 fazı için 85 K [155] ve T_c^{offset} değerleri de örneklerimize ait elektriksel ölçüm sonuçlarından alınmıştır. Tüm örneklerin hol konsantrasyonu grafiği Şekil 4.13'de gösterilmektedir.



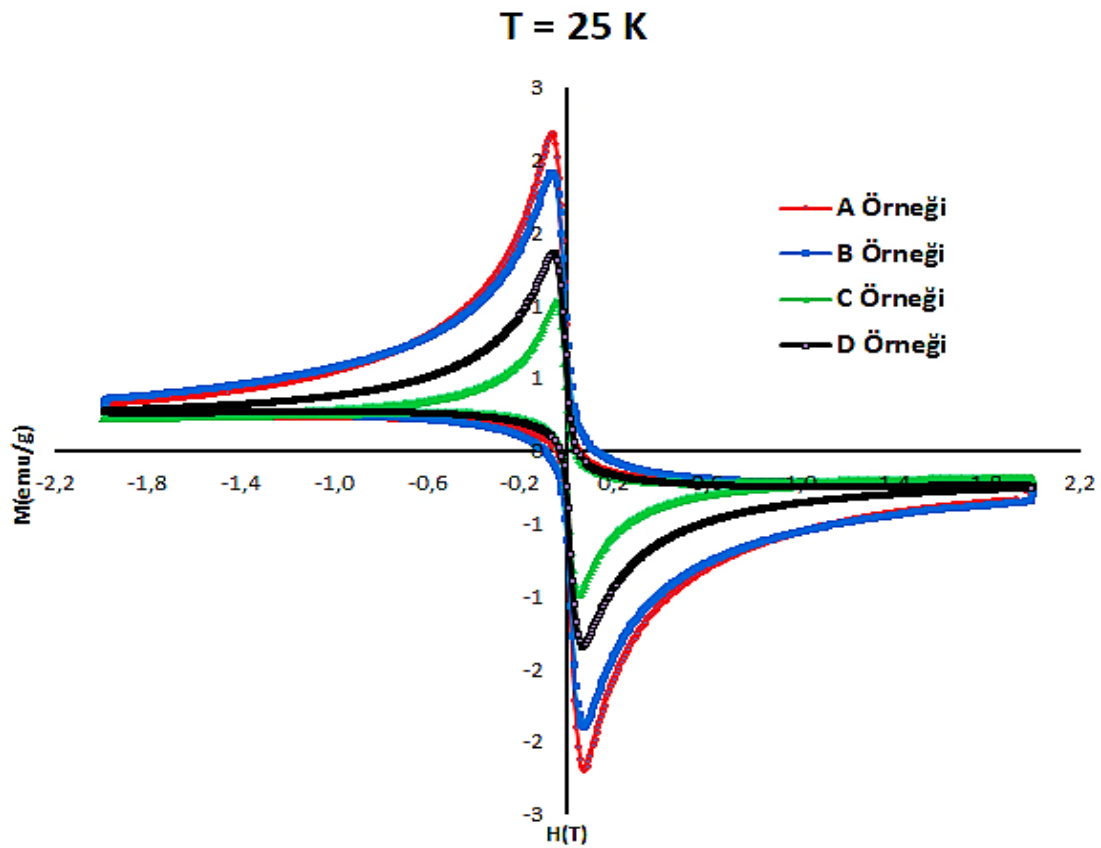
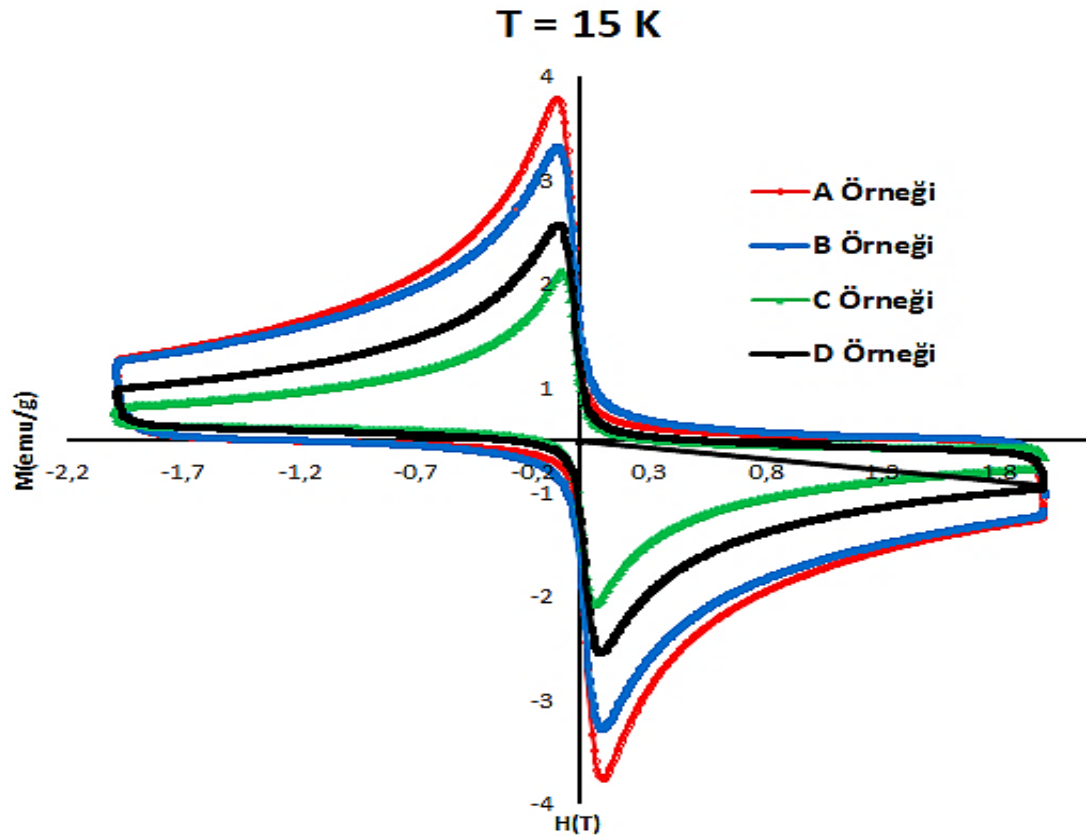
Şekil 4.13. Tüm örneklere ait hol konsantrasyonu

İyi bilindiği gibi, yüksek geçiş sıcaklığına sahip süperiletkenlerde, süperiletkenlik durumunda elektriksel iletimde holler elektronlardan daha etkilidir [156, 157]. Bu nedenle BSCCO sistemin süperiletkenlik özelliklerinde iyileşmeler CuO₂ tabakalarında hol sayılarına bağlıdır. Şekil 4.13'de grafiğe bakıldığında, B örneği diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en yüksek hol konsantrasyonu değerine sahiptir. Böylece Bi-2212 süperiletken sisteminde

stronsiyum sitelere yapılan 0.05 oranında nano boyutta kalay ve bakır oksit sitelere yapılan 0.25 oranında sodyum katkısı bu çalışma da optimum hol konsantrasyonu değerini sağlamıştır.

4.5. Manyetizasyon (M-H) Ölçümü Bulguları

İyi bilindiği gibi, süperiletken malzemelerin süperiletkenlik fazına ulaştığı sıcaklığın belirlenmesi ile süperiletkenlik özellikler hakkında yorum yapılırken, M-H ölçümleri ile elde edilen manyetik histerezis grafikleri ile de örneklerin manyetik özellikleri hakkında önemli bilgiler elde edilmektedir. Bu tez kapsamında üretilen süperiletken örneklerin manyetizasyon ölçümleri ± 2 T manyetik alan altında ve 15 K ve 25 K sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında üretilen süperiletken örneklerin 15 K ve 25 K sıcaklıkta manyetik özelliklerini belirlemek için ± 2 T manyetik alan altında gerçekleştirilen dc manyetik histerezis (M-H) ölçümü sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterilmektedir. İyi bilindiği gibi, M-H ölçümü ile elde edilen histerezis eğrileri altında kalan kapalı alan süperiletken bir malzemenin süperiletkenlik özellikleri tamamen yok edilmesi için dışardan uygulanması gereken enerjiye karşılık gelir. Bu kapalı alanın davranışı uygulanan dış manyetik alan ve sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir. Her iki sıcaklıkta gerçekleştirilen M-H ölçümlerinden görüldüğü gibi, tüm süperiletken örnekler diamanyetik davranış sergilemektedir.



15 K ve 25 K sıcaklıkta elde edilen histerezis grafikleri karşılaştırıldığında, manyetizasyon eğrilerinin artan sıcaklık ile daraldığı görülmektedir. Bu durum yüksek sıcaklık süperiletken malzemede karakteristik bir fenomendir. Diğer taraftan, her iki sıcaklıkta elde edilen M-H ölçümlerinde A ve B örneklerinde bir birlerine benzer histerezis eğrisi oluşmasının yanında daha iyi manyetik özelliklerin göstergesi olarak en geniş kapalı alan B örneği'nde elde edilmiştir.

Süperiletken malzemeler kritik geçiş sıcaklığı altında mükemmel bir diamanyetik davranış sergiler ve uygulanan manyetik alanı dışarılarlar. Diğer taraftan, yüksek geçiş sıcaklığına sahip II. tip süperiletken sistemlere uygulanan dış manyetik alan H_{c1} ve H_{c2} olarak bilinen kritik manyetik alan değerleri arasında bir değerde olduğu zaman ise, manyetik alan süperiletken içerisine kısmi olarak girebilmektedir. Bu durum girdap (vorteks) durumu olarak isimlendirilir ve girdap durumunda malzemede süperiletkenlik özellikler korunmaktadır. Diğer taraftan, girdap durumunda malzeme içerisine kısmi olarak nüfuz eden akı çizgileri hareket ederse, elektrik alan kaynaklı bir direnç oluşturarak süperiletkenlik özellikleri bozabilmektedir. Literatürden bilindiği gibi, akı çizgilerinin hareketlerinden kaynaklı oluşan kayıpları engellemek için süperiletken malzeme içerisinde akı çivileme merkezleri (flux pinning centers) oluşturulmaktadır. Kristal yapı içerisinde akı çivileme merkezleri, süperiletken olmayan fazlar ve mikro yapısal kusurlar ile gerçekleştirilebilmektedir [158]. Süperiletken malzemelerde, yüksek sıcaklıklarda M-H ölçümlerinde daha geniş histerezis alanı elde edebilmek için süperiletken bölgeler arasında akı çivileme merkezlerinin oluşturulması son derece faydalı bir uygulamadır. Ayrıca literatürden bilindiği gibi, M-H grafiklerinde M_R (kalıcı manyetizasyon) değerleri, süperiletken sistem içerisinde var olan çivileme mekezleri hakkında bilgi vermektedir [30]. Manyetizasyon ölçümlerinde, uygulanan manyetik alan sıfır olduğu noktada malzeme içerisinde belirli bir manyetizasyon değeri gözlemlenmektedir. Oluşan bu manyetizasyon değerine M_R değeri denilmektedir. Sıfır alan altında yüksek M_R değerinin gözlenmesi, akı çizgilerinin hareketlerini engelleyici çivileme merkezlerinin yüksek oranda oluşumunu göstermektedir. Diğer taraftan, 15 K ve 25 K sıcaklıkta elde edilen histerezis grafiklerinde elde edilen sonuçlarda, daha yüksek M_R değeri A örneğinde gözlenmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında yapı içerisinde 0.25 oranında sodyum içeren örnekte daha iyi akı çivileme merkezlerinin oluşumu tespit edilmiştir.

Yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerin manyetizasyon performansı iyi bir şekilde kristalleşmiş tanelerin varlığı, birbirleriyle kuvvetli bağlantılı tanelerin oluşumu ve istenilen fazların meydana gelmesine son derece bağlıdır. Literatürden bilindiği gibi, BSCCO süperiletken sisteminde yapı içerisine sodyum elementi girdiği zaman taneler arası bağların kuvvetlenmesi ve daha büyük ölçekte tanelerin oluşması ile sistemin manyetizasyon özelliklerinde gelişme elde edilmektedir [34,35]. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te M-H ölçümlerinde

görüldüğü gibi, sodyum elementinin manyetik özellikler üzerine faydalı bu etkileri ile nano boyutta kalay içermeyen A örneğinde ve $x = 0.05$ oranında nano boyutta kalay içeren B örneğinde diğer örnekler ile karşılaştırıldığında daha geniş histerezis alanı gözlemlenmiştir. A ve B örneklerinden elde edilen XRD ve SEM ölçüm sonuçlarıyla uyumlu olarak daha yüksek oranda süperiletken fazlarının oluşumu, taneler arasında kuvvetli bağların gözlemlenmesi ve optimum oranda akı çivileme merkezlerinin meydana gelmesi ile bu örneklerde daha geniş histerezis alanı elde edilmiştir. Diğer taraftan, $x = 0.05$ değerinden daha yüksek oranlarda katılan örneklerde daha düşük diamanyetik sinyal elde edilmesi, düşük oranda kristalleşme, Bi-2212 faz yoğunluğunun azalması ve taneler arası zayıf bağların oluşumuna bağlıdır.

