

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**SiC KATKILI MgB<sub>2</sub> SÜPERİLETKENİNİN YAPISAL VE MANYETİK  
ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tuğba BAYAZIT**

**MART 2011  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**SiC KATKILI MgB<sub>2</sub> SÜPERİLETKENİNİN YAPISAL VE MANYETİK  
ÖZELLİKLERİ**

**Tuğba BAYAZIT**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Yüksek Lisans (Fizik)”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.03.2011  
Tezin Savunma Tarihi : 31.03.2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ekrem YANMAZ  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Kemal ÖZTÜRK  
Jüri Üye : Yrd. Doç. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Trabzon 2011**

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmada  $MgB_2$  süperiletkenine %5, %10 ve %20 oranında SiC katkılması yapıldı ve SiC katkısının  $MgB_2$  süperiletkeninin yapısal ve manyetik özellikleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Yapılan bu katkılama ile  $MgB_2$ 'nin süperiletkenlik özellikleri geliştirilmeye çalışıldı.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde değerli görüş ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam ve danışmanım Fizik Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ekrem YANMAZ'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Fizik bölümünde deneysel çalışmalarım ve tez yazımı esnasında yardımlarını ve ilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Mehmet BAŞOĞLU'na, Sayın Araş. Gör. Ezgi TAYLAN KOPARAN'a ve gerek ders gerekse tez aşamasında yanımda olan Fizik Bölümü'nde ki bütün hocalarıma ve Araş. Gör. arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, eşime ve özellikle anneme saygı ve minnetlerimi sunarım.

Tuğba BAYAZIT  
Trabzon 2011

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ .....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ .....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Süperiletkenlerin Temel Özellikleri .....	3
1.2.1. Sıfır Direnç .....	3
1.2.2. Kritik Sıcaklık ve Kritik Manyetik Alan .....	4
1.2.3. Kritik Akım .....	6
1.2.4. Girme Derinliği .....	7
1.2.5. Uyum (Koherens) Uzunluğu .....	9
1.2.6. Meissner Olayı .....	9
1.3. MgB <sub>2</sub> Süperiletkeni .....	11
1.4. MgB <sub>2</sub> Süperiletkenine Yapılan Katkılamalar .....	12
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	15
2.1. Numunelerin Hazırlanması.....	15
2.2. Yapılan Ölçümler .....	16
2.2.1. X-Işınları Kırınımı Ölçümü.....	16
2.2.2. Yoğunluk Ölçümü .....	17
2.2.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Ölçümü .....	18
2.2.4. Düşük Sıcaklık Manyetizasyon Ölçümü .....	18
3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	22
3.1. Giriş.....	22
3.2. X-Işınları Kırınımı Ölçümü.....	22
3.3. Yoğunluk Ölçümü .....	24
3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Ölçümü .....	25

3.5.	Düşük Sıcaklık Manyetizasyon Ölçümleri.....	28
3.5.1.	Manyetizasyon-Sıcaklık (M-T) Ölçümü .....	28
3.5.1.	AC Alınganlık Ölçümü .....	29
3.5.2.	Manyetizasyon- Manyetik Alan Ölçümü .....	31
4.	SONUÇLAR .....	37
5.	ÖNERİLER .....	39
6.	KAYNAKLAR.....	40

ÖZGEÇMİŞ

## ÖZET

Bu çalışmada Katıhal Tepkime Yöntemi kullanılarak  $MgB_2$  süperiletkenine %5, %10 ve %20 oranlarında SiC katkılması yapılarak, katkısız ve katkılı olmak üzere dört tane  $MgB_2$  numunesi üretildi. Homojen bir yapı elde edebilmek için numuneler 8bar'lık Ar gazı basıncında iki kez ısıtılma tabii tutuldu. Ayrıca numunelerde meydana gelebilecek iç gerilmeyi engelleyebilmek ve yeterli derecede kristalleşmenin oluşabilmesi için ısıtılma sonrası soğuma süreci düşük hızda gerçekleştirildi. Üretilen bu numunelerin yapısal ve manyetik özellikleri XRD analizi, yoğunluk ölçüm düzeneği, taramalı elektron mikroskobu ve PPMS sistemi kullanılarak yapıldı.

Yapılan ölçüm sonuçlarından SiC katkısının  $MgB_2$  süperiletkeninin kritik akım yoğunluğunda artışa, az da olsa kritik sıcaklık değerinde düşüşe sebep olduğu görüldü. %5 SiC katkısının en iyi katkılama oranı olduğu anlaşıldı.

**Anahtar Kelimeler:**  $MgB_2$ , SiC Katkılandırılmış  $MgB_2$ , Kritik Akım Yoğunluğu.

## SUMMARY

### **Structural and Magnetic Properties of SiC Doped MgB<sub>2</sub> Superconductor**

In this study, using the Solid State Reaction Method was doped SiC rates of 5%, 10% and 20% in MgB<sub>2</sub> superconductor, pure and SiC-doped samples were produced by four. In order to obtain a homogeneous structure the samples were subjected to heat treatment twice under pressure of 8bar Ar gas. In addition, the internal stress that may occur in samples to prevent and adequately crystallization to form the cooling process after heat treatment was performed at low speed. Structural and magnetic properties of these samples produced were performed with XRD analysis, density measurement apparatus, scanning electron microscopy and PPMS system.

The results of measuring the critical current density increase in the SiC-doped MgB<sub>2</sub>, was caused by a slight decline in the value of the critical temperature. Doping was realized that the best contribution rate of 5% SiC.

**Key Words:** MgB<sub>2</sub>, SiC-Doped MgB<sub>2</sub>, Critical Current Density.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Civanın direncinin sıcaklığa karşı grafiği (Kittel, 1996).....	3
Şekil 1.2. Kritik manyetik alanın sıcaklıkla değişimi (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980).....	6
Şekil 1.3. Manyetik akının süperiletken yüzeyinden içeri nüfuz etmesi (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980). .....	8
Şekil 1.4. Süperiletken bir malzemedan manyetik alanın dışarılanması, Meissner olayı (URL-1, 2010). .....	10
Şekil 1.5. MgB <sub>2</sub> 'nin kristal yapısı (URL-3, 2010).....	11
Şekil 2.1. Rigaku D/Max-III difraktometresi .....	16
Şekil 2.2. Yoğunluk ölçüm düzeneği .....	17
Şekil 2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) .....	18
Şekil 2.4. Quantum Design PPMS sistemi .....	19
Şekil 2.5. VSM modülünün sıvı azot ceketli sıvı helyum tankındaki konumları. Üst taraf gradiyometre, alt taraf ise algılama bobininin büyütülmüş halini göstermektedir (Çelik, 2006).....	20
Şekil 3.1. Ticari olarak satın alınan ve üretilen MgB <sub>2</sub> süperiletkenine ait X-ışını kırınım desenleri.....	23
Şekil 3.2. Katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> süperiletkenine ait X-ışını kırınım desenleri.....	23
Şekil 3.3. Katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> numunelerinin katkı oranına göre yoğunluk grafiği .....	24
Şekil 3.4. (a) Katkısız MgB <sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X400), (b)%5 SiC katkılı MgB <sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X400), (c)%10 SiC katkılı MgB <sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X400), (d)%20 SiC katkılı MgB <sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X400). .....	25
Şekil 3.5. Katkısız MgB <sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X3000).....	26
Şekil 3.6. %5 SiC katkılı MgB <sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X3000) .....	26
Şekil 3.7. %10 SiC katkılı MgB <sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X3000).....	27
Şekil 3.8. %20 SiC katkılı MgB <sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X3000) .....	27
Şekil 3.9. 0.1 T manyetik alan altındaki, katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> süperiletkenlerine ait manyetizasyon-sıcaklık eğrileri .....	29
Şekil 3.10. 0T, 1T, 2T manyetik alan altında %5 SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> süperiletkenlerine ait AC Alınganlık eğrileri .....	30
Şekil 3.11. 0T manyetik alan altında katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> süperiletkenlerine ait AC Alınganlık eğrileri .....	30



Şekil 3.12. 3T manyetik alan altında ve 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, katkısız MgB <sub>2</sub> süperiletkenine ait Manyetizasyon-Manyetik alan eğrileri .....	31
Şekil 3.13. 3T manyetik alan altında ve 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, %5 SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> süperiletkenine ait manyetizasyon-manyetik alan eğrileri .....	32
Şekil 3.14. 3T manyetik alan altında ve 15K sıcaklığında, katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> süperiletkenlerine ait manyetizasyon-manyetik alan eğrileri .....	33
Şekil 3.15. 3T manyetik alan altında ve 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, katkısız MgB <sub>2</sub> süperiletkenine ait kritik akım yoğunluğu eğrileri .....	34
Şekil 3.16. 3T manyetik alan altında ve 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, %5 SiC katkılı MgB <sub>2</sub> süperiletkenine ait kritik akım yoğunluğu eğrileri.....	35
Şekil 3.17. 3T manyetik alan altında ve 15K sıcaklığında, katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> süperiletkenlerine ait kritik akım yoğunluğu eğrileri .....	35