4.6. Kritik Akım Yoğunluğu Ölçümleri

İyi bilindiği gibi, J_c ile gösterilen kritik akım yoğunluğu, malzeme içerisinde süperiletken faz yapısını bozmadan taşınabilen maksimum akım miktarıdır. Süperiletken malzemede kritik akım yoğunluğunun belirleyici faktörleri Cooper çifti oluşturan elektronların yanında süperiletken taneler arasında bağlantıların kalitesine ve optimum akı çivileme mekanizmasının oluşumu gibi parametrelerdir [135].

Süperiletken malzemelerde, kritik akım yoğunluğu değerini ölçmek için birçok metod bulunmaktadır. Pratik olarak malzeme üzerine uygulanan voltaj farkından akım değeri ölçülerek kritik akım yoğunluğu bulunabilmektedir. Diğer taraftan, teorik olarak da kritik akım yoğunluğu değerlerine ulaşabilmektedir. Teorik olarak geliştirilen kritik akım yoğunluğunu hesaplamaya yönelik formüller aşağıda verilmiştir.

$$J_m = 30 (\Delta M)/d \quad (4.1)$$

$$J_m = 20 (\Delta M)/(a(1-a/3b)) \quad (4.2)$$

$$J_m = 1/(1+(B_a/B_0)^{1/3}) \quad (4.3)$$

Bu formüllerden 4.1 ve 4.2 Bean tarafından geliştirilmiştir. Denklem 4.3 ise Müller tarafından ileri sürülmüştür. Formüllerde;

$$\Delta M = M_+ - M_-$$

d = seramik numunenin çapı ya da tane büyüklüğü

a ve b = dikdörtgen olarak alınan numunenin boyutları

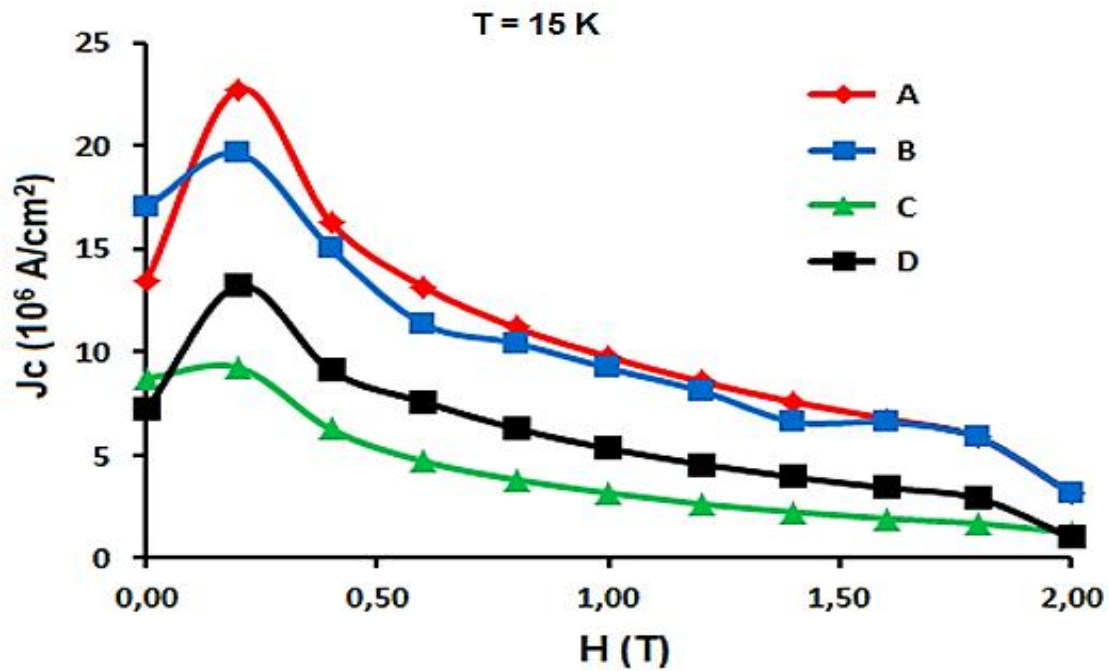
B_a = uygulanan manyetik alan,

B_0 = ilk manyetik alan

olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışmada süperiletken seramiklerin kritik akım yoğunluğu değeri hesaplanırken, formül 4.1'de belirtilen Bean kritik akım yoğunluğu modeli kullanılarak hesaplanmıştır. İyi bilindiği gibi, Bean kritik akım yoğunluğu modelinde, malzemede mıknatıslanma $\Delta M(H,T)$ farkı

süperiletken mazlemenin kritik akım yoğunluğu değeri ile doğrudan orantılıdır [159]. Diğer taraftan, Bean kritik akım modelinde süperiletken malzemelerde taneler arası ya da tanelerin iç bölgesinde kritik akım yoğunluğu hesaplanabilir. Eğer denklem 4.1'de Bean denkleminde d değeri yerine seramik numunenin çapı seçilirse, taneler arası kritik akım yoğunluğu elde edilebilir [8]. Bunun yanında, d değeri yerine tane büyüklüğü değeri yazılırsa, tane içi bölgelerde kritik akım yoğunluğu değeri hesaplanabilir [160]. Bu çalışmada kritik akım yoğunluğu değerleri hesaplanırken d değeri olarak seramik malzemenin çapı seçilerek taneler arası kritik akım yoğunluğu hesaplanmıştır. Şekil 4.16'da 15 K sıcaklıkta uygulanan manyetik alanın bir fonksiyonu olarak hesaplanan kritik akım yoğunluğu gösterilmektedir.



Şekil 4.16. 15 K sıcaklıkta uygulanan manyetik alanın bir fonksiyonu olarak tüm örnekler için hesaplanan kritik akım yoğunluğu

Grafikten görüldüğü gibi, kritik akımın daha yüksek olduğu değerler nano boyutta kalay içermeyen A örneği olmasının yanında en düşük kritik akım yoğunluğu değeri 0,1 oranında nano boyutta kalay elementi ihtiva eden (C örneği) örnekte gözlemlenmiştir. 1,6-2,00 değeri arasında A ve B örneğinin kritik akım yoğunluğu değerleri üst üste binmektedir. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{1,75}\text{Na}_{0,25}\text{O}_y$ başlangıç kompozisyonuna sahip örnekte $x = 0,05$ miktarından daha yüksek oranda nano boyutta kalay katkısı ile örneklerde oluşan safsızlık fazları ve tanelerde geliştiği güzel yönelimin gözlemlenmesi ile kritik akım yoğunluğu değerleri hızlı bir şekilde düşüş göstermiştir. Diğer taraftan, X-ışını ölçüm sonuçlarında katkılı örneklerde SnO_2 yapısına ait herhangi bir pik tespit edilmemiştir. Bu durumda, nano boyutta SnO_2 parçacıkları; etkili akı

çivileme merkezleri oluşturacak ikincil fazların oluşturmak yerine taneler arası bölgelere yerleşmeyi tercih etmişlerdir. Bu davranış nano boyutta SnO₂ katkılı örneklerde manyetizasyon sonuçları üzerine önemli bir gelişim sağlamamıştır. Böylece Şekil 4.16'da görüldüğü gibi yüksek oranda nano boyutta SnO₂ katkılı örneklerde daha düşük değerlerde kritik akım yoğunluğu gözlenmiştir.

Genel olarak süperiletken malzemelerde, kritik akım yoğunluğunun maksimum değeri uygulanan manyetik alanın daha düşük değerlerinde gözlenirken, minimum değeri ise uygulanan manyetik alanın yüksek olduğu değerlerinde elde edilebilir. Bu davranış bu çalışma kapsamında üretilen BSCCO seramik örneklerimizde de gözlemlenmiştir. A, B, C ve D örneklerine ait maksimum ve minimum kritik akım yoğunluğu değerleri Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Örneklere ait kritik akım yoğunluğu değeri

Örnek	$J_{c \min} (H = 0,20 \text{ T}) 10^6 \text{ A/cm}^2$	$J_{c \min} (H = 2 \text{ T}) 10^6 \text{ A/cm}^2$
A Örneği	22,07407	3,14814
B Örneği	19,6222	3,140741
C Örneği	9,241481	1,2444
D Örneği	13,2037	1,0074

İyi bilindiği gibi, süperiletken malzemelerde kritik akım yoğunluğu değeri tanelerin düzensiz yönelimi, tanelerin boyutları, taneler arası meydana gelen boşluklu yapı ve süperiletken taneler arasında yerleşen safsızlık fazları gibi fiziksel parametrelere duyarlı olmasıyla birlikte malzeme hazırlama tekniklerine de son derece bağlıdır. BSCCO sisteminde malzeme hazırlama yöntemi olarak LFZ (Laser Floating Zone) ve EALFZ (Electrically Assisted Laser Floating Zone) gibi yöntemler kullanıldığı zaman, süperiletken tane yönelimlerinin düzenli olarak kontrol edilmesiyle kritik akım yoğunluğu (J_c) değerleri artırılabilir. Sotelo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, LFZ metodu ile üretilen Bi-2212 süperiletkenler üzerine gümüş katkısının etkisi araştırıldı. Elde edilen bulgularda LFZ metodu ile üretilen süperiletken malzemelerin tipik davranışı olan düzgün bir şekilde hizalı taneler elde edilmiştir. Ayrıca gümüş elementinin taneler arasına yerleşerek tanelerin birbirleriyle bağlantılarını kuvvetlendirmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ile kritik akım yoğunluğu değerinde artış gözlemlenmiştir [161]. Diğer taraftan, sinterleme ve presleme gibi süreçleri içeren katı hal tepkime yöntemiyle de üretilen BSCCO süperiletken malzemelerde de mikro yapısal ve fiziksel

özellikler üzerinde önemli gelişmeler elde edilmiştir. Tepe ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise, katı hal tepkime yöntemi ile üretilen Bi-2223 süperiletken sistemine farklı değerlerde pres uygulayarak sistem üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgularda maksimum değerde pres uygulanan örnekte Bi-2223 fazının yoğunluğunun artması ve taneciksel özellikler üzerinde elde edilen gelişmeler ile yüksek değerde kritik akım yoğunluğu değeri gözlemlenmiştir [162]. Literatürden de görüldüğü gibi katı hal tepkime yönteminde sinterleme veya presleme aşamasında optimum değerlerin elde edilmesi ile de kritik akım yoğunluğunda önemli gelişmeler elde edilmiştir. Bu çalışmada, katı hal tepkime yöntemi ile üretilen örneklerimizin Tablo 2'de maksimum ve minimum kritik akım yoğunluğu değerlerine bakıldığı zaman, X -ışını faz analizleri ve mikro yapısal analizleri sonucu gözlemlenen gelişmeler sonucunda, yüksek sıcaklık fazlarının gelişmesi, etkili çivileme merkezlerinin oluşması ve tane içi ve taneler arası kuvvetli bağların oluşumu ile katkısız ve $x = 0,05$ oranında nano boyutta kalay içeren örneklerde yüksek değerde kritik akım yoğunluğu elde edilmiştir.

4.7. Mikro Sertlik Ölçümü

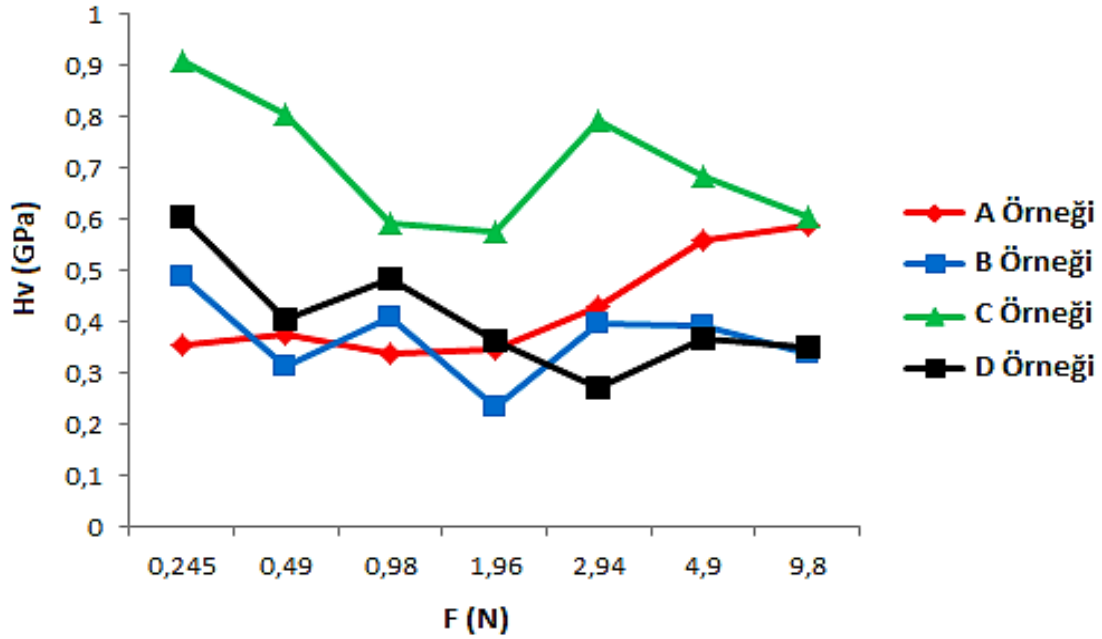
Sıfır elektriksel dirence ve iyi bir diyamanyetik özelliklere sahip süperiletken malzemelerin teknolojik uygulamalarda kullanılabilmesi için temel süperiletkenlik özelliklerinin yanında mekaniksel özelliklerinin de geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle birçok çalışma süperiletkenlik özellikler yanında mekaniksel özellikleri araştırmaya yönelik gerçekleştirilmektedir. Tez çalışması kapsamında elde ettiğimiz süperiletken örneklerimizin mekaniksel özelliklerini araştırmak için Vickers Mikro sertlik ölçüm yöntemi kullanıldı.

Süperiletken örnekler üzerine 0.245, 0.490, 0.980, 1.960, 2.940, 4.960 ve 9.810 N değerinde kuvvetleri 20 saniye boyunca uygulanarak aşağıdaki formül yardımı ile Vickers mikro sertlik değerleri elde edildi [163].

$$H_v = 1854.4 (P/d^2) \text{ (GPa)} \quad (1)$$

Burada P Newton biriminde uygulanan yüküdür ve d μm 'de çentik izinin çap uzunluğudur.

Şekil 4.17'de uygulanan yükün bir fonksiyonu olarak A, B, C ve D süperiletken örneklere ait mikro sertlik grafiği gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, farklı nano boyutta kalay katkılama oranı ile örneklerin mikro sertlik sonuçları farklı davranış sergilemektedir.



Şekil 4.17. Tüm örneklere ait mikro sertlik ölçüm sonuçları

Bilindiği gibi, süperiletken seramiklerde mikro sertlik davranışı, uygulanan yüke karşı malzeme yüzeyinin gösterdiği direncin ölçümüdür ve örneklerin mikro yapısı ve mekaniksel özellikleri arasında doğrudan bir ilişki vardır. Özellikle tane boyutları, taneler arasında meydana gelen boşluklar ya da tane sınırlarının sayısı malzemede mikro sertlik değerlerini doğrudan etkilemektedir [164, 165].

Taneciksel yapıya sahip süperiletkenler de 2 N' dan daha düşük değerlerde uygulanan yük sadece yüzeye ait bilgiler verirken, 2 N gibi yüksek kuvvet değerlerinden sonra uygulanan kuvvet sonucunda elde edilen davranışlar taneler arasındaki yapılar, boşluklar ve tanelerin dizilimi gibi parametreleri içeren malzemenin iç yapısı hakkında bilgi vermektedir. Diğer taraftan, Özkurt tarafından yapılan çalışmada sodyum katkılı Bi-2212 süperiletken sisteminin mekaniksel özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen bulgularda, plaka benzeri taneler arasında bağlantıların gelişmesi ile en iyi mekaniksel özellikler maksimum oranda sodyum katkılı örnekte elde edilmiştir [166]. Bunun yanında Awad ve arkadaşları Bi-2223 süperiletken sistemine nano boyutta kalay elementi ekleyerek mekaniksel özellikleri araştırmışlardır. Yapılan çalışmada çalışmada düşük oranlarda (0.4 oranına kadar artan katkılar) kalay içeren örneklerde safsızlık fazlarının azalması ve taneler arası bağlantıların gelişmesi ile daha iyi mekaniksel özellikler gözlenmiştir [167]. Örneklere ait mikro sertlik grafiği sonuçlarında uygulanan tüm yüklerde en yüksek sertlik değeri C örneğinde elde edilmiştir. Literatürde bu sonuçlar göz önüne alındığı zaman örneklerimizde sodyum ve nano boyutta kalay içeren

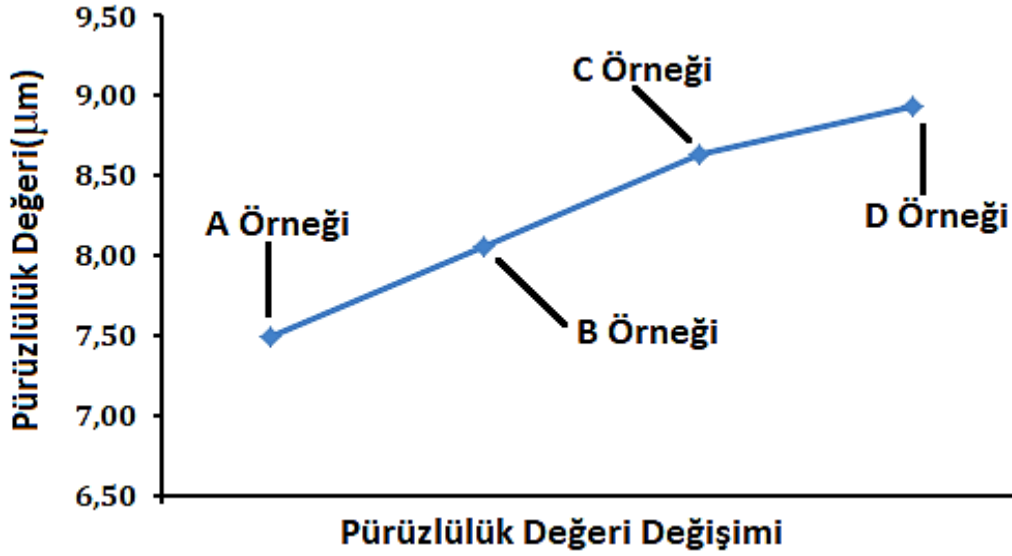
çalışmalara uygun olarak mekaniksel sonuçlar tespit edilmiştir. Bilindiği gibi, BSCCO süperiletken sisteminde sodyum elementi yapı içerisine girdiği zaman, tane boyutlarını ve tanelerin birleşme enerjileri üzerinde gelişmeler sağlayabilmektedir. Ancak bazı durumlarda büyük ölçekte taneler arasında oluşabilen safsızlık fazları kristal kusurlar ve morfolojik yapıda tane sınırları arasında mikro çatlaklar oluşturabilmektedir [168]. Malzeme içerisinde meydana gelen bu olumsuzluklar BSCCO seramiklerde mekaniksel özellikleri zayıflatabilmektedir. XRD sonuçlarında gözlemlendiği gibi C örneğinde Bi-2212 faz yoğunluğunun azalırken, mekaniksel özellikleri üzerinde olumlu gelişme olan safsızlık fazlarında azalmaktadır. C örneğinde safsızlık fazlarının azalması sonucu kristal kusurlar gibi mekaniksel özellikleri zayıflatıcı unsurların azalması ile mekaniksel özellikler gelişmiştir. Ayrıca, diğer örneklerde X-ışını ölçüm sonuçlarında tespit edilen safsızlık fazları kristal kusurlar oluşturarak tane sınırları arasında zayıf bağlantılara sebep olabilmektedir. Bu durum örneklerde mekaniksel özelliklerin zayıflamasına sebep olabilmektedir.

B örneğinde X-ışını ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, A ve D örneği ile karşılaştırıldığında, XRD grafiğinde bazı noktalarda safsızlık fazlarının şiddeti ve yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. B örneğinde elde edilen bu gelişmeler sonucu mikro sertlik ölçümlerinde uygulanan daha yüksek kuvvetlerde, örneğin daha iç bölgelerde taneler arası bağlantıların azda olsa geliştiğinin göstergesi olarak mikro sertlik değerlerinde bir miktar artış gözlemlenmiştir. Ancak diğer örnekler ile karşılaştırıldığı zaman en yüksek sertlik değeri C örneğinde elde edilmiştir.

4.8. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Mekaniksel özellikler malzemelerin kristal yapıları ve tane özellikleri kadar yüzey şartlarına bağlıdır. Özellikle BSCCO süperiletken malzemelerde, sinterleme işlemi sürecinde ısı işlemin uzun periyotta ve yüksek sıcaklıkta uygulanması ile örneklerin yüzeyinde kısmi erimeler, deformasyonlar ve çekmeler meydana gelmektedir. Literatürden bilindiği gibi, lityum ve sodyum gibi alkali elementler BSCCO kristal yapı içerisine girdiği zaman faz oluşum sıcaklığını düşürmektedir [26, 60]. Böylece bu elementler sistem içerisine katıldığı zaman kristalleşme sıcaklığının daha düşük sıcaklıklara inmesi ile yüzeyde meydana gelen olumsuzluklar azaltılabilir.

İyi bilindiği gibi, Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletkenlerin yüzey bölgesi ya da daha iç kısımları test edildiğinde anizotropik doğasına bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilebilir. Örneklerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları Şekil 4.18'de grafikte gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Pürüzlülük ölçüm sonuçları

Pürüzlülük ölçüm sonuçlarından elde edilen grafikte, pürüzlülük değerleri nano boyutta kalay ve sodyum ikili katkılamasıyla giderek artmıştır. Bi-2212 sistemi içerisinde 0.25 oranında sodyumun varlığı ve stronsiyum sitelere yapılan nano boyutta SnO₂ katkısı Bi-2212 faz oluşumunu etkileyerek pürüzlülük değerini arttırmıştır. En yüksek pürüzlülük değeri 0.25 oranında sodyumun varlığının yanında stronsiyum sitelere 0.2 oranında nano boyutta kalay katkılanan örnekte gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda en iyi yüzey özellikleri yapı içerisinde nano boyutta kalay içermeyen A örneğinde elde edilmiştir.

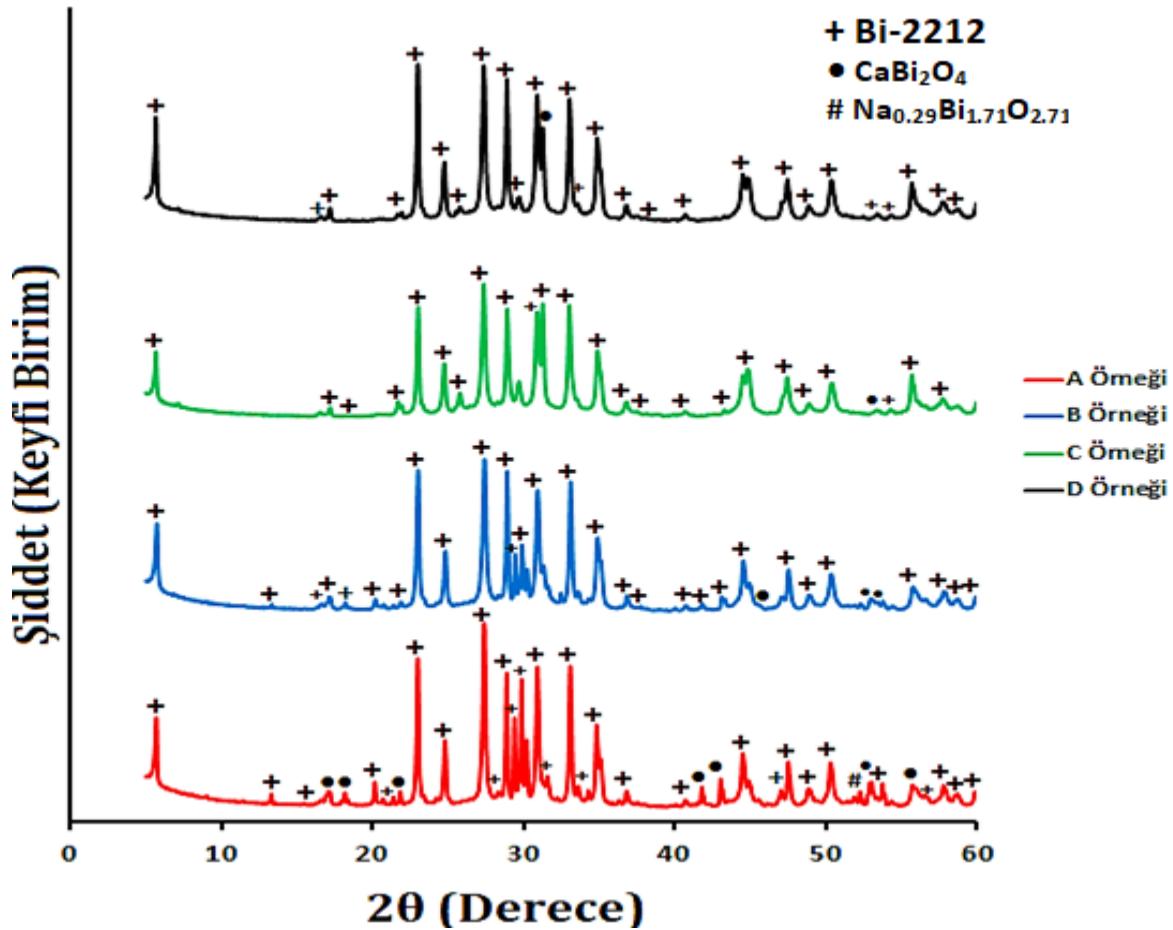
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}(\text{SnO}_2)_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20$) kompozisyonunda seramik süperiletkenler katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi ve malzemelerin fiziksel, manyetik ve mekaniksel özellikleri çeşitli ölçümler vasıtasıyla araştırıldı. X-ışını Kırınım (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Elektriksel Direnç (R-T), Manyetizasyon (M-H), Kritik Akım yoğunluğu ölçümleri ile fiziksel ve manyetik özellikler analiz edilirken mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ile mekaniksel özellikler analiz edildi.