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1.1. Bazı alaşım ve metalik bileşiklerin süperiletken geçiş sıcaklıkları .....	5
Tablo 1.2. MgB <sub>2</sub> süperiletkenine ait önemli parametreler .....	12
Tablo 2.1. Başlangıç kompozisyonu hazırlamasında kullanılan toz bileşikler .....	15
Tablo 3.1. 3T manyetik alan altında, 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, katkısız ve %5 SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> numunelerine ait kritik akım yoğunluğu değerleri .....	33
Tablo 3.2. 3T manyetik alan altında, 15K sıcaklığında, katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB <sub>2</sub> numunelerine ait kritik akım yoğunluğu değerleri .....	36

## SEMBOLLER DİZİNİ

AC	: Alternatif akım
a, b	: Örgü parametreleri
B	: Manyetik indüksiyon
BCS	: Barden-Cooper-Schrieffer
$B_c$	: Kritik manyetik indüksiyon
DC	: Doğru akım
e	: Elektron yükü
$F_p$	: Akı çivileme kuvveti
H	: Manyetik alan
$H_c$	: Kritik manyetik alan
$HT_c$	: Yüksek kritik sıcaklık
$I_c$	: Kritik akım
$J_c$	: Kritik akım yoğunluğu
$J_i$	: İletim akım yoğunluğu
$J_s$	: Perdeleme akım yoğunluğu
K	: Kelvin
M	: Manyetizasyon
$M_h$	: Havada ölçülen kütle
$M_s$	: sıvıda ölçülen kütle
m	: Kütle
PPMS	: Fiziksel özellik ölçüm sistemi
$\theta_D$	: Debye sıcaklığı
R	: Direnç
T	: Sıcaklık
$T_c$	: Kritik sıcaklık
VSM	: Titreşim örneklemeli manyetometre
ZFC	: Manyetik alan yokken soğutma
$\lambda$	: Nüfus derinliği
$\rho$	: Özdirenç
$\tau$	: Çarpışma zamanı

$\xi$  : Uyum uzunluğu  
 $\kappa$  : Ginzburg-Landau parametresi

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Mükemmel iletken bir materyal, belli bir sıcaklığın altına kadar soğutulduğunda iki önemli karakteristik özellik gösterir; sıfır direnç ve mükemmel diamanyetizma. Direncin sıfıra düştüğü bu sıcaklık değerine kritik sıcaklık denilmektedir ve  $T_c$  ile gösterilmektedir. Mükemmel diamanyetizma ise süperiletkenlerin ikinci önemli özelliğidir. Anlamı, kritik sıcaklığın altında süperiletken maddenin manyetik alanı içerisine sokmaması yani dışarılmasıdır.

1908 yılında Leiden Laboratuvarı'nda çalışmalarını sürdüren Hollandalı Fizikçi Heike Kamerling Onnes, başlangıç olarak düşük sıcaklıklarda helyumu sıvılaştırdı. Üç yıl sonra, 1911 yılında ise 4,15 K civarında civanın DC direncinin bir anda sıfıra düştüğünü buldu (Onnes, 1911). Bu buluşla birlikte "süperiletkenlik" kavramı doğmuş oldu.

Süperiletkenliğin keşfinden sonra fizikçiler süperiletkenlerin ikinci önemli karakteristik özelliği olan diamanyetizma üzerinde çok durdular. 1933 yılında Meissner ve Ochsenfeld, bir kürenin geçiş sıcaklığının altına kadar soğutulduğunda, manyetik akıyı dışarıladığını buldu (Meissner ve Ochsenfeld, 1933). Süperiletkenin kritik sıcaklığın altında manyetik alanı dışarılması olayı Meissner Etkisi olarak ifade edildi ve London kardeşler, Fritz ve Heinz, tarafından denkleştirildi.

1950 yılında, Ginzburg ve Landau süperiletkenliğin düzen parametrelerini ifade etti. Böylece London denklemleri türetilmiş oldu. Aynı yıl H. Fröhlich, geçiş sıcaklığının, ortalama atom kütesinin artmasıyla düştüğünü tahmin etti (H. Fröhlich, 1950). Atom kütesi ve kritik sıcaklık arasındaki bu etki, Maxwell tarafından "İzotop Etkisi" olarak tanımlandı (Maxwell, 1950). İzotop etkisi, süperiletkenlerdeki mekanik elektron- fonon etkileşmesini destekledi.

1957 yılında J. Bardeen, L. Cooper, ve J.R. Schrieffer tarafından süperiletkenliğin doğasını temel alan BCS mikroskobik teorisi geliştirildi. BCS teorisine göre; akım taşıyan süperelektronlar arasında ki bağın varlığı ifade edildi. Süperelektronların birbirinden etkileşmesi ile oluşan bu elektron çiftleri de "Cooper çiftleri" olarak ifade edildi. Bu teori

Ginzburg- Landau ve London teorilerini de destekleyen, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin özelliklerini açıkladı.

Daha sonraki yıllarda devam eden metalik maddelerde ve alaşımlarda kritik sıcaklığı yükseltme çabaları 1973 yılında Nb<sub>3</sub>Ge alaşımında 23,2K değerine kadar ulaşmıştır.

1986 yılında J. G. Bednorz ve K. A. Müller tarafından “yüksek sıcaklık süperiletkeni Ba-La-Cu-O sistemi” adlı bir makale yayınlandı ve bu makale bilinen geçiş sıcaklığının oldukça üzerinde, 35K geçiş sıcaklığı ölçüldüğünden bilim dünyasında şaşkınlıkla karşılandı.

Bir yıl sonra Wu ve arkadaşları 92K’lik YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> bileşiğini keşfettiler. Bu keşifle birlikte azotun kaynama sıcaklığı olan 77K geçilmiş oldu ve süperiletkenlik çalışmalarında helyumun yerini azot aldı.

Takip eden yıllarda sırasıyla 110 K ve 125 K geçiş sıcaklığına sahip Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> (BSCCO) ve Tl<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> (TBCCO) sistemlerinde süperiletkenlik keşfedildi (Michel vd., 1987; Sheng vd., 1988).

Bugüne kadar keşfedilmiş en yüksek kritik geçiş sıcaklığına sahip malzeme (133K) Hg-Ba-Cu-O (HBCCO) dur (Putilin vd., 1993; Schilling vd., 1993; Gao vd., 1994).

39 K kritik geçiş sıcaklığına sahip MgB<sub>2</sub> saf alaşımı, 1950’li yıllardan beri bilinen eski bir malzeme olmasına rağmen, 2001 yılında Japonya’da düzenlenen bilimsel bir toplantıda ilk kez süperiletken olarak, Akimitsu ve ekibi tarafından açıklanmıştır (Akimitsu, 2001).

MgB<sub>2</sub> diğer süperiletkenlere göre; kritik akım yoğunluğu ve kritik magnetik alanı yüksek oluşu, basit kristal yapısı, tane sınırlarının şeffaflığı, yüksek uyum uzunluğu, yüksek kritik sıcaklığı (HT<sub>c</sub>) ve düşük maliyetli oluşu bu bileşiğe ilgiyi artırdı. Tüm bu özellikleri nedeni ile MgB<sub>2</sub> elektronik aletlerde ve geniş uygulama alanları ile önemli bir malzeme haline gelmiştir (Young vd., 2001). MgB<sub>2</sub> bileşiğinin süperiletken olarak keşfedilmesiyle birlikte, bu saf alaşım, külçe, tek kristal, ince film, şerit ve kablo gibi pek çok şekilde üretilmiştir (Margadonna vd., 2002; Purnell vd., 2004).

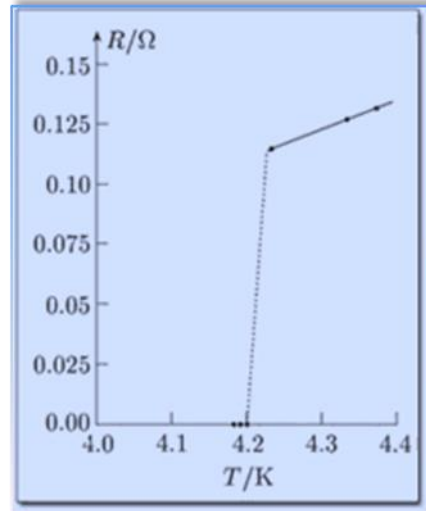
1986 yılında başlayan demir tabanlı süperiletkenler üzerindeki yoğun çalışmalar 2006 yılında Hosono ve grubunun geçiş sıcaklığı 5K olan LaOFeP süperiletkenini üretmesi ile devam etmiştir (Kamihara vd., 2006). Daha sonra Hideo Hosono ve grubu, LaOFeAs bileşiğinde O<sup>2-</sup> iyonlarına Fe<sup>-</sup> iyonlarının katkılanmasını gerçekleştirerek yeni bir süperiletken ailesi olan, yaklaşık 26K geçiş sıcaklığına sahip La[O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>]FeAs bileşiğini

keşfettiler (Kamihara vd., 2008). Demir tabanlı süperiletken geliştirme çabaları kısa sürede yoğun bir şekilde çalışılmış ve çok çeşitli süperiletken yapılar keşfedilmiştir.

## 1.2. Süperiletkenlerin Temel Özellikleri

### 1.2.1. Sıfır Direnç

Bazı metallerin belli bir kritik sıcaklık değerine ulaştıklarında dirençlerinin sıfıra düştüğünü, ilk defa Alman fizikçi H. K. Onnes, 1911 yılında düşük sıcaklıklarda metallerin elektrik iletkenliği üzerine çalışmalar yaparken bulmuştur (Onnes,1911). H. K. Onnes ve öğrencilerinin yaptığı çalışmalarda 4.2 K'de cıvanın (Hg) öz direncinin limit bir değere gittiği gözlenmiştir ve bu limit değer kritik sıcaklığın altında ölçülemeyecek kadar küçük (yaklaşık olarak sıfır) olduğu görülmüştür (Şekil 1.1) (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980; Omar, 1975; Kittel, 1996).