5.2. X-ışını Kırınım Ölçümü Sonuçları

Tüm örneklere ait X-ışını kırınım (XRD) ölçümü sonuçları Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Tüm örneklere ait X-ışını kırınım deseni

Şekil 5.1'de X-ışını kırınım desenleri incelendiğinde bazı safsızlık fazlarının oluşumunun yanında tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazıdır. Diğer taraftan, bizmut tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken örneklerin karakteristik pikleri tüm örneklerde $2\theta \approx 5.7^\circ; 24.8^\circ; 29.1^\circ$ gibi noktalarda görülmektedir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında daha az safsızlık fazının ve daha yüksek oranda Bi-2212 yüksek sıcaklık fazının oluşumu B örneğinde gözlemlenmiştir. C örneğinde $2\theta \approx 13.45^\circ; 20.182^\circ; ve 20.763^\circ$ gibi noktalarda Bi-2212 yüksek sıcaklık fazları kaybolmaktadır. C örneğinde bazı noktalarda Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazlarının kaybolması, sistemin Bi-2212 faz yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Bu davranış Şekil 5.1'de görüldüğü gibi, D örneğinde de devam etmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, B örneğinde daha iyi faz kararlılığı gözlemlenmiştir.

Örneklere ait örgü parametre değerleri Tablo 3'de gösterilmektedir.

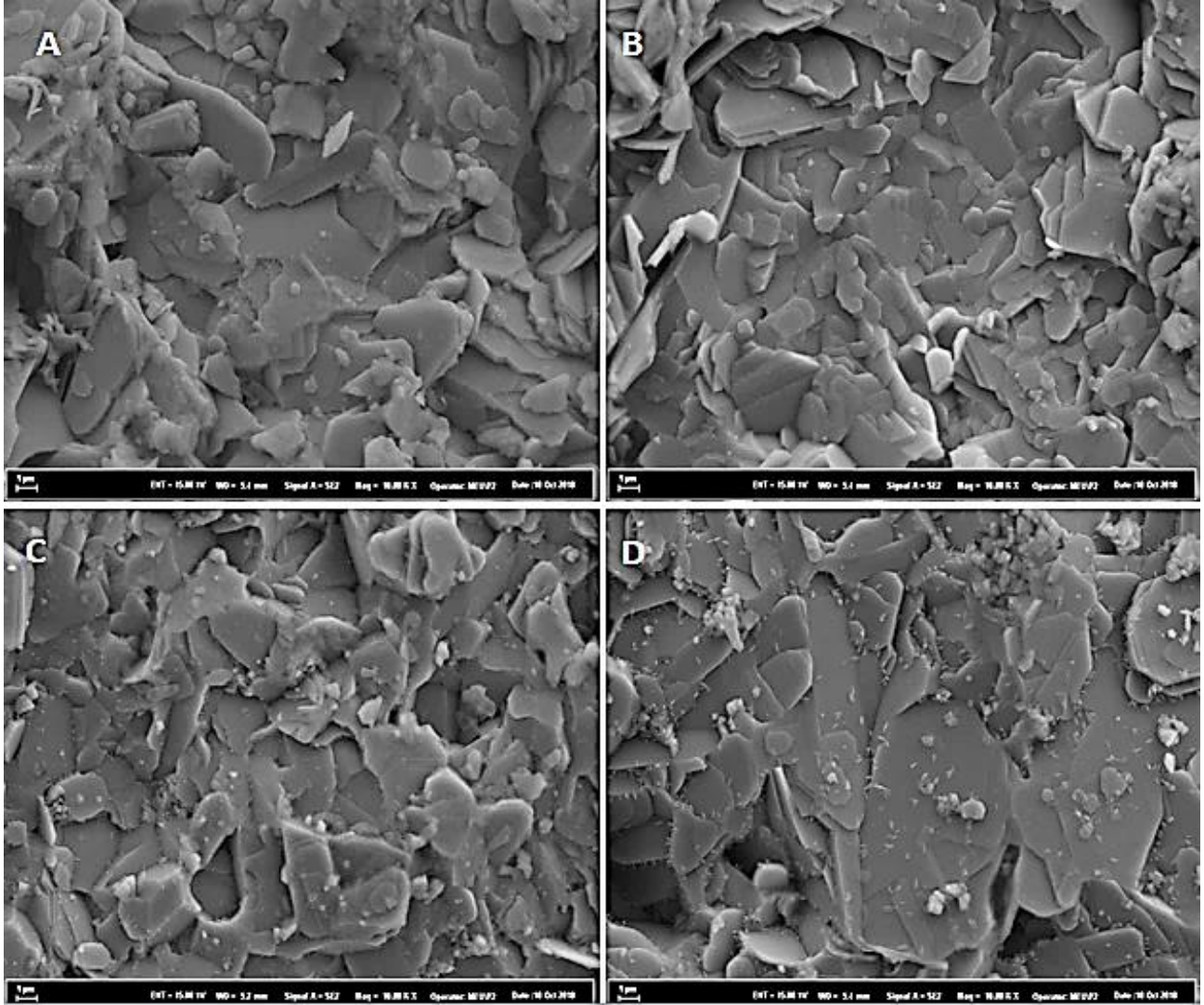
Tablo 3. A, B, C ve D örneklerine ait örgü parametre değerleri

Örnek	a (Å)	b (Å)	c (Å)
A Örneği	3,8247	3,8247	30,9014
B Örneği	3,8260	3,8260	30,8909
C Örneği	3,8314	3,8314	30,8750
D Örneği	3,8305	3,8305	30,8805

Tablo 3'de örgü parametre değerlerine bakıldığında tüm örneklerin tetragonal yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanında, elde edilen örgü parametre değerleri literatürde Bi-2212 süperiletken fazının değerleri ile uyumludur. Ancak yapı içerisine farklı oranlarda katılan nano boyutta SnO₂ Bi-2212 kristal yapısının içerisine girmediğinin göstergesi olarak, örneklerin örgü parametre değerleri üzerinde önemli değişiklikler gerçekleştirilmemiştir.

5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu Ölçümü Sonuçları

Bu çalışmada üretilen tüm örneklerin taramalı elektorn mikroskobu ölçüm sonucunda elde edilen yüzey görüntüleri Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

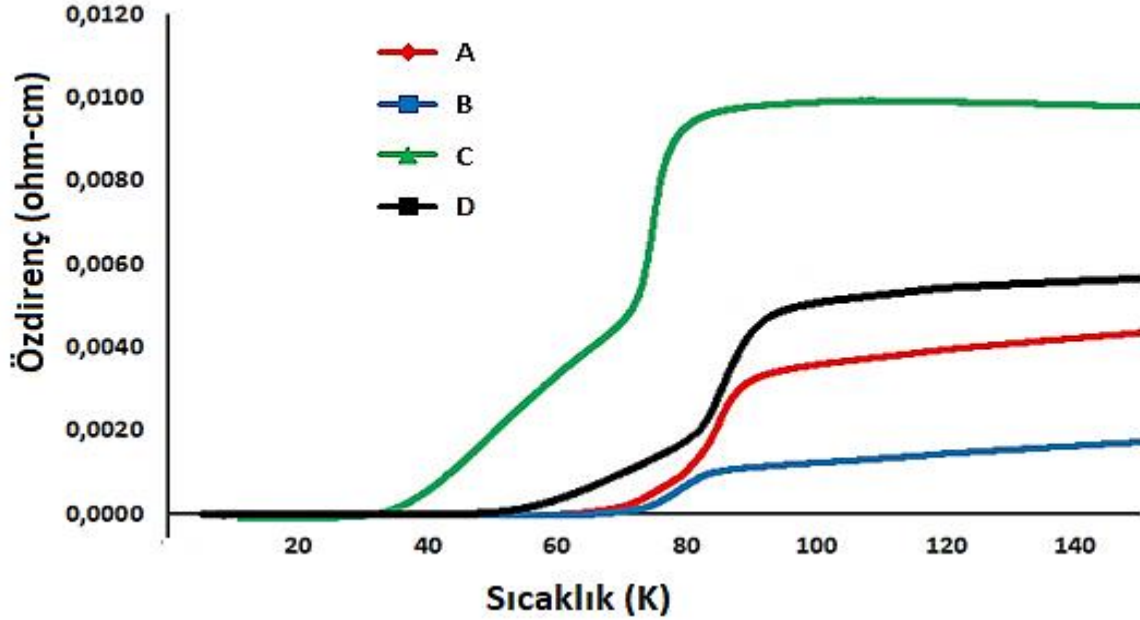


Şekil 5.2. A, B, C ve D örneklerinin SEM görüntüleri

Şekil 5.2’de SEM görüntülerinde tüm örneklerin morfolojik yapısında Bi-2212 fazının karakteristik özelliği olan plaka benzeri taneler gözlenmektedir. Tüm örneklerde geniş çapta plaka benzeri tanelerin oluşumu sodyum elementinin yapı içerisine girdiğinde sağladığı pozitif etkinin bir göstergesidir. Ancak bazı durumlarda örneklerin morfolojik yapısında, büyük ölçekte plaka benzeri tanelerin varlığının yanında, süperiletken olmayan safsızlık fazlarını işaret eden daha koyu bölgeler oluşabilmektedir. Bu durumda elektriksel özelliklerin bozulmasına neden olacak zayıf bağlı taneler meydana gelebilmektedir. D örneğine ait SEM görüntülerine bakıldığında, zayıf elektriksel özelliklerin kanıtı olarak bazı bölgelerde koyu renkli oluşumlar gözlemlenebilmektedir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında daha az tane sınırları ve taneler arasında daha düşük seviyede açıkların oluşumu gelişen elektriksel özelliklerin gelişebileceğinin göstergesi olarak B örneğinde gözlemlenmiştir.

5.4. Elektriksel Özdirenç Ölçümü Sonuçları

Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilen tüm örneklerin özdirenç sıcaklık grafiği Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Tüm örnekler süperiletkenlik geçiş sıcaklığına kadar metalik davranış sergilemektedir.



Şekil 5.3. A, B, C ve D örneklerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilen özdirenç sıcaklık grafiği

Tablo 4'de tüm örneklerin $T_{c,onset}$, $T_{c,offset}$ ve ΔT_c değerleri gösterilirken Tablo 5'de tüm örneklerin oda sıcaklığına yakın bir değer olan 150 K sıcaklıkta özdirenç değerleri listelenmektedir.

Tablo 4. Örneklerin süperiletkenlik geçiş sıcaklığı değerleri

Örnekler	$T_{c,onset}$ (K)	$T_{c,offset}$ (K)	ΔT_c (K)
A	89.08	61.4	27.68
B	84.6	66.3	18.3
C	82.8	35.8	47
D	92.6	50.2	42.4

Tablo 5. Örneklerin 150 K sıcaklıkta öz direnç değerleri

Örnek	150 K'de Özdirenç Değeri (mohm-cm)
A Örneği	4.1
B Örneği	1.75
C Örneği	9.8
D Örneği	5.69

Tablo 4'de geçiş sıcaklık değerleri incelendiğinde en yüksek offset süperiletkenlik geçiş sıcaklığı 66.3 K ile B örneğinde elde edilmiştir. İyi bilindiği gibi, $T_{c,onset}$ ve $T_{c,offset}$ sıcaklık değerleri arasındaki fark ΔT_c değeri süperiletken sistemin faz yapısının homojenliği hakkında bilgi vermektedir. En düşük ΔT_c değeri 18.3 K ile daha homojen faz yapısına sahip olan B örneğinde elde edilmiştir. Diğer taraftan, Tablo 5'de öz direnç değerlerine bakıldığı zaman en düşük öz direnç değeri 1.75 mohm-cm değeri ile B örneğinde gözlenmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında en iyi elektriksel özellikler B örneğinde elde edilmiştir.