Şekil 1.1. Cıvanın direncinin sıcaklığa karşı grafiği (Kittel, 1996)

Elektriksel direnç; metallerde ve alaşımlarda, sıcaklığın azalmasıyla azalır. Bunun sebebi, metal içerisindeki, akımın kaynağı olan ve metal içerisinde serbestçe hareketten dolayı aynı doğrultuda ilerleyen düzlem dalgaların metal içerisinde hareket etmeleridir. Metaldeki sıcaklığın düşmesi ile birlikte atomdaki termal titreşimlerin ve dolayısıyla iletim elektronlarının saçılma frekansları azalır. Bu azalma malzemenin karakteristik Debye

sıcaklığının ( $\theta_D$ ) yaklaşık 1/3'üne eşit olan sıcaklığa kadar lineerdir, daha aşağıdaki sıcaklıklarda  $T^5$  şeklinde değişir.

Mükemmel bir saf metalde iletim elektronları yapıda ilerlerken başka doğrultulara yönelmez ve hiçbir momentum kaybı olmadan ilerleyebilir. Yani elektronlar yapıda hiçbir dirençle karşılaşmadan yollarına devam edebilirler. Ancak ısısal titreşimler, yapıdaki kusurlar ve tüm safsızlıklar elektronların ilerlemesine engel teşkil eder ve metal içerisinde ilerlerken onları dağıtır. Bunun sonucu olarak da metalde elektriksel direnç meydana gelir.

Bir metalin özdirenci, serbest elektron teorisine göre;

$$\rho = \frac{m}{ne^2\tau} \quad (1.1)$$

Denklem 1.1'de  $n$  elektron yoğunluğu,  $m$  kütle,  $e$  elektronun yükü,  $\tau$  çarpışma zamanıdır ve özdirencin ( $\rho$ ) azalması, sıcaklığın ( $T$ ) azalmasını işaret eder. Yani metal soğutuldukça özdirenç azalır. Sıcaklığın azalması ile örgü titreşimlerinin genliği azalır ve bundan dolayı elektronların saçılması azalır. Bu sonuçlar uzun çarpışma zamanında  $\tau$  ve küçük özdirenç  $\rho$  değerlerinde geçerlidir. Eğer çarpışma zamanı düşük sıcaklıklarda çok büyük değere sahip olursa, özdirenç ( $\rho$ ) tamamen ortadan kaybolur ve bu durum “süperiletken durum” olarak adlandırılır.

### 1.2.2. Kritik Sıcaklık ve Kritik Manyetik Alan

Süperiletkenlerin temel özelliklerinin başında, belli bir sıcaklık değerinde dirençlerinin aniden sıfıra düşmesi gelir. Bir süperiletkenin öz direncini kaybettiği bu sıcaklığa süperiletkenin geçiş sıcaklığı ya da “kritik sıcaklık” adı verilir ve  $T_c$  ile gösterilir. Tablo 1.1'de bazı alaşım ve metalik bileşiklerin süperiletken geçiş sıcaklıkları gösterilmektedir (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980).



Tablo 1.1. Bazı alaşım ve metalik bileşiklerin süperiletken geçiş sıcaklıkları (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980)

	Ta-Nb	Pb-Bi	Nb <sub>3</sub> Sn	Nb <sub>3</sub> Ge	MgB <sub>2</sub>
<b>T<sub>c</sub> (°K)</b>	6.3	8	18	23	40

	Nb	Pb	Ta	Sn	Zr
<b>T<sub>c</sub> (°K)</b>	9.3	7.2	11	18	23

Kritik sıcaklık değeri her metal için farklıdır. Kritik sıcaklığın altında metal, süperiletken özellik gösterirken, kritik sıcaklığın üzerinde, normal davranış gösterir (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980).

Manyetik alanın içerisinde bulunan süperiletkenin T<sub>c</sub> kritik sıcaklığı manyetik alan arttıkça azalmaktadır. Manyetik alan kritik bir H<sub>c</sub> değerini aştığında, süperiletkenlik ortadan kalkar ve madde normal iletken gibi davranır. Maddenin süperiletken durumdan normal duruma geçmeye başladığı anda uygulanmış olan manyetik alan değerine “kritik manyetik alan” denir ve H<sub>c</sub> ile gösterilir.

Süperiletken bir maddeye yeterince kuvvetli bir manyetik alan H<sub>c</sub> uygulandığı takdirde kritik sıcaklığın altındaki (T<T<sub>c</sub>) sıcaklıklarda da madde normal iletken özelliği gösterir.

Sadece serbest akım tarafından oluşan alan, manyetik alan (H)’ dir. Manyetik indüksiyon (B) ise bir metalin manyetizmasının etkisine ek bir akımın etkisiyle oluşan alandır. Manyetik alan ve manyetik indüksiyon arasındaki ilişki şu şekildedir:

a) hava ortamında;

$$B = \mu_0 H$$

(1.2)

b) manyetik materyallerin ortamında;

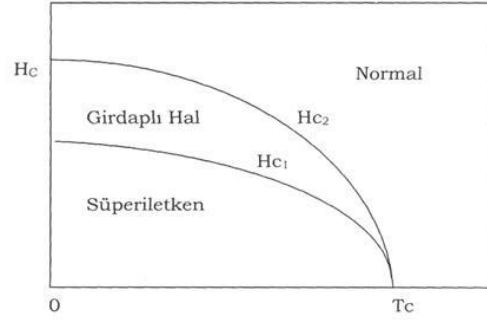
$$B = \mu_r \mu_0 H$$

(1.3)

Kritik manyetik akı şiddeti B<sub>c</sub> ve kritik manyetik alan şiddeti H<sub>c</sub> ile gösterilir. Bu iki değerin kritik sıcaklığa bağlılığı şu şekildedir:

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

Bu denklemin diyagramına “süperiletken faz diyagramı” denir (Şekil 1.2) (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980). Denklem 1.4’ de bulunan  $H_c(0)$ , malzemenin süperiletkenliğinin ortadan kaldırılması için gereken maksimum manyetik alandır. Süperiletken malzemeye uygulanan manyetik alan,  $H_c(0)$  değerini aşarsa, malzeme hiçbir sıcaklıkta süperiletken olmaz. Kritik manyetik alan,  $T=0$  sıcaklığında maksimum değerini alır ve  $T=T_c$  sıcaklığında ise sıfır olur. Bu durum beklenen bir durumdur çünkü  $T=T_c$  sıcaklığında malzeme zaten normal durumdadır (Omar, 1975).



Şekil 1.2. Kritik manyetik alanın sıcaklıkla değişimi (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980)

### 1.2.3. Kritik Akım

Süperiletken maddelerin kayıpsız taşıyabileceği maksimum iletim akım miktarı sınırlıdır. Süperiletkene uygulanan akım değeri bu kritik miktarı aşarsa süperiletkenlik bozulur ve direnç ortaya çıkar. Süperiletkenlik kaybolmadan numunenin geçirebileceği en yüksek akım değerine kritik akım denir ve  $I_c$  ile gösterilir.

Süperiletkenlik durumunu bozan sadece dışarıdan numuneye uygulanmış olan manyetik alan değildir. Bunun yanı sıra, bir süperiletken içerisindeki akım yoğunluğu, kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) olarak adlandırılan bir değeri aştığı zaman süperiletkenlik

ortadan kaybolur (Poole ve vd., 1988). Kritik akım yoğunluğu değeri, geçiş sıcaklığında ( $T=T_c$ ) artmaya başlar ve  $T=0$  sıcaklığında maksimum değerine ulaşır.

Genelde, bir süperiletkenin yüzeyinde akan akıma iki katkı olur. Mesela, süperiletken bir telden herhangi bir D.C. akım geçirilsin. Bu akım, yükleri telin içine ve dışına taşıdığı için iletim akımı olarak adlandırılır. Tele dışarıdan bir manyetik alan uygulanırsa, perdeleme akımı oluşur ve alanın tel içine girmesini önler (Meissner olayı).

Perdeleyici akımlar iletim akımının üzerine ilave olurlar ve numunenin herhangi bir noktasındaki akım yoğunluğu  $J$ , perdeleme akımlarından kaynaklanan  $J_s$  ve iletim akımından kaynaklanan  $J_i$  bileşenlerinin toplamı olarak düşünülebilir.

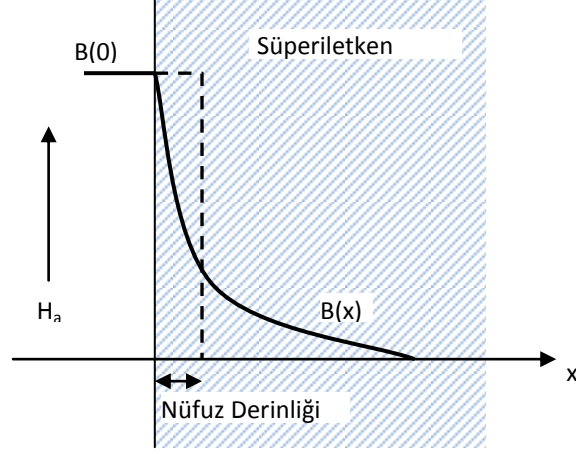
$$J=J_s+J_i \quad (1.5)$$

Numunenin herhangi bir noktasındaki toplam akım yoğunluğu,  $J$ 'nin büyüklüğü kritik akım yoğunluğu,  $J_c$  değerini aşarsa süperiletkenlik bozulur.