5.5. Manyetizasyon Ölçümü Sonuçları

10 K ve 25 K gibi iki farklı sıcaklıkta ± 2 T aralığında uygulanan manyetik alanda elde edilen manyetik-histeresis eğrileri sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4. 15'de gösterilmiştir. İki farklı sıcaklıkta yapı içerisinde $x = 0.05$ oranında nano boyutta kalay katkısı içeren B Örneği'nde daha geniş manyetizasyon eğrisi gözlenmiştir. A örneğinde ise büyük ölçekte plaka benzeri taneler arasında kuvvetli bağların oluşumu ve daha yüksek değerde M_R değeri elde edilmesi ile daha iyi akı çivileme merkezleri meydana gelmiştir. Diğer taraftan, elde edilen bulgularda en yüksek geçiş sıcaklığına sahip $x = 0.05$ oranında nano boyutta kalay katkısı içeren B örneğinde, A örneğine göre daha düşük M_R değeri gözlemlense de daha geniş histerzis alanı elde edilmiştir. Böylece bu çalışmada diğer örnekler ile karşılaştırıldığında daha iyi diyamanyetik davranış A ve B örneğinde gözlenmiştir.

Örneklerde krirtik akım yoğunluğu, manyetizasyon ölçüm sonuçları ile elde edilen bulgulara bağımlı olarak Bean kritik akım modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Kritik akım yoğunluğu ölçümü sonuçlarında plaka benzeri tanelerin bir birleriyle kuvvetli bağlanması ve kristal yapı içerisinde oluşan akı çivileme kuvvetlerinin katkısı ile A örneğinde daha yüksek kritik akım yoğunluğu elde edilmiştir. Sonuç olarak A Örneği'nde daha iyi manyetizasyon

sonuçlarının elde edilmesiyle beraber en iyi kritik akım yoğunluğu değerleri de gözlemlenmiştir.

5.6. Mekaniksel Ölçüm Sonuçları

Süperiletken sistemlerin endüstriyel ve teknolojik hayatta kullanılması için fiziksel ve manyetik özelliklerin geliştirilmesinin yanında tel ya da kablo haline getirildiği zaman fiziksel zorlanmalara dayanabilmesi için mekaniksel özellikleri de geliştirilmelidir. Mekaniksel özellikleri incelemek için mikro sertlik ölçümleri kullanılırken, yüzey analizi için pürüzlülük ölçümü gerçekleştirildi. Şekil 4.17’de süperiletken örneklerin mekaniksel özelliklerinin sonucu olan mikro sertlik grafiği gösterilmiştir. Fiziksel ve manyetik ölçüm sonuçlarında elde edilen bulgularda, B örneği daha daha iyi süperiletkenlik özelliği gösterirken, mekanik özellikler yapı içerisinde kristal kusurlarda azalmaların gözlemlenmesi ile C örneğinde gelişmiştir. Diğer taraftan, pürüzlülük özelliklerinin ölçüm sonuçları Şekil 4.18’de gerçekleştirilmiştir. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında, en yüksek pürüzlülük değeri $x = 0.2$ oranında nano boyutta kalay katkısını içeren D örneğinde elde edilmiştir.

5.7. Öneriler

Bu çalışma kapsamında, $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}(\text{SnO}_2)_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ ($x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20$) kompozisyonunda farklı katkılama oranları ile seramik örnekler katı hal tepkime yöntemi ile hazırlanarak fiziksel, manyetik ve mekaniksel özellikleri araştırıldı. Üretilen süperiletken örnekler X-ışını ölçümleri, taramalı elektron mikroskobu ölçümleri, özdirenç sıcaklık ölçümleri, manyetizasyon ölçümleri, mikrosertlik ve pürüzlülük ölçümleri kullanılarak analiz edildi. Ölçüm sonuçlarından elde edilen bulgularda, stronsiyum sitelere 0.05 oranında nano boyutta kalay katkılı örnekte en iyi süperiletken sonuçlar elde edilmiştir. Diğer taraftan, en iyi mekaniksel sonuçlar ise 0.1 oranında nano boyutta kalay katkılı örnekte gözlemlenmiştir.

Tez çalışmamız, sodyum ve nano boyutta kalay katkılı BSSCO süperiletken sistemin süperiletkenlik ve mekaniksel özellikleri üzerinde elde ettiğimiz gelişmeler ile süperiletken sistemler üzerinde çalışan araştırmacılara yeni fikirler sağlayacaktır. Bundan sonraki çalışmalarda nano boyutta kalay katkısı Bi-2212 süperiletken sistemi içerisinde farklı sitelere yapılabilineceği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Bayraç, H. N., Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğalgaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **2009**, 10, (1), 115-142.
- [2]. Bayraç, H. N., Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* **2009** 11, (2), 229-259.
- [3]. Öztürk, G. A., Pb, Ag ve Sb Katkı Atomlarıyla Hazırlanmış YBaCuO Süperiletken Sistemlerin Elektriksel Parametrelerinin Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010.
- [4]. Çalış M., BSCCO Süperiletkenler Üzerine V-Na Katkısının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2013.
- [5]. Ekizer, E.A., $Y_3Ba_5Cu_8O_x$ süperiletken bileşiğinin yapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2013.
- [6]. Yılmaz M., $Y_{0.6}Gd_{0.4}Ba_{2-x}Nb_xCu_3O_{7-δ}$ Ve $Y_{0.6}Gd_{0.4}Ba_2Cu_{3-x}Nb_xO_{7-δ}$ Süperiletkenlerinin Yapısal ve Süperiletkenlik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2008.
- [7]. Yaşar, N. XRD Analiz Yöntemleriyle Bi-2223 Süperiletken Seramik Yapıların Faz Değişimlerinin Katkı Atomları ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.
- [8]. Özkurt, B., Nickel substitution effect on superconducting properties of Bi-2212 ceramics. *Journal of Alloys and Compounds* **2013**, 579, (5), 132-137,
- [9]. Özkurt, B.; Madre, M.A.; Sotelo, A.; Diez, J.C., Modification of physical and structural properties of $Bi_{1.8}Pb_{0.4}Sr_2Ca_{2.2}Cu_3O_y$ ceramics induced by annealing. *Physica B*, **2013**, 426, (1) 85-89.
- [10]. Durmuş, H., Katıhal Reaksiyon Yöntemiyle ve Farklı Katkı Atomlarıyla MgB_2 Süperiletken Seramiklerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2011.
- [11]. Kittel, C., *Katı Hal Fiziğine Giriş*. 5th ed”, Gülsen Önengüt, Ankara, 269s., (2014).
- [12]. Bardeen, J.; Cooper, N.; Schriber, J. R., Theory of Superconductivity. *Physical Review* **1957**,108, (8), 1175-1204.
- [13]. Gün, E., LFZ Tekniği İle Üretilen Krom Katkılı $Bi_2Sr_2Ca_1Cu_{2-x}Cr_xO_y$ Süperiletkenlerinin Fiziksel, Elektriksel ve Manyetik Özellikleri, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin. 2017.
- [14]. Kır, E., (2017), Bi-2212 Faz Oluşumu ve Tanecik Boyutu Üzerine Potasyum- Sodyum (K-Na) İkili Katkılamının Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [15]. Bednorz, J. G.; Müller, K. A., Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system. *Zeitschrift für Physik B Condensed Matter* **1986**, 64, (2), 189-193.
- [16]. Huebener, P. R., *Conductors, Semiconductors, Superconductors An Introduction to Solid State Physics*.
- [17]. Wu, M. K.; Ashburn, J. R.; Torng, C. J.; Hor, P. H.; Meng, R. L.; Gao, L.; Huang, Z. J.; Wang, Y. Q.; Chu C. W., Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure, *Physical Review Letters* **1987**, 58, (9), 908-910.
- [18]. Sheng, Z. Z.; Hermann A.; Ali, E.I.; Almasan, C.; Estrada, J.; Datta, T.; Matson R.J., (1988), Superconductivity at 90 K in the Tl-Ba-Cu-O system. *Physical Review Letters* **1988**, 60, (10), 937-940.
- [19]. Sheng, Z. Z.; Hermann A. M., Bulk superconductivity at 120 K in the Tl-Ca/Ba-Cu-O system. *Nature* **1988**, 332, (6160), 138-139.

- [20]. Valeriánová, M., Preparation and properties of the mercury based thin films of very high Tc superconductors and their possible application in cryoelectronics, Institute of Electrical Engineering Slovak Academy of Sciences, Doktora Tezi, Bratislava, 2007.
- [21]. Putilin, N. S.; Antipov, E. V.; Marezio M., Superconductivity above 120 K in $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ *Physica C: Superconductivity*, **1993**, 212, (3-4), 266-270.
- [22]. Schilling, A.; Cantoni, M.; Guo, J. D.; Ott, H. R., Superconductivity above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O system. *Nature*, **1993**, 363, 56 - 58.
- [23]. Aksu, E., Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerde Fiziksel Özellikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [24]. Özçelik, B.; Nane, O.; Sotelo, A.; Amaveda, H.; Madre, M. A., Effect of Na substitution and Ag addition on the superconducting properties of Bi-2212 textured materials. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **2017**, 28, (8), 6278-6283.
- [25]. Özkurt, B.; Madre, M. A.; Sotelo A.; Yazıcı E.; Özkurt B., Relationship Between Growth Speed, Microstructure, Mechanical and Electrical Properties in Bi-2212/Ag Textured Composites. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2012**, 5, (4), 799-804.
- [26]. Bilgili, O.; Selamet, Y.; Kocabaş K.; Effects of Li Substitution in Bi-2223 Superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2008**, 21, (8), 439-449.
- [27]. Sotelo, A.; Mora, M.; Madre, M. A.; Diez, J. C.; Angurel L. A.; De la Fuente G. F. Ag distribution in thick Bi-2212 floating zone textured rods. *Journal of the European Ceramic Society* **2005**, 25, (12), 2947-2950.
- [28]. Michel C.; Hervieu M., Borel M. M., Grandin A., Deslandes F., Provost J., Raveau B., Superconductivity in the Bi - Sr - Cu - O system. *Zeitschrift für Physik B Condensed Matter* **1987**, 68, (4), 421-423.
- [29]. Maeda, H.; Tanaka, Y.; Fukutomi, M.; Asano, T. A New High-Tc Oxide Superconductor without a Rare Earth Element. *Japanese Journal of Applied Physics* **1988**, 27, (2), 209-210.
- [30]. Özkurt, B.; Madre, M. A.; Sotelo, A.; Diez, J. C. Effect Of Metallic Ag on the properties of Bi-2212 ceramic superconductors *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2013**, 24, (9), 3344-3351.
- [31]. Öztürk, R., (2010), Bi Yerine Ce katkılmasının $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+y}$ Sisteminin Süperiletken Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [32]. Rahman, A.; Rahaman, Z.; Samsuddoha, N., A review on cuprate based superconducting materials including characteristics and applications. *American Journal of Physics and Applications* **2015**, 3, (2), 39-56.
- [33]. Özkurt, B., (2007), Nd ve Gd Katkılı BSCCO Cam Samik Süperiletken Sistemin Fiziksel Ve İletim Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [34]. Özkurt, B., (2013), Enhancement in superconducting transition temperature and J_c values in Na-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{xNa}_x\text{O}_y$ superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2013**, 24, (7), 2426-24314.
- [35]. Özkurt, B., (2015), A Significant Enhancement in J_c Values Through Excessive Na Doping in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Na}_x\text{O}_y$ Superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2015**, 28, (5), 1501-1506.
- [36]. Satyavathi, S.; Muralidhar, M.; Nandakishore, K.; Babu, K. H.; Pena O.; Sergent, M.; Beniere F., Effect of Annealing on the Superconducting Properties of $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$ ($0.0 < x < 1.0$) System, *Applied Superconductivity* **1994**, 3, (4), 187-195.