#### 1.2.4. Girme Derinliği

Süperiletkenin ideal diamanyetizması sayesinde elektrik akımı malzeme içinde dolaşamaz. Bunun yanı sıra, akım yüzeyde de tamamen hapsedilemez. Çünkü akımın tamamının yüzeyde oluştuğu varsayılırsa ve kalınlığı yok kabul edilirse, akım yoğunluğu sonsuz olur ki bu da fiziksel açıdan imkansızdır. Aslında akımlar, ince yüzey katmanında dolunur ve bu katmanın gerçek değeri metalden metale değişmesine rağmen  $10^{-5}$ cm mertebesindedir. Bu tabaka çok ince olmasına rağmen, süperiletkenlik özelliklerinin tanımlanmasında önemli bir rolü vardır (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980).

Süperiletken bir malzemeye manyetik alan uygulandığı zaman, perdeleme akımı içerdeki manyetik akıyı yok edecek şekilde dolaşır ve bu akım yüzey tabakasının içinden akar. Sonuç olarak, akı yoğunluğu metal sınırında aniden sıfıra düşmez. Ancak, yüzey akımlarının dolandığı bölgenin içinde yavaşça azalır. Bunun sonucu olarak da perdeleme akımının aktığı bu derinliğe girme derinliği denir. Bu derinlik uygulanan manyetik alan akısının girdiğinin görüldüğü bir derinliktir ki bu derinlikte uygulanan alan yok olur (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980).



Şekil 1.3. Manyetik akının süperiletken yüzeyinden içeri nüfuz etmesi (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980)

Yarı-sonsuz bir dilim sınırı (Şekil 1.3) düşünüldüğünde, metal içinde  $x$ -uzunluğunda akı yoğunluğu  $B(x)$  değerine düşerse, girme derinliği  $\lambda$  aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\int_0^{\infty} B(x) dx = \lambda B(0) \quad (1.6)$$

Denklem 1.6'da ki  $B(0)$ , metal yüzeyindeki akı yoğunluğudur. Diğer bir ifade ile dış alanın akı yoğunluğu metal içerisindeki  $\lambda$  mesafesine kadar sabit kalırsa, süperiletken içerisinde aynı miktarda akı olacaktır.

London teoremi (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980), girme derinliğinden daha kalın bir numunede, manyetik akının metale girdiği gibi üssel olarak yok olacağını öngörür (Denklem 1.7).

$$B(x) = B(0)e^{-x/\lambda} \quad (1.7)$$

Buna rağmen, basit hesaplamalarda uygulanan alanın  $B(0)$  akı yoğunluğunun metalde  $x$  mesafesine kadar sabit kaldığı ve sonra sıfıra düştüğü yaklaşımını kullanmak daha etkilidir.

### 1.2.5. Uyum (Koherens) Uzunluğu

Koherens uzunluğu kavramı, normal ve süperiletken bölgeler arasındaki sınırda yüzey enerjisinin kaynağını ifade etmek için, 1953'te Pippard tarafından formüle edilmiştir. Koherens uzunluğunu açıklamak için, oldukça düzenli bir durum olan süperiletken durumu ele almalıyız.

Bir süperiletken geçiş sıcaklığının altına soğutulduğu zaman, iletim elektronları arasında bazı ekstra düzen oluşur. Bazı yöndeki süperelektronlar normal elektronlardan daha düzenlidir ve  $n_s$  süperelektronlarının yoğunluklarıyla tanımlanan süperiletken fazın düzen derecesini düşünebiliriz. Pippard,  $n_s$ 'nin konuma bağlı olarak hızlı bir şekilde değişmeyeceğini, fakat saf bir süperiletkende sadece  $10^{-4}$  cm mertebesindeki bir mesafede hissedilebilir derecede değişebileceğini gösterdi. Bu mesafede “ $\xi$ ” uyum (koherens) uzunluğu olarak adlandırıldı. Bu uzunluk; süperiletkenliğin oluşturulabildiği veya yok edilebildiği en küçük boyut olarak düşünülebileceği gibi Cooper çiftini oluşturan elektronların bir arada bulunabileceği mesafe olarak da tanımlanabilir.

Koherens uzunluğunun varlığının bir sonucu, normal ve süperiletken bölgeler arasındaki sınırın keskin olmasıdır. Çünkü süperelektronların yoğunluğu sadece uyum (koherens) uzunluğuna yaklaşık eşit bir mesafenin üzerinde kademeli olarak normal bölgede sıfırdan süperiletken bölgede  $n_s$  yoğunluğuna yükselebilir (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980).

Girme derinliğinin uyum(Koherens) uzunluğuna oranı;

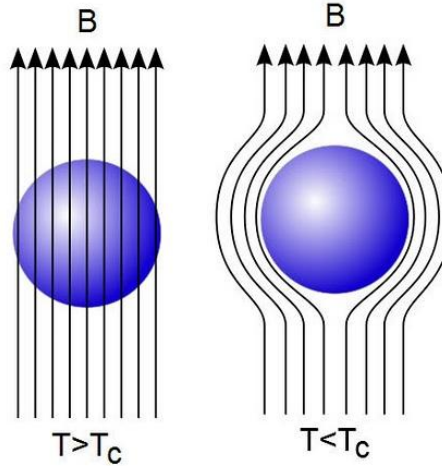
$$\kappa = \frac{\lambda}{\xi} \quad (1.8)$$

süperiletkenlerin birkaç özelliğini belirleyen Ginzburg- Landau sabitini ( $\kappa$ ) verir. Süperiletken malzemeler için,  $\kappa < 0,71$  ise I.tip,  $\kappa > 0,71$  ise II. Tip süperiletkenlik söz konusudur.

### 1.2.6. Meissner Olayı

Alman fizikçiler Meissner ve Ochsenfeld 1933 yılında, bir metalin süperiletken olduktan sonra içerisinde her noktasındaki manyetik akıyı tamamen dışarıladığını

gözlemler ve süperiletken maddenin manyetik alanı dışarıladığı bu olaya “Meissner Etkisi” olarak adlandırdılar. Süperiletken malzemelerle yapılan deneylerde, kritik sıcaklığın ( $T_c$ ) altındaki sıcaklıklarda manyetik alanın tamamen ve aniden süperiletken durumdaki numuneden dışarılandığını gösterdiler (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Süperiletken bir malzemenin manyetik alanın dışarılanması, Meissner olayı (URL-1, 2010)

Meissner etkisi, tersine çevrilebilir bir durumdur. Kritik sıcaklığın üzerine çıktığında manyetik akı aniden numune içine nüfuz ederek, numunenin süperiletken durumdan normal duruma geçiş yaptığı gözlenebilen bir durumdur.

Manyetik alan şiddeti ( $\vec{H}$ ), manyetizasyon ( $\vec{M}$ ) ve yoğunluk ( $\chi$ ) olmak üzere; bir madde içerisindeki manyetik indüksiyon  $\vec{B}$ ;

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0(1 + \chi)\vec{H} \quad (1.9)$$

olarak ifade edilebilir.

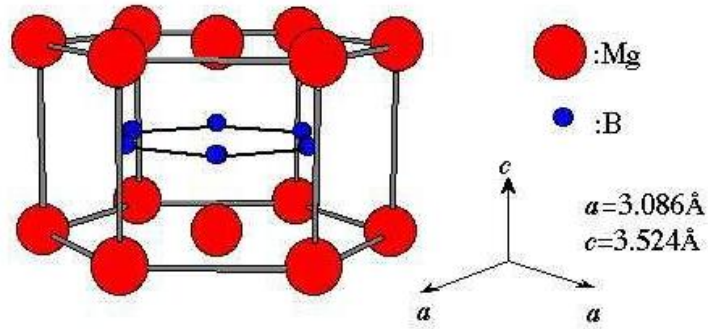
Süperiletken bir numune içerisinde  $\vec{B} = 0$  olduğuna göre denklem 1.9'dan;

$$\vec{M} = -\vec{H} \quad (1.10)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadenin anlamı; numune içerisindeki manyetizasyonun dış manyetik alana eşit ve zıt yönde olmasıdır. Bundan dolayı numune diamanyetik ve alınganlığı  $\chi = -1$  'dir (Omar, 1975).

### 1.3. MgB<sub>2</sub> Süperiletkeni

2001 yılında süperiletkenlik özellikleri keşfedilen MgB<sub>2</sub> bileşiği, basit hekzagonal kristal yapıya sahiptir. Birim hücre parametreleri  $a=3.086\text{Å}$ ,  $c=3.524\text{Å}$ 'dır. MgB<sub>2</sub>'nin basit hekzagonal yapısı incelendiğinde Mg'nin yapının köseleriyle alt ve üst yüzey merkezlerinde yer aldığı, Bor'un ise hacim merkezinde düzlemsel bir yapıya sahip olduğu görülür (Şekil 1.5) . Bağ uzunluk değerleri Mg-B bağı için  $0.25017\text{nm}$ , B-B bağı içinse  $0.17790\text{nm}$  olarak bulunmuştur (URL-2, 2010).