- [37]. Awana, V. P. S.; Agarwal, S. K.; Ray, R.; Gupta, S., Narlikar A.V, Superconductivity and resistivity studies in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{M}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ (M=Eu, Dy, Tm and $0 \leq x \leq 0.6$), *Physica C: Superconductivity* **1992**, 191, (1), 43–51.
- [38]. Presland, M. R.; Tallon, J. L., Buckley, R. G.; Liu, R. S.; Flower, N.E., General trends in oxygen stoichiometry effects on T_c in Bi and Tl superconductors. *Physica C: Superconductivity* **1991**, 176, (1), 95–105.
- [39]. Terzioglu, C.; Yilmazlar, M.; Öztürk, O.; Yanmaz, E. Structural and physical properties of Sm-doped $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductors. *Physica C: Superconductivity* **2005**, 423, (3), 119–126.
- [40]. Aksan, M. A.; Yakıncı, M. E., Effect of Mo substitution on the structural and transport properties of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mo}_x\text{O}_{10+y}$ system. *Journal of Alloys and Compound* **2007**, 433, (1), 22–32.
- [41]. Sato, R.; Komatsu, T.; Matusita K., Termal Stability and Microstructure of Bi-Sr-Ca-Cu-O Glasses. *Bulletin of the Institute for Chemical Research* **1994**, 72, (2), 272-285.
- [42]. Gazda, M.; Kusz, B., Structure changes in (Bi-Pb)-Sr-Ca-Cu-O glass ceramics during the first minutes of crystallization. *Physica C: Superconductivity* **2003**, 387, (1), 211-215.
- [43]. Mtiller, C.; Majewski, P.; Thurn, G.; Aldinger, F.; Processing effects on mechanical and superconducting properties of Bi2201 and Bi2212 glass ceramics. *Physica C* **1997**, 275, (3-4), 337-345.
- [44]. Özkurt, B., (2007), Nd ve Gd Katkılı BSCCO Cam Samik Süperiletken Sistemin Fiziksel Ve İletim Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [45]. Suzuki, T.; Yumoto K.; Mamiya, M.; Hasegawa, M.; Takei, H.; A Phase Diagram of the $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_2\text{O}_6$ - CaCu_2O_2 System in relation to Bi-Based Superconductor. *Physica C* **1998**, 301, (1), 173-184.
- [46]. Matsumoto, A.; Kitaguchi, H.; Kumakura, H.; Togano, K., The microstructure changes of Bi-2212/Ag composite tapes processed under a temperature gradient. *Physica C: Superconductivity* **2002**, 432, (2), 913-915.
- [47]. Sato, R.; Komatsu, T.; Kuken, Y.; Matusita, K.; Sawada, K; Hiraoka, M., Effect of $\text{Cu}^+/\text{Cu}^{2+}$ ratio on the thermal stability and crystallization in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ glass. *Jurnal of Non-Crystalline Solids* **1992**, 152 (2) 150–156.
- [48]. Wang, M.; Xiong, G.; Tang, X.; Hong, Z., The formation mechanism of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ superconducting phase. *Physica C*, 210, (3-4), 413-416.
- [49]. Sung, Y. S.; Hellstrom, E. E., A reaction couple study of reactions amongst $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$, Ca_2PbO_4 , and CuO to form $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. *Physica C: Superconductivity* **1995**, 253, (1), 79–88.
- [50]. Khalil, S. M., Enhancement of superconducting and mechanical properties in BSCCO with Pb additions. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **2001**, 62, (3), 457-466.
- [51]. Xiong, G.; Wang, M.; Fan, X.; Tang, X., (1993), The Reaction Process of the Bi-Sr-Ca-Cu-O System and the Forming Mechanism of the 2212 Superconducting Phase. *Applied Physics A* **1993**, 56, (2), 99-102.
- [52]. Tang, X.; Wang, M.; Xiong G.; Hong, Z.; Fan, X., The comparison of dynamic processes of the $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ phase formation *Materials Letters*, **1997**, 33, (4), 185–189.
- [53]. Saxena, A. K., (2010), High-Temperature Superconductors (Editors: Hull, R., Osgood, R. M., Parisi, J. and Warlimont, H.), Springer, New York, 216s.
- [54]. Yazıcı, D., (2010), Tek Fazlı BSCCO Süperiletken Malzeme Üretimi ve Malzemenin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [55]. Rahman, A.; Rahaman, Z.; Namsuddoha, N., A review on cuprate based superconducting materials including characteristics and applications. *American Journal of Physics and Applications* 2015,3(2) 39-56.
- [56]. Kitamura, M; Irie, A.; Oya, G. I., (2010), Numerical study of multi-hole SQUIDs using $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ intrinsic Josephson junctions, *Physica C: Superconductivity*, **2010**, 470(13-14) 582-591.

- [57]. Yildirim, G.; Yucel, E.; Bal, S.; Dogruer, M.; Varilci, A.; Akdogan, M.; Terzioglu, C.; Zalaoglu, Y., Investigation of Structural and Superconducting Properties of Cr Added Bi-2212 Superconducting Ceramics. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2012**, 24, (2), 231–237.
- [58]. Bilgili, Ö., Kocabaş K., Effect of Nb addition on magnetic, structural and superconducting properties of (Bi, Pb)-2223 superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2014**, 27, (5), 42889–2897.
- [59]. Özkurt, B., Effects of Ni Substitution in Bi-2212 Superconductors, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2012**, 25, (6), 231–237.
- [60]. Özkurt, B.; Enhancement in superconducting transition temperature and J_c values in Na-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Na}_x\text{O}_y$ superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2013**, 24, (7), 2426–2431.
- [61]. Özkurt, B., A Significant Enhancement in J_c Values Through Excessive Na Doping in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Na}_x\text{O}_y$ Superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2015**, 28, (5), 1501–1506.
- [62]. Gün, E.; Özkurt, B.; Özçelik, B., Madre, M. A.; Sotelo, A.; Diez, J. C., Physical, electrical and magnetic properties of Cr doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_y$ (Bi-2212) superconductors prepared by laser floating zone technique, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **2017**, 28, (17), 13120–13125.
- [63]. Gündoğmuş, H., The effect of Y substitution on Bi-2212 superconductor by sol–gel method, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **2017**, 28, (17), 12598–12605.
- [64]. Terzioglu, C.; Öztürk, O.; Belenli, İ., The effect of Au diffusion on some physical properties of $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{2.1}\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductors. *Journal of Alloys and Compound*, 2009, 471, (1-2), 142–146.
- [65]. Sotelo, A.; Rasekh, Sh.; Constantinescu, G.; Amaveda, H.; Torres, M. A.; Madrea, M. A.; Diez J.C., Effect of Pb doping on the electrical properties of textured Bi-2212 superconductors, *Journal of the European Ceramic Society*, **2015**, 34(12) 2997–2982.
- [66]. Bouaïcha, F.; Mosbah, M. F.; Yildiz, F.; Koçbay, N. A., (2015), Effect of Sn Substitution on Structural Properties of $\text{Bi}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ Ceramics Superconductors. *Iee Transactions On Applied Superconductivity*, **2015**, 25, (5), 7200605.
- [67]. Nane, O.; Özçelik B., Effect of V substitution on vortex pinning and superconducting properties of Bi-2212 superconductor. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2017**, 27, (7), 7633–7639.
- [68]. Sýkorová, L. D.; Smrčková, O.; Jakeš, V., Effect of doping on properties of Bi-based superconductors. *Physica Status Solidi (c)* **2004**, 1, (7), 1952–1956.
- [69]. Çam, K. E.; Kocabaş K., Effects of Sb substitution on structural and superconducting properties of Bi in $\text{Bi}_{1.75x}\text{Pb}_{0.25}\text{Sb}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2016**, 27, (8), 8670–8681.
- [70]. Maqsood, A.; Khaliq, M.; Maqsood, M., Role of Barium Addition on the Properties of Bismuth-Based Superconductors. *Journal of Materials Science* **1992**, 27(19) 5330–5334.
- [71]. Sasakura, H., Akagi, Y., Tsukui, S., Adachi, M., Effect of Boron Substitution for Bi on Superconductivity of the Bi-2212 Phase in the Bi-Sr-Ca-Cu-O System. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2009**, 23, (4), 437–441.
- [72]. Hamid, N. A.; Shukor, A. R., Effects of TiO_2 addition on the superconducting properties of Bi-Sr-Ca-Cu-O system. *Journal of Materials Science*, 2000, 35, (9), 2325–2329.
- [73]. Vinu S.; Sarun, P. M.; Shabna, R.; Biju, A.; Syamaprasad, U., Microstructure and transport properties of $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.5}\text{Sr}_{2-x}\text{Lu}_x\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.1}\text{O}_{8+b}$ superconductor. *Materials Chemistry and Physics* **2009**, 119(1) 135–139.
- [74]. Arani, F. H.; Baghshahi, S.; Sedgi, A.; Stornaiuolo, D.; Tafuri, F.; Noori, N. R.; (2018), Enhancement in superconducting properties of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+\theta}$ (Bi-2212) by means of boron oxide additive, *Physica C: Superconductivity and its Applications* **2018**, 458, (1), 31–38.

- [75]. Iqbal, J. M.; Mehmood, R., Synthesis and characterization of antimony-doped Bi-based superconducting materials. *Materials Science and Engineering B* **2006**, 135,(2), 166-171.
- [76]. Azhan, H.; Fariesha, F.; Khalida, S., Effect of Heat Treatments and Zr Doped on Superconducting Properties of $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ Ceramics. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2010**, 24,(1), 265-270.
- [77]. de Vera F.; Bardolaza H.; Arcilla C.; Sarmago R., Effect of In_2O_3 on the grain connectivity and superconducting behavior of $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{In}_x\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$. *SN Applied Sciences* **2019**, 24,(1) 265-270.
- [78]. Sam, C.; Mosbahab, M. F.; Attafa, S.; Benbellat, N., The effect of Ba doping on Sr site on structural and superconducting properties of Bi2212 phase. *Physica B: Condensed Matter* **2019**, 557, (1), 12-16.
- [79]. Çalış, M.; Özkurt, B.; Aytekin, M. E.; Gün, E.; Kır, M. E.; Öztornacı, U., Enhancement of superconducting properties of Bi-2212 ceramics by vanadium-sodium co-doping, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2016**, 27, (3), 2670-2675.
- [80]. Kır, M. E.; Özkurt, B.; Aytekin, M. E.; The effect of K-na co-doping on the formation and particle size of Bi-2212 phase, *Physica B: Condensed Matter* **2016**, 490, (1), 79-85.
- [81]. Özkurt, B., Structural and magnetic properties of Li and Na added $\text{Bi}_{1.8}\text{Sr}_{2.1}(\text{Li},\text{Na})_x\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_y$ (Bi-2212) ceramics ($x=0, 0.05, 0.1$ and 0.2). *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2017**, 28, (12), 8857-8863.
- [82]. Kaki, A. A.; Benmaamar, F., Mosbah, M. F.; Amira, A., Effect of co-doping by Pb and La on structural and magnetic properties of Bi2212 superconducting ceramics. *International Journal of Materials Research* **2009**, 100, (9), 1226-1229.
- [83]. Sarun, P.M.; Shabna, R.; Vinu, S.; Bijub, A.; Syamaprasad U., Highly Enhanced Superconducting Properties of Bi-2212 by Y and Pb Co-doping. *Physica B: Condensed Matter* **2009**, 408, (8-11), 1602-1606.
- [84]. Biju, A.; Guruswamy, P.; Syamaprasad, U.; (2007), Influence of Pb on structural and superconducting properties of rare earth modified $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$. *Physica C* **2007**, 466, (1-2), 23-28.
- [85]. Öztornacı, U.; Özkurt, B. The effect of nano-sized metallic Au addition on structural and magnetic properties of $\text{Bi}_{1.8}\text{Sr}_2\text{Au}_x\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.1}\text{O}_y$ (Bi-2212) ceramics. *Ceramic International* **2017**, 43, (5), 4545-4550.
- [86]. Zelati; A.; Amirabadizadeh, A.; Kompany, A.; Salamati, H.; Sonler, J., (2014), Effect of Eu_2O_3 Nanoparticles Addition on Structural and Superconducting Properties of BSCCO. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2014**, 27,(6), 1369-1379.
- [87]. Yavuz, Ş.; Bilgili, Ö.; Kocabaş, K., Effects of superconducting parameters of SnO_2 nanoparticles addition on (Bi, Pb)-2223 phase. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2016**, 27, (5), 4526-4533.
- [88]. Agail, A.; Abd-Shukor, R., Effect Of Nano-Size SnO_2 Addition on (Bi,Pb)-Sr-Ca-Cu-O Superconductors. *Solid State Science and Technology* **2014**, 22(1) 1-6.
- [89]. Çördük, T.; Bilgili, Ö.; Kocabaş, K., Investigation of effects of MgO nanoparticles addition on the superconducting properties of Bi-2223 superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2017**, 28, (19), 14689-14695.
- [90]. Abou-Aly, A. I.; Abdel Gawad, M. M. H.; Awad, R.; G-Eldeen, I., Improving the Physical Properties of (Bi, Pb)-2223 Phase by SnO_2 Nano-particles Addition. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2011**, 24, (5), 1505-1511.
- [91]. Baqiah, H.; Halim, S. A.; Adam, M. I.; Chen, S. K.; Ravandi, S. S. H.; Faisal, M. A. M.; Kamarulzaman, M. M.; Hanif M., The Effect Of Magnetic Nanoparticle Addition on The Superconducting Properties Of $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ Superconductors. *Solid State Science and Technology* **2009**, 17, (1), 81-88.
- [92]. Aftabi, A.; Mozaffari, M., (2015), Intergranular Coupling, Critical Current Density, and Phase Formation Enhancement of Polycrystalline $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-y}$ Superconductors by $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ Nanoparticle Addition. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2015**, 28, (8), 2337-2343.
- [93]. Aboudi, F. S., (2016), Synthesis and Magnetic Properties of $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ Added with Nano Y. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2016**, 30, (6), 1473-1482.

- [94]. Kong, W.; Abd-Shukor, R., Enhanced Electrical Transport Properties of Nano NiFe₂O₄-added (Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ Superconductor. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2011**, 23, (1), 257–263.
- [95]. Guoa, Y. C.; Tanakaa, Y.; Kurodaa, T. S.; Doub, X.; Yangc, Z. Q., Addition of nanometer SiC in the silver-sheathed Bi2223 superconducting tapes. *Physica C: Superconductivity* **1998**, 311, (1) 65–74.
- [96]. Özkurt, B., The influence of WO₃ nano-particle addition on the structural and mechanical properties of Bi_{1.8}Sr₂Ca_{1.1}Cu_{2.1}O_y ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **2013**, 24, (11), 4233–4239.
- [97]. Mawassi, R.; Marhaba, S.; Roumié, M.; Awad, R.; Korek, M.; Hassan, I., Improvement of Superconducting Parameters of Bi_{1.8}Pb_{0.4}Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} Added with Nano-Ag, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2013**, 27(5) 1131–1142.
- [98]. Hafiz, M.; Shukor, A. R., (2015), Transport critical current density of (Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀/Ag superconductor tapes with addition of nanosized CoFe₂O₄. *Applied Physics A* **2015**, 120, (4), 1573-1578.
- [99]. Roumie, M.; Marhaba, S.; Awad, R.; Kork, M.; Hassan, I.; Mawassi, R.; Effect of Fe₂O₃Nano-Oxide Addition on the Superconducting Properties of the (Bi,Pb)-2223 Phase, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2013**, 27(1) 143–153.
- [100]. Özkurt, B., Effect of nano-sized metallic Au additions at large scale on the phase stability of Bi-2212 ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2019**, 30, (15), 14547–14553.
- [101]. Özçelik, B.; Ergin, I.; Depçi, T.; Yavuz, H. I.; Madre, M. A.; Sotelo, A., (2019), Effect of Carbon Nanotube Addition on the Superconducting Properties of BSCCO Samples Textured via Laser Floating Zone Technique. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, **2019**, 32, (10), 14547–15553.
- [102]. Aytekin, M. E.; Özkurt, B.; Sugözü, B.; Köse, E.; Sugözü, İ., The effect of different dwell times at a constant pelletization pressure of 6 GPa on superconducting properties of Bi_{1.8}Sr₂Ca_{1.1}Cu_{2.1}O_y ceramics. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2016**, 27, (8) 8068-8073.
- [103]. Özkurt, B.; Aytekin, M. E., The effect of different dwell times in the ball milling process on the superconducting properties of Bi_{1.8}Sr₂Ca_{1.1}Cu_{2.1}O_y (Bi-2212) ceramics. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2018**, 29, (5), 3920–3926.
- [104]. Aytekin, M. E.; Özkurt, B.; Sugözü İ.; Physical, magnetic and mechanical properties of Bi-2212 superconductors prepared by high pelletization pressure. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2014**, 26, (3), 1799-1805.
- [105]. Safran, S.; Kılıç, A.; Öztürk, O., Effect of re-pelletization on structural, mechanical and superconducting properties of BSCCO superconductors. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2017**, 28, (2), 1799-1803.
- [106]. Garnier, V.; Caillard, R.; Sotelo, A.; Desgardin, G., Relationship among synthesis, microstructure and properties in sinter-forged Bi-2212 ceramics. *Physica C* **1999**, 319, (3), 197–208.
- [107].Özkurt, B.; Aytekin, M. E., The effect of different dwell times in the ball milling process on the superconducting properties of Bi_{1.8} Sr₂ Ca_{1.1}Cu_{2.1}O_y (Bi-2212) ceramics. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2017**, 29, (5), 3920-3926.
- [108]. Sotelo, A.; Madre, M. A.; Rasekh, S.; Constantinescu, G.; Torres, M. A.; Diez, J. C., Effect of Postannealing Process on Bi₂Sr_{2.1}Ca_{0.9}Cu₂O_{8+δ} Textured Superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2012**, 26, (4) 885–990.
- [109]. Gungen, S., (2016), Sol-Jel Yöntemi ile Üretilen Malzemelerin Manyetoempedans Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [110]. Ali, S.; Hussain, S. T.; Bakar, S. A.; Muhammad, J.; ur Rehman, N., Effect of doping on the Structural and Optical Properties of SnO₂ Thin Films fabricated by Aerosol Assisted Chemical Vapor Deposition. *Journal of Physics: Conference Series*, **2013**, 439 012013.

- [111]. Gün E., (2017), LFZ Tekniği İle Üretilen Krom Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_y$ Süperiletkenlerinin Fiziksel, Elektriksel ve Manyetik Özellikleri, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [112]. Aydın, M., (2014), Al katkılı CdMnO seyreltik manyetik yarıiletkenin manyetik, yapısal, yüzeysel ve optik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [113]. Karakoç, Z.; Ketani, M. A.; Ketani S., Mikroskopların Çalışma Mekanizması ve Çeşitleri. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* **2016**, 1,(1), 1-6.
- [114]. Kapakin, K., Transmission Elektron Mikroskobu, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* **2007**, 18(1)105-110.
- [115]. Çalış M., (2016) BSCCO Süperiletkenler Üzerine V-Na Katkısının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [116]. Özabacı M., (2013), Manyetik Katkılanmış Bi-2212 Fiberlerin Lazer Yüzer Bölge (LFZ) Metoduyla Üretimi, Tanecik Yönelimi ve Süperiletkenlik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Malatya.
- [117]. Ertekin E., (2010) C Katkılandırılmış MgB_2 Süperiletkeninin Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [118]. Özkurt B., The Mechanical Properties of Y-Doped Bi-2223 Superconductors, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 2012, 26, (2), 261-266.
- [119]. Aksulu M., (2007), Polimerlerin Aşınmasında Karsı Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [120]. Sheneeb O. F., (2015), Evaluation of the Surface Roughness and Microhardness of Three Bulk Fill on Fflowable Resin Composites in Omparison to One Conventional Resin Composite After Polishing with Different Polishing Systems, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [121]. Horozoğlu E., (2013), Görüntü İleme ile Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [122]. Kazin, P. E.; Poltavets, V. V.; Tretyakov, Y. D.; Jansen, M.; Freitag, B.; Mader, W., Study on the superconducting composite material formation in the system $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}/\text{Al}$ -containing phases. *Physica C: Superconductivity*, **1997**, 280,(4), 253-265.
- [123]. Sekkina, M. A., Elsabawy, K. M., Sr-doping for promoted high-Tc BPSCCO superconductors, *Physica C: Superconductivity* **2001**, 377(3) 254-259.
- [124]. Boussouf N., Mosbah M. F., (2013), The effect of manganese on phase formation and properties of Bi2212 ceramics, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 24, (11), 4419-4426.
- [125]. Bal, S.; Dogruer, M.; Yildirim, G.; Varilci, A.; Terzioglu, C.; Zalaoglu, Y.; Role of Cerium Addition on Structural and Superconducting Properties of Bi-2212 System. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2011**, 25,(4), 847-856.
- [126]. Özkurt, B.; Madre, M. A.; Sotelo, A.; Diez, J. C.; Effect of Metallic Ag on the Properties of Bi-2212 Ceramic Superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2013**, 24, (9), 3344-3351.
- [127]. Cavdar, S.; Deniz, E.; Koralay, H.; Ozturk, O.; Erdem, M.; Gunen, A., The effect of PbSe addition on the mechanical properties of Bi-2212 superconductors. *Journal of superconductivity and novel magnetism* **2012**, 25, (7), 2297-2307.
- [128]. Jiang, J., A facile method to the $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanocrystalline via a refluxing route in ethylene glycol. *Materials Letters* **2007**, 61 (14-15) 3239-3242.
- [129]. Yildirim, G.; Bal, S., Yucel, E.; Dogruer, M.; Akdogan, M.; Varilci, A.; Terzioglu, C. Effect of Mn addition on structural and superconducting properties of (Bi, Pb)-2223 superconducting ceramics. *Journal of superconductivity and novel magnetism* **2012**, 25, (2), 381-390.
- [130]. Ozturk, O.; Asikuzun, E.; Coskunyurek, M.; Soylu, N.; Hancerliogullari, A.; Varilci, A.; Terzioglu, C.; The effect of Nd_2O_3 addition on superconducting and structural properties and activation energy calculation of Bi-2212 superconducting system. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2014**, 25,(1), 444-453.

- [131]. Özçelik, B.; Gürsul, M.; Sotelo, A.; Madre, M. A., Improvement of superconducting properties in Na-doped BSCCO superconductor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2015**, 26, (1) 441-447.
- [132]. Zandbergen, H. W.; Groen W. A.; Smit A.; Van Tendeloo G., Structure and properties of (Bi, Pb)₂Sr₂(Ca, Y)Cu₂O_{8+δ}. *Physica C: Superconductivity* **1990**, 168(3-4), 426-449.
- [133]. Li, C.; Zhang, S.; Gao, L.; Hao, Q.; Bai, L.; Zhang, P. (2015). Doping effects of ZrO₂ nanoparticles on the superconducting properties of Bi-2212 tapes. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2015**, 26, (6), 3583-3588.
- [134]. Fallah-Arani, H.; Baghshahi, S.; Sedghi, A., Stornaiuolo, D.; Tafuri, F.; Riahi-Noori, N., Enhancement in superconducting properties of Bi₂Sr₂Ca₁Cu₂O_{8+θ} (Bi-2212) by means of boron oxide additive. *Physica C: Superconductivity and its Applications* **2018**, 548, 31-39.
- [135]. Yildirim, G.; Dogruer, M.; Karaboga, F.; Terzioglu, C., Formation of nucleation centers for vortices in Bi-2223 superconducting core by dispersed Sn nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds* **2014**, 584, (1) 344-351.
- [136]. Özkurt, B.; Aytekin, M. E., (2017), The effect of different dwell times in the ball milling process on the superconducting properties of Bi_{1.8}Sr₂Ca_{1.1}Cu_{2.1}O_y (Bi-2212) ceramics. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2017**, 29, (5), 3920-3926.
- [137]. Alcaide, E. G.; Jardim, R. F.; Mune, P., Microstructural properties of Bi_{1.65}Pb_{0.35}Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} and Bi_{1.65}Pb_{0.35}Sr₂CaCu₂O_{8+δ} ceramic samples through transport measurements: a comparative study. *Physica Status Solidi (a)* **2005**, 202(13) 2484-2493.
- [138]. Jiang, L.; Sun, Y.; Wan, X.; Wang, K.; Xu, G., Chen, X.; Du, J., Improvement of the phase formation and superconductivity of the (Bi, Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x silver-sheathed tapes with B₂O₃ addition. *Physica C: Superconductivity*, **1998**, 300, (1-2), 61-66.
- [139]. Madre, M. A., Amaveda, H., Mora Alfonso, M., Sotelo, A., Angurel, L. A., & Diez, J. C., Ag doped (Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr₂CaCu₂O_{8+δ} textured rods. *Boletín-Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*, **2008**, 47, (3), 148-152.
- [140]. Mora, M.; Martínez, E.; Diez, J. C.; Angurel, L. A.; De la Fuente, G. F., Phase growth and microstructure modifications induced by annealing in highly textured superconducting Bi-2212 thin rods. *Journal of Materials Research*, **2000**, 15, (3), 614-620.
- [141]. Costa, F. M.; Ferreira, N. M.; Rasekh, S.; Fernandes, A. J. S.; Torres, M. A., Madre, M. A., Sotelo, A., Very large superconducting currents induced by growth tailoring. *Crystal Growth & Design*, **2015**, 15, (5), 2094-2101.
- [142]. Özkurt, B., The effects of yttrium substitution in Bi-2223 superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **2013**, 24, (2), 758-763.
- [143]. Jannah, A. N.; Abdullah, H. (2018) Critical Current Density, J_c Improvement of BSCCO Superconductor Tapes with Nano Co₃O₄ Addition. *Conference Series: Materials Science and Engineering* **2018**, 395, (1), 012007.
- [144]. Oboudi, S. F.; AL-Habeeb, M. Q., Gold Nanoparticles Effect on (Bi, Pb)-2223 Superconducting Thin Films. *Applied Physics Research*, **2016**, 8, (5), 64-74.
- [145]. Ozabaci, M.; Kizilaslan, E. O.; Madre, M. A.; Yakinci, M. E.; Sotelo, A., Grain alignment and its relationship with superconductivity and thermal transport of Ni-substituted Bi-2212 textured rods fabricated at two different growth rates. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics*, **2015**, 26, (5) 3090-3099.
- [146]. Sotelo, A.; Rasekh, S.; Madre, M. A.; Diez, J. C., Precursor influence on the electrical properties of textured Bi-2212 superconductors. *Journal of superconductivity and novel magnetism*, **2011**, 24, (1-2), 19-25.
- [147]. Carrasco, M. F.; Costa, F. M.; Silva, R. F.; Gimeno, F.; Sotelo, A.; Mora, M.; Angurel, L. A., Textured Bi-Sr-Ca-Cu-O rods processed by laser floating zone from solid state or melted precursors. *Physica C: Superconductivity*, **2004**, 415,(4), 163-171.
- [148]. Mora, M.; Sotelo, A.; Amaveda, H.; Madre, M. A.; Diez, J. C.; Capel, F.; Lopez-Cepero, J. M., Properties variation of Bi-2212 directionally solidified induced by 0.4 Pb substitution. *Journal of the European Ceramic Society*, **2007**, 27, (13-15), 3959-3962.
- [149]. Sotelo, A.; Mora, M.; Madre, M. A.; Amaveda, H.; Diez, J. C.; Angurel, L. A.; Mayoral, M. C., Study of the variation of the EI curves in the superconducting to normal transition of Bi-2212