Şekil 1.5. MgB<sub>2</sub>'nin kristal yapısı (URL-3, 2010)

MgB<sub>2</sub> süperiletkenine ait bazı önemli parametreler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.2. MgB<sub>2</sub> süperiletkenine ait önemli parametreler

PARAMETRELER	DEĞERLER
Kritik Sıcaklık	T <sub>c</sub> =39-40K
Hekzagonal Örgü Parametreleri	a=3.086 Å <sup>0</sup> , c=3.524 Å <sup>0</sup>
İzotop Etkisi	αT=αMg+αB=0.3+0.02
Girme Derinliği	λ(0)=850-1800 Å <sup>0</sup>
Koherens Uzunluğu	ξ <sub>ab</sub> (0)=37-120 Å <sup>0</sup> , ξ <sub>c</sub> =16-36 Å <sup>0</sup>
Kritik Akım Yoğunluğu	Külçe 1x10 <sup>6</sup> A/cm <sup>2</sup> (0T)

#### 1.4. MgB<sub>2</sub> Süperiletkenine Yapılan Katkılamalar

2001 yılında Akimitsu ve ekibinin MgB<sub>2</sub> alaşımının 40K'de süperiletken olduğunu keşfetmesiyle bu bileşik üzerinde çalışmalara başlanmış ve MgB<sub>2</sub> süperiletkeni üzerine çeşitli katkılamalar yapılmıştır. Bu katkılamalar Mg, B konumlarına veya sistemin geneline yapılan katkılamalar olmuştur. Yapılan bu katkılamaların temel amacı, süperiletkende varolan perçinleme merkezlerini artırmak ve sonuç olarak da sistemin kritik akım yoğunluğunda artış sağlayabilmektir. Araştırma sonuçları göstermiştir ki yapılan katkılamalar sonucunda genellikle kritik akım yoğunluğun da artış olurken, T<sub>c</sub> değerinde önemli sayılabilecek bir değişme gözlenmemiştir.

MgB<sub>2</sub> alaşımının süperiletken olduğunun bulunmasından bu yana sisteme yapılan bazı katkılamalara bu bölümde yer verilmiştir.

MgB<sub>2</sub> süperiletkenine yapılan SiC katkılamalarında; nano-SiC'nin perçinlenme merkezi gibi davrandığını, J<sub>c</sub>'de belirgin bir gelişmeye sebep olduğunu ancak T<sub>c</sub>'de 2K kadar azalma gösterdiği saptanmıştır (Wang vd., 2004; Gozzelino vd., 2007; Shcherbakova vd., 2007; Zhang Xion Ping vd., 2007).

Sistem üzerine yapılan C katkılması çalışmalarında ise C'nin perçinlenme merkezlerini artırarak akı perçinlenmesini arttırdığı ve bu sayede J<sub>c</sub>'yi yükselttiği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak C katkısının MgB<sub>2</sub> süperiletkenin T<sub>c</sub>'sini 40K'den 22K'e kadar düşürdüğü gözlemlenmiştir (Awana vd., 2008; Yeoh vd., 2007; Katsura vd., 2007; Huang vd., 2005; Wilke vd., 2005; Hol'anová vd., 2004; Soltanian vd., 2003; Ribeiro vd., 2003; Cheng, 2003; Paranthaman vd., 2001).



MgB<sub>2</sub> süperiletkenine yapılan Al katkılarında, Al'lerin örgü yapısında Mg yerine geçtikleri ve katkılama miktarının artmasıyla örgü parametrelerinin ve T<sub>c</sub> değerinin azaldığı belirlenmiştir. Katkı miktarı ile birlikte J<sub>c</sub> değerinde az da olsa artış gözlenmiştir. Katkısız MgB<sub>2</sub>'nin süperiletkenlik özelliklerinin zayıfladığı fakat tanecik sınırlarındaki Al'lerin güçlü perçinlenme merkezi olarak davranabileceği rapor edilmiştir(Shinohara vd., 2007; Xu vd., 2004; Rui vd., 2005; Zheng vd., 2004; Xiang vd., 2003).

Elsabawy vd., MgB<sub>2</sub> süperiletkenine kurşun katkılama ve kurşun katkısının J<sub>c</sub>'yi artırdığını belirlemiştir. Kurşun üzerine yapılan diğer çalışmalarda katkı oranı arttıkça T<sub>c</sub>'de önemli ölçüde azalma olduğunu göstermiştir(Elsabawy vd., 2007; M'chirgui vd., 2005; Gu vd., 2003).

Suemitsu yaptığı araştırma sonucunda, Mn katkısının T<sub>c</sub>'yi giderek azalttığı bulunmuştur(Suemitsu vd., 2006).

Aksan vd., Co katkısının çok fazlı bir yapı ortaya çıkardığını belirlemişler ve ayrıca katkı miktarı arttıkça T<sub>c</sub>'nin azaldığını, süperiletken faza geçişin giderek daha geniş sıcaklık aralıklarında gerçekleştiğini bulmuşlardır. Kühberger vd. ise az miktarda yapılan Co katkısının MgB<sub>2</sub> süperiletkenin yapısında bir değişikliğe sebep olmadığını belirlemiştir(Aksan vd., 2006; Kühberger vd., 2002)

Yapılan krom katkılama sonucunda normal durum direncinin arttığı ve süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının düştüğü bulunmuştur(Zhang vd., 2005).

Guo ve Cheng, Ag katkılanmış MgB<sub>2</sub> süperiletkenin yapısı üzerine incelemelerde bulunmuştur. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki Ag katkılama MgB<sub>2</sub>'nin birim hücre parametrelerini düşürmektedir. Ayrıca belirli bir katkılama oranından sonra yapıda Ag'nin çözünmediği için kritik sıcaklıkta düşüşe sebep olduğu belirlenmiştir(Guo vd., 2004; Cheng vd., 2002).

Goto vd.'nin MgB<sub>2</sub> sisteminin geneline yapmış olduğu Ti, Zr, Hf katkılarının J<sub>c</sub>, H<sub>irr</sub>, F<sub>p</sub> (pinning kuvveti) parametrelerine etkisini incelemişler ve bu katkılarının J<sub>c</sub> değerini artırdığını bulmuşlardır(Goto vd., 2003).

Lityum katkısını araştıran Li vd., küçük katkılama oranlarının T<sub>c</sub> üzerinde bir değişmeye yol açmadığını belirlemiştir. Zhao vd. ise küçük Li katkılama oranları için tek fazlı bir yapı oluştuğu ancak Li katkı oranı arttıkça süperiletkenlik geçiş sıcaklığı olan T<sub>c</sub> değerinde azalma olduğu sonucuna ulaşmışlardır(Li vd., 2003; Zhao vd., 2001).

Wang vd., farklı boyuttaki Si tozları ile yaptıkları çalışmalarda büyük tanecikli tozların MgB<sub>2</sub> sistemine bir katkı sağlamadığını ancak nano boyuttaki tozlar ile yapılan

katkılama sonucunda kritik akım yoğunluğu değeriinde belirgin bir artışın olduğunu rapor etmişlerdir(Wang vd., 2003).

MgB<sub>2</sub> sistemine iridyum katkısının etkisini inceleyen Sekkina vd. katkılama oranı arttıkça T<sub>c</sub>'nin azaldığını bulmuşlardır(Sekkina vd., 2003).

Katıhal reaksiyon yöntemi ile hazırlanan Zr ve Ti katkılı MgB<sub>2</sub> süperiletkenlerinin kritik akım yoğunluğunun oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Kritik akım yoğunluğunun yüksek olmasının sebebi, tanecik sınırları ile tuzaklama merkezleri arasındaki iletişimin mükemmel oluşuna bağlanmıştır(Zhao vd., 2002).

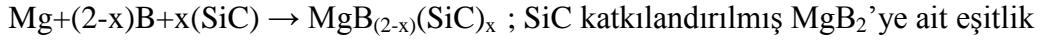
Tampieri vd., Cu katkısının MgB<sub>2</sub>'nin yapısına %3'den daha fazla giremediğini, ancak buna rağmen örgü parametrelerinde düşüşe sebep olduğunu bulmuşlardır(Tampieri vd., 2002).

Ta katkılamasının süperiletkenliğin kritik akım yoğunluğu üzerine olumlu etkide bulunduğunu rapor edilmiştir (Prihna vd., 2002).

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Numunelerin Hazırlanması

Saf ve SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  örnekleri Katıhal Tepkime Yöntemi ile üretildi. Saf  $MgB_2$  süperiletkenini üretmek için magnezyum ve bor tozları 1:2 stokiyometrik oranlarda tartıldı ve agat havanda bir buçuk saat karıştırıldı. %5, %10 ve %20'lik oranlarda katkılandırılmış  $MgB_2$  örnekleri de belirli stokiyometrik oranlarda tartılarak bir buçuk saat agat havanda karıştırıldı.



Kullanılan başlangıç tozlarının saflık dereceleri, molekül ağırlıkları Tablo 2.1'de verildi.

Tablo 2.1. Başlangıç kompozisyonu hazırlamasında kullanılan toz bileşikler

Tozun Adı	Sembolü	Saflık Derecesi (%)	Molekül Ağırlığı (a.u.)
Magnezyum	Mg	%99.98	24,305
Bor	B	% 95-97	10,811
Silisyumkarbayt	SiC	%97.5	4,01

Homojen bir şekilde karıştırılan tozdan 1gram tartıldı ve 10x15mm boyutundaki dikdörtgen kalıpta 10 ton/cm<sup>2</sup> basınç altında preslendi.

Preslenerek tablet haline getirilen numune, paslanmaz çelik tüp içerisine yerleştirildi. Yirmi dakika boyunca tüpün ve bağlantı borularının vakumu (10<sup>-2</sup> bar) alındı. Tüp içerisine sinterleme süresi boyunca 8bar Ar gazı verildi. Paslanmaz çelik tüp içerisindeki numune, önceden 650 °C'ye getirilen fırında bir buçuk saat ısıtılma işlemi yapıldı. Bir buçuk saat sonra tüp fırından alındı, vakum altında ve 8bar'lık Ar gazı basıncında oda sıcaklığına gelene kadar soğuması beklendi. Soğuma sürecinin düşük hızda

yapılmasının nedeni; yeterli derecede kristalleşmenin oluşabilmesini sağlayabilmek ve yapı içerisinde meydana gelebilecek iç gerilmeyi engelleyebilmektir.

İlk ısıl işlemde sonra tüpten çıkarılan numune, homojenlik sağlamak için, agat havanda bir buçuk saat öğütüldü. Öğütülen toz 10x15mm boyutundaki dikdörtgen kalıpta 10 ton/cm<sup>2</sup> basınç altında preslendi ve paslanmaz çelik tüp içerisinde, 8 bar Ar basıncı altında, 750 °C'de yarım saat ikinci ısıl işleme tabi tutuldu. Yukarıda bahsedilen numune hazırlama aşamaları ile; saf ve %5, %10, %20 'lik oranlarda SiC katkılanmış dört tane örnek üretildi.

## 2.2. Yapılan Ölçümler

### 2.2.1. X-Işınlari Kırınımı Ölçümü

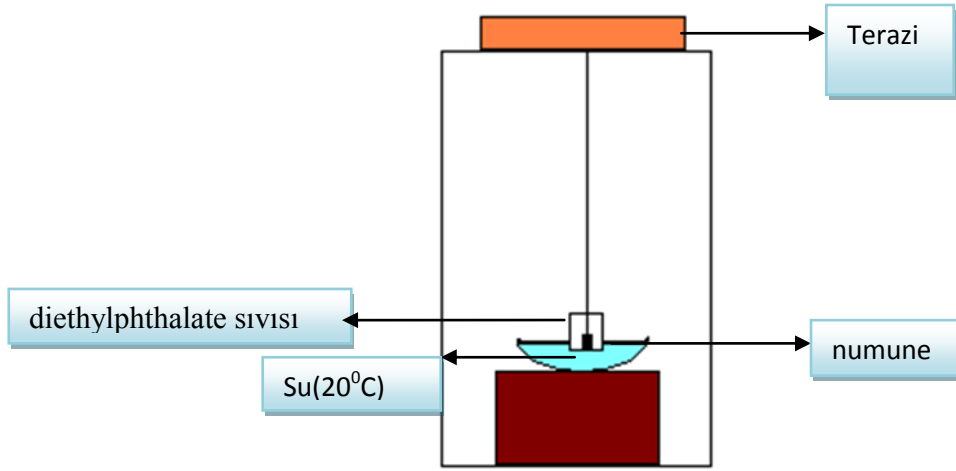
Saf ve SiC katkılanmış MgB<sub>2</sub> külçe numunelerinin x-ışınları kırınım desenleri Rigaku D/Max-III difraktometresinde (Şekil 2.1), CuK $\alpha$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ , 40 kV, 30 mA) ışınımı kullanılarak elde edildi. Tüm ölçümler, oda sıcaklığında,  $20^{\circ} \leq 2\theta \leq 70^{\circ}$  aralığında, 3 °/dak. tarama hızında ve 0,02°'lik örnekleme aralığında yapıldı. X-ışını kırınımı ölçümleri hem ilk ısıl işlemde hem de ikinci ısıl işlemde sonra yapıldı.



Şekil 2.1. Rigaku D/Max-III difraktometresi

### 2.2.2. Yoğunluk Ölçümü

Numunelerin yoğunluk ölçümü Arshimed yoğunluk ölçme sistemi (densitometre) ile yapıldı. Bu ölçüm sistemi, atomlar arası boşlukları fazla olan bir numunenin yoğunluğunu ölçmeye olanak sağlar (Yanmaz, 1992). Ölçüm sıvısı olarak, yoğunluğu 20 °C'de 1,122 g.cm<sup>-3</sup> olan diethylphthalate kullanılmıştır. Yoğunluk ölçümleri için kullanılan düzenek Şekil 2.2'de verildiği gibi, ölçüm sıvısına batırılmış elek içersindeki numunenin bir askı ile Sartorius BP 110 S marka dijital mikrobalsans kontrollü bir teraziye asılmasından oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Yoğunluk ölçüm düzeneği

Numunelerin ilk önce havadaki ( $M_h$ ), daha sonra da diethylphthalate sıvısının içerisindeki kütlesi ( $M_s$ ) tartıldı ve aşağıdaki eşitlikte yerlerine konularak saf ve SiC katkılandırılmış MgB<sub>2</sub> numunelerinin deneysel yoğunluğu hesaplandı.

$$\rho = \rho_s \frac{M_h}{M_h - M_s} \quad (2.1)$$

Eşitlikteki  $\rho_s$ , diethylphthalate sıvısının yoğunluğu, 1,122 g.cm<sup>-3</sup>, olup; bu yöntem atomlar arası fazla boşluk içeren malzemelerin yoğunluğunu hassas bir şekilde ölçmeye imkan verir (Öztürk, 2006). Ayrıca hatayı en aza indirmek için örnek sıvının içerisinde 5dakika bekledikten sonra ve iki kez olmak üzere ölçümler alındı.

### 2.2.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Ölçümü

MgB<sub>2</sub> süperiletkenine yapılan SiC katkısının yapıda meydana getirdiği faz oluşumları, yüzey formasyonları ve mikro yapısal özelliklerin incelenmesi amacı ile taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümü yapıldı.

Katkısız ve SiC katkılılandırılmış MgB<sub>2</sub> numunelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümü, Jeol JSM 6400 Scanning Microscope (Şekil 2.3) markalı elektron mikroskobu kullanılarak yapıldı. Ölçümler yapılmadan önce bütün numuneler, Polaron CA508 EVAPORATION PSU ve Polaron SC502 SPUTTER COATER marka cihazlar kullanılarak 120 Å kalınlığında altın ile kaplandı. Büyütme oranları 150 ile 3000 arasında seçildi.



Şekil 2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

### 2.2.4. Düşük Sıcaklık Manyetizasyon Ölçümü

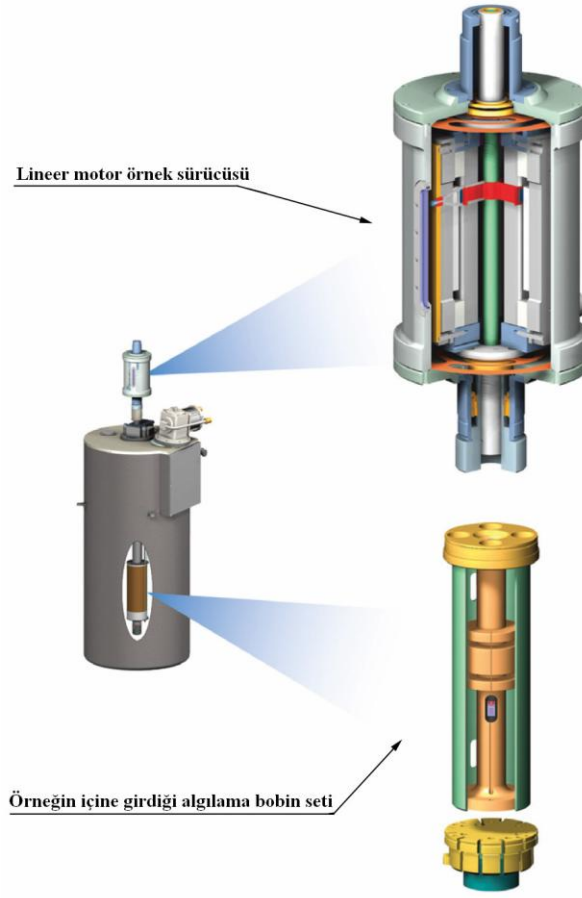
Bütün örneklerin manyetizasyon ölçümü “Quantum Design PPMS” kullanılarak yapıldı (Şekil 2.4). Bu deney sistemi, ilgili modül (parça) değiştirilerek çeşitli ölçüm sistemlerine dönüştürülebilmektedir.



Şekil 2.4. Quantum Design PPMS sistemi

Laboratuarda mevcut olan modüller, direnç ölçüm modülü ile titreşim örnekleme manyetometre (VSM) modülüdür. Fiziksel özellik ölçüm sistemi (PPMS); manyetik alan akım kaynağı, sıvı azot ceketli helyum tankı ve tüm bu bileşenleri hassas bir şekilde kontrol edebilen Quantum Design Model 6000 ana kontrolcüsünden meydana gelmektedir. Ana kontrolcü; sıcaklık kontrolcüsü (1,9 K – 400 K) ile manyetik alan kontrolcüsü ((-7 T)-(+7 T)) içermekte olup, bilgisayar tarafından CAN (açık network protokolü) data iletişim kartı yardımıyla tamamen kontrol edilebilmekte ve sistemde elde edilen verilerin bilgisayara aktarılabilir.