- textured ceramics by Pb addition. *Boletín-Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*, **2006**, 45, (3), 228-232.
- [150]. Şakiroğlu, S.; Kocabaş, K., The effect of silver substitution in $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Ag}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$. *Journal of superconductivity and novel magnetism*, **2011**, 24, (4), 1321-1325.
- [151]. Aksan, M. A.; Yakinci, M. E., Synthesis and characterization of Er-substituted Bi-2223 H-Tc glass-ceramic superconductors. *Journal of alloys and compounds*, 2004, 385, (1-2), 33-43.
- [152]. Gopalakrishna, B.; Sekhar, C. M.; Suryanarayana, S. V., Effect of Lithium Doping in the Bi-2212 Superconducting System. *Crystal Research and Technology*, **1995**, 30,(3), 411-417.
- [153]. Biju, A.; Vinod, K.; Aloysius, R. P.; Syamaprasad, U., Improved superconducting properties by La addition in (Bi, Pb)-2212 bulk superconductor. *Journal of alloys and compounds*, **2007**, 431,(1-2), 49-55.
- [154]. Tran, H. D.; Pham, T.; Ahn, K. T., Yen T. P.; Man, K. L.; Pham, F.; Khang, W., Enhanced flux pinning properties in $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2-x}\text{K}_x\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ compounds, *Journal of Materials Science:Materials in Electronics*, **2019**, 30,(9), 8233-8238.
- [155]. Jin, J. X., High Temperature Superconductivity in the Past Twenty Years Part 1-Discovery, Material, and Theory. *Journal of Electronic Science and Technology*, **2008**, 6,(2), 225-236.
- [156]. Marshall, D. S.; Dessau, D. S.; Loeser, A. G.; Park, C-H.; Matsuura, A. Y.; Eckstein, J. N.; Bozovic, I.; Fournier, P.; Kapitulnik, A.; Spicer, W. E.; Shen, Z. X., Unconventional electronicstructure evolution with hole doping in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$: angle-resolved photoemission results. *Physical Review Letters* **1996**, 76,(25), 4841-4844.
- [157]. Sarıtekin, N. K., $\text{Y}_{(1-x)}\text{Ho}_{(x)}\text{Ba}_{(2-y)}\text{Nd}_{(y)}\text{Cu}_{(3)}\text{O}_{(7-\delta)}$ Süperiletken Malzemelerin Mekanik ve Süperiletkenlik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik Metotlarla İncelenmesi, Doktora Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- [158]. Jagannadham, K.; Narayan, J., Microstructure and properties of high temperature superconducting materials. *Materials Science and Engineering: B* **1994**, 26,(2-3), 75-102.
- [159]. Bean, C. P.; Magnetization of Hard Superconductors. *Physical Review Letters* 1962, 8, (6), 250-253.
- [160] Topal, U.; Akdoğan, M., Structural and superconducting properties of YBaCuO superconductors at different atomic compositions. *Journal of Alloys and Compounds* **2010**, 503, (1),1-5.
- [161]. Sotelo, A.; Madre, M. A.; Diez, J. C.; Rasekh, S.; Angurel, L. A.; Martinez, E., The influence of Pb and Ag doping on the $J_c(H,T)$ dependence and the mechanical properties of Bi- 2212 textured rods, *Superconductor Science and Technology* **2009**, 22, (3), 6-11.
- [162]. Tepe, M.; Ançıl, I.; Abukay, D., Effect of pelletization pressure on structural properties and critical current hysteresis of ceramic superconducting $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$, *Physica Status Solidi (a)*, **2003**, 198, (2), 420-426.
- [163]. Turgay, T.; Yildirim, G., Effect of aliovalent Si/Bi partial substitution on propagation mechanisms of cracking and dislocation in Bi-2212 crystal system. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. **2019**, 30(8) 7314-7323.
- [164]. Doğruer, M.;Yildirim, G.; Oztürk, O.; Belenli, I.; Terzioğlu, C., Variation of Mechanical Properties of Cr Doped Bi-2212 Superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2013**, 26, (9), 2949-2954.
- [165]. Özkurt, B.; Madre, M. A.; Sotelo, A.; Diez, J. C., Structural, superconducting and mechanical properties of molybdenum substituted $\text{Bi}_{1.8}\text{Sr}_2\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.1}\text{O}_y$. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2013**, 24(4), 1158-1167.
- [166]. Özkurt, B.,The influence of Na addition on the mechanical properties of Bi-2212 superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2014**, 27, (11), 2407-2414.
- [167]. Awad, R.; Abou-Aly, A. I.; Gawad, M. A.; G-Eldeen, I., The influence of SnO_2 nano-particles addition on the vickers microhardness of (Bi, Pb)-2223 superconducting phase. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2012**, 25, (4), 739-745.

[168]. Sedky, A., On the influence of rare-earth substitution for Ca in Bi (Pb): 2212 superconducting system. *Physica C: Superconductivity and its applications*, 2008, 468,(14), 1041-1046.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Mehmet Ersin AYTEKİN
Doğum Tarihi : 26.06.1989
E-mail : mehmetersinaytekin@gmail.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Telekomünikasyon Öğretmenliği	Mersin Üniversitesi	2008-2012
Mühendislik Tamamlama	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2018-....
Yüksek Lisans	Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı	Mersin Üniversitesi	2013-2015
Doktora	Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı	Mersin Üniversitesi	2015-....

Görevler :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Ücretli Öğretim Görevlisi	Mersin Üniversitesi Tarsus Teknoloji Fakültesi	2017-2018

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

ULUSLARARASI HAKEMLİ DERGİLER

- Aytekin, M. E.**; Özkurt B.; Sugözü İ., Physical, magnetic and mechanical properties of Bi-2212 superconductors prepared by high pelletization pressure. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2014**, 26(3) 1799-1805.
- Çalış, M.; Özkurt, B.; **Aytekin, M. E.**; Gün. E.; Kır, M. E.; Öztornacı, U., Enhancement of superconducting properties of Bi-2212 ceramics by vanadium-sodium co-doping. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2015**, 27(3) 2760-2765,
- Kır, M. E.; Özkurt, B.; **Aytekin, M. E.**, The effect of K-na co-doping on the formation and particle size of Bi-2212 phase, *Physica B* **2016**, 490(1) 79-85,
- Aytekin, M. E.**, Özkurt, B.; Sugözü, B.; Köse, E.; Sugözü, İ., The effect of different dwell times at a constant pelletization pressure of 6 GPa on superconducting properties of Bi_{1.8}Sr₂Ca_{1.1}Cu_{2.1}O_y ceramics. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2016**, 27(8) 8068-8073.
- Özkurt B.; **Aytekin M. E.**, The effect of different dwell times in the ball milling process on the superconducting properties of Bi_{1.8}Sr₂Ca_{1.1}Cu_{2.1}O_y (Bi-2212) ceramics. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics* **2017** 29(5) 3920-3926.

6. Özkurt B.; **Aytekin M. E.**; Madre M. A.; Sotelo A.; Torres M. A., Improving thermoelectric properties of $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ through both Na doping and K addition at optimal values. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* **2019**, doi.org/10.1007/s10854-019-01209-z.
7. **Aytekin M. E.**, Özkurt B., (2019), The Influence of Nano-Sized SnO_2 Doping on Physical and Magnetic Properties of the $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}(\text{SnO}_2)_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$ Superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **2020**, https://doi.org/10.1007/s10948-019-05336-w.
8. Gun, E., Özkurt, B., **Aytekin M. E.**, Ocakoğlu K, Structural, Electrical and Magnetic Properties of Au Doped Bi-2212 Superconductors, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* **2020**, https://doi.org/0.5505/pajes.2020.54775

ULUSLARARASI BİLDİRİLER

1. **Aytekin, M. E.**: Özkurt, B.; Sugözü, İ., Bi-2212 Seramik Süperiletkenlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Peletizasyon Basıncının Etkisi, Uluslararası Katılımlı III. Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, İzmir, 05-07 Kasım 2015.
2. Kahraman, G. Külekci, M. Köse, E., **Aytekin, M. E.**, 2008–2016 Yılları Arasında Ülkemizde Meydana Gelen İş Kazaları Değişiminin Analizi, Uluslararası İş Güvenliği ve Çalışan Sağlığı Kongresi, İstanbul, 06-07 Haziran 2016.
3. Kahraman, G.; **Aytekin M. E.**; Külekci M. K.; Eşme U.; Köse E., Türkiye’de Meydana Gelen İş Kazalarının Sektöre ve İşçi Eğitimi Durumuna Göre Dağılımı. 8th international conference on occupational safety and health, İstanbul, 09-11 Haziran 2016.
4. Özkurt B.; **Aytekin M. E.**, 6 GPa Sabit Peletizasyon Basıncında Farklı Bekleme Süreleri İle Üretilen BSCCO Süperiletkenlerin Morfolojik Ve Mekaniksel Özellikleri, 1.uluslararası Akdeniz Bilim Ve Mühendislik Kongresi, Adana, 26-28 Ekim 2016, pp. 642 – 648,
5. Özkurt B., Gün E., **Aytekin M. E.**, Ocakoğlu K., $\text{HAuCl}_{4.3}\text{H}_2\text{O}$ Katkılı Bi-2212 Süperiletkenlerin Mekaniksel Özellikleri, 2. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi, 12-13 Mayıs 2017.
6. E. Gün, Özkurt B., **Aytekin M. E.**, Ocakoğlu K, $\text{HAuCl}_{4.3}\text{H}_2\text{O}$ Katkılı $\text{Bi}_{1.8}\text{Sr}_2\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.1}\text{O}_y$ (BSCCO) Süperiletkenlerin Fiziksel Özellikleri, Sözlü Sunum, 2. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi, 12-13 Mayıs 2017.
7. Özkurt B., **Aytekin M. E.**, Gün E., Ocakoğlu K., Physical and Magnetic Properties of $\text{HAuCl}_{4.3}\text{H}_2\text{O}$ added BSCCO Superconductors. International Conference on Condensed Matter and Materials Science, Adana, 11-15 Ekim 2017.
8. **Aytekin M.E.**, Özkurt B., Sodyum ve Nano Boyutta Kalay Katkılı Bi-2212 Süperiletkenlerin Yapısal ve Fiziksel Özellikleri, International Turkic World Congress on Science and Engineering, 17-18 Haziran 2019

9. Kosalı O., Kara M., **Aytekın M.E.**, Özkurt B., Altın Nanopartiküllerinin Sentezleme Yöntemi ve Kullanım Alanları, Sözlü Sunum, International Turkic World Congress on Science and Engineering, 17-18 Haziran 2019.

10. **Aytekın M.E.**, Özkurt B., Sodyum ve Nano Boyutta Kalay Katkılı Bi-2212 Süperiletkenlerin Mekaniksel Özellikleri, Poster Sunumu, International Turkic World Congress on Science and Engineering, Niğde, 17-18 Haziran 2019.