Bu çalışmada, sistemin VSM modülü kullanılmış olup, modülün genel görüntüsü Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5. VSM modülünün sıvı azot ceketli sıvı helyum tankındaki konumları. Üst taraf gradiyometre, alt taraf ise algılama bobininin büyütülmüş halini göstermektedir (Çelik, 2006).

Manyetizasyon ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak katkısız ve SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  numunelerinin kritik akım yoğunluğu hesaplandı. Kritik akım yoğunlukları ( $J_c$ ) hesaplanırken düzlem geometriler için geliştirilen Bean modeline dayanan aşağıdaki formül kullanıldı.

$$J_c = 20 \frac{\Delta M}{a(1 - \frac{a}{3b})} \quad (2.1)$$

Kritik akım yoğunluğu hesaplanan numuneler dikdörtgenler prizması şeklinde olup, numunelerin kesit alanı  $2a \times 2b$  ve  $b \geq a$  şeklinde olmalıdır. Formül 2.1' de kullanılan  $\Delta M$ , M-H ilmeklerinin ikinci ve beşinci kısımlarının farkı alınarak hesaplandı. Ayrıca kritik



akım yoğunluğu hesaplanan dikdörtgenler prizması şeklindeki numunelerin boyutları yaklaşık olarak  $2,5 \times 2,5 \times 3 \text{ mm}^3$  olup manyetik alan presleme eksenine paralel olarak uygulandı.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

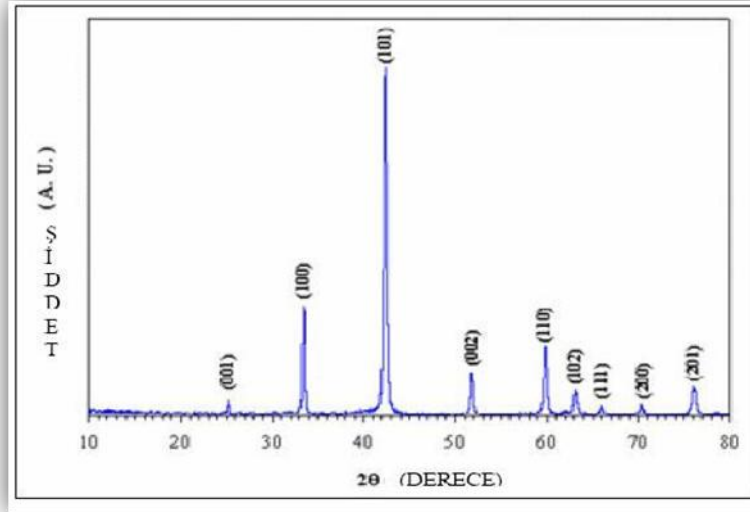
#### 3.1. Giriş

$MgB_{2-x}(SiC)_x$  ( $x=0, 0.05, 0.1, 0.2$ ) genel formülü kullanılarak Katıhal Tepkime Yöntemi ile; katkısız, %5, %10 ve %20 SiC katkılı  $MgB_2$  külçe süperiletkenleri üretildi ve SiC katkısının  $MgB_2$  süperiletkenin yapısında oluşturduğu değişiklikler anlaşılmaya çalışıldı. Bunun için katkısız ve SiC katkılılandırılmış  $MgB_2$  süperiletkenlerinin bazı yapısal ve manyetik özellikleri incelendi. Yapısal özelliklerin analizi XRD, yoğunluk, SEM ile manyetik özellikleri ise manyetizasyon ölçümleri ile yapıldı. Elde edilen sonuçlar katkı oranına göre kıyaslandı.

#### 3.2. X-Işınları Kırınımı Ölçümü

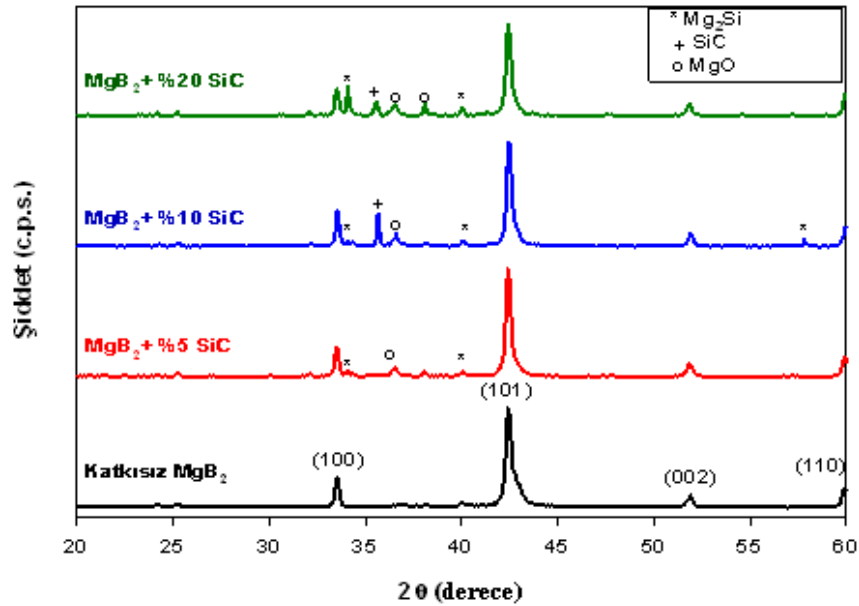
Üretilen katkısız ve SiC katkılılandırılmış  $MgB_2$  numunelerinde SiC katkısının sistem içerisinde nasıl bir yapılaşma sergilediği, reaksiyona girip girmediği ve temel sistemin kristal yapısında bir değişiklik oluşturup oluşturmadığı X- ışını kırınımı ölçümleri ile değerlendirildi.

Ticari olarak satın alınan  $MgB_2$  (Alfa Aesar) ve laboratuarda üretilen  $MgB_2$  süperiletken numunelerine ait temel x-ışınları kırınım desenleri şekil 3.1' de verildi. Şekle bakıldığında laboratuarda üretilen  $MgB_2$  süperiletkenin ana fazlarının  $2\theta=33.5^\circ, 42.4^\circ, 51.8^\circ, 59.9^\circ$  açılarında olduğu görüldü.



Şekil 3.1. Ticari olarak satın alınan ve üretilen  $MgB_2$  süperiletkenine ait X-ışını kırınım desenleri

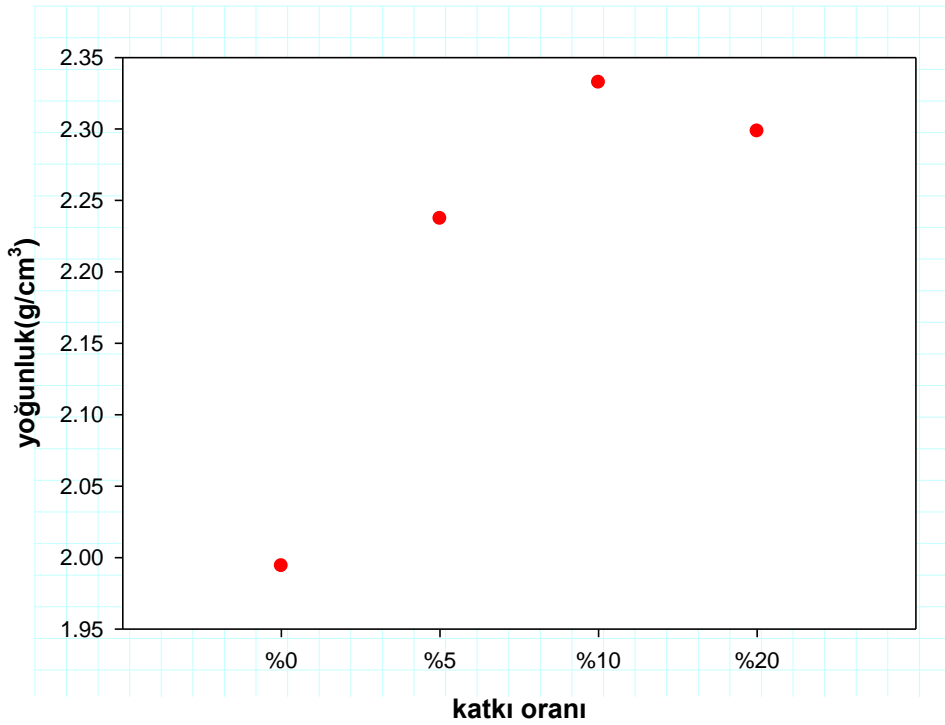
$MgB_2$  numunesine yapılan SiC katkısı ile oluşan X-ışını kırınım desenleri Şekil 3.2’de verildi. Şekle bakıldığında SiC katkısının  $MgB_2$  süperiletkeninin ana fazlarının şiddetinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığı görüldü. Sisteme yapılan %5 katkılama oranından sonra yapıda MgO ve  $Mg_2Si$  piklerinin varlığı belirlendi (Dou vd., 2002). %10 oranında yapılan katkılamalarda artık SiC’in yapıda açıkça gözlenebildiği fark edildi.



Şekil 3.2. Katkısız ve SiC katkılılandırılmış  $MgB_2$  süperiletkenine ait X-ışını kırınım desenleri

### 3.3. Yoğunluk Ölçümü

Katkısız ve SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  numunelerinin yoğunlukları Arshimed yoğunluk ölçme sistemi (densitometre) ile ölçüldü. Bu ölçüm sisteminde  $20^{\circ}C$ 'de yoğunluğu  $1,122 \text{ g.cm}^{-3}$  olan diethylphthalate sıvısı kullanıldı. Yoğunluk hesabı yapılırken sıvı içindeki kütle miktarı ve havadaki kütle miktarı referans alındı. Yoğunluğun katkı miktarı ile değişimi şekil 3.3'de gösterilmektedir. Katkı miktarı arttıkça yoğunluğun da arttığı görülmektedir. Ölçüm sonuçlarındaki yoğunluğun  $MgB_2$  numunesinin teorik yoğunluğu (Ueda vd., 2005) olan  $2.62 \text{ g.cm}^{-3}$ 'nin %76 mertebesinde olduğu belirlendi. Bu değer katıhal tepkime yöntemiyle elde edilecek bağıl yoğunluk değerlerine uygun olduğu düşünülmektedir. Bu değer SiC katkılmasıyla daha da yükseldiği yaklaşık %90 'lar mertebesine ulaştığı görülmektedir.

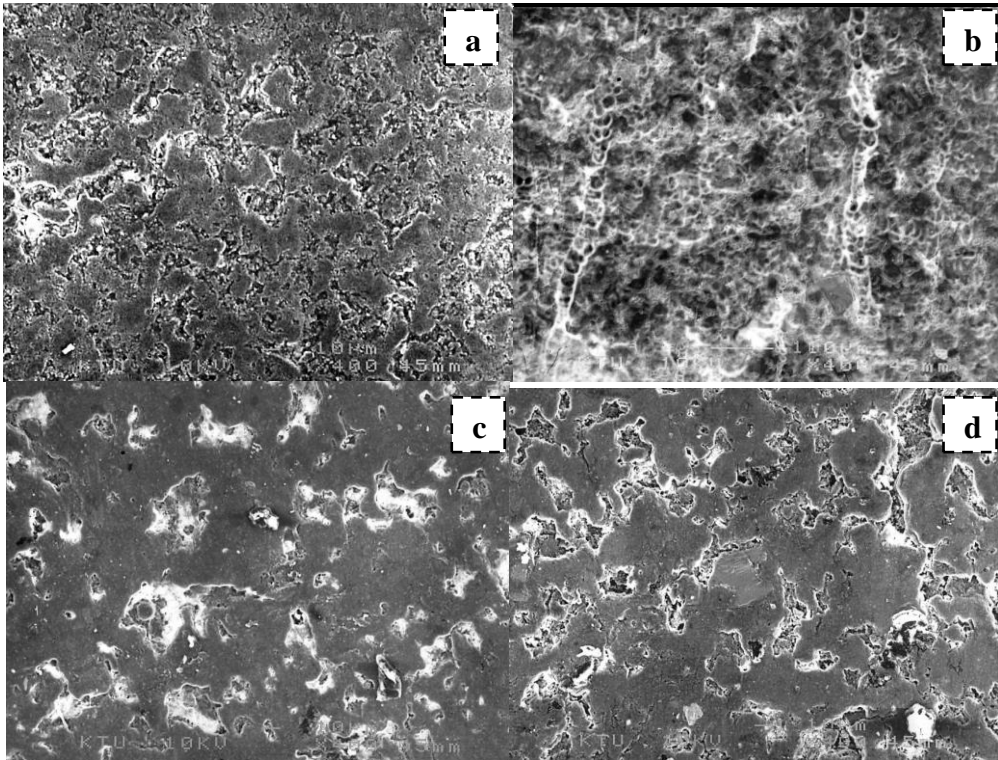


Şekil 3.3. Katkısız ve SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  numunelerinin katkı oranına göre yoğunluk grafiği

### 3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Ölçümü

Katkısız ve %5, %10, %20 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> numunelerinin 400 büyütme oranı ile çekilmiş SEM fotoğrafları şekil 3.4’de görüldüğü gibidir. Şekle bakıldığında; katkısız MgB<sub>2</sub> numunesinin yapısının SiC katkısı ile birlikte değiştiği açıkça görülmektedir. Katkı oranının artması ile birlikte numunenin kütesel yoğunluğunun arttığı ve bunun sonucu olarak süperiletken fazların temas oranının yükseldiği düşünülmektedir.

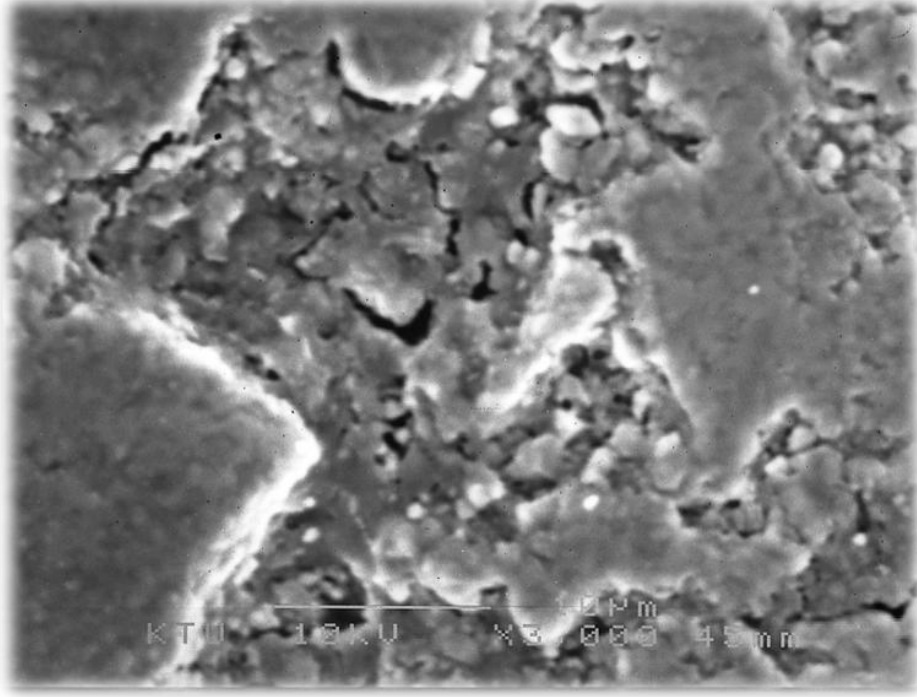
Şekil 3.4(b)’ye bakıldığında zincir şeklinde boşluklu bir yapı belirdiği görülmektedir. SiC katkısının yapıda poroziteye sebep olduğu ve çivileme merkezi gibi davranarak kritik akım yoğunluğunda artışa sebep olduğu bilindiğine göre, %5 SiC katkısının en iyi sonucu vermesi beklenmektedir (Baltaş vd., 2007).



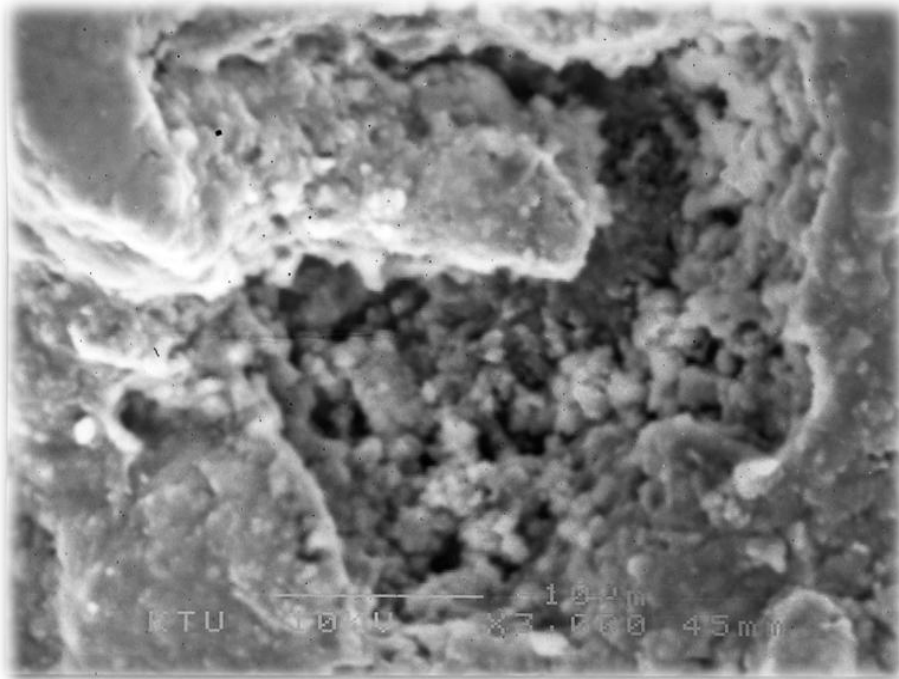
Şekil 3.4. (a) Katkısız MgB<sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X400), (b)%5 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X400), (c)%10 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X400), (d)%20 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X400).

3000 büyütme oranı ile çekilen SEM fotoğrafları incelendiğinde, katkısız MgB<sub>2</sub> numunesinde yapının homojen olduğu görülmektedir. %5 ve %10’luk SiC katkısı ile

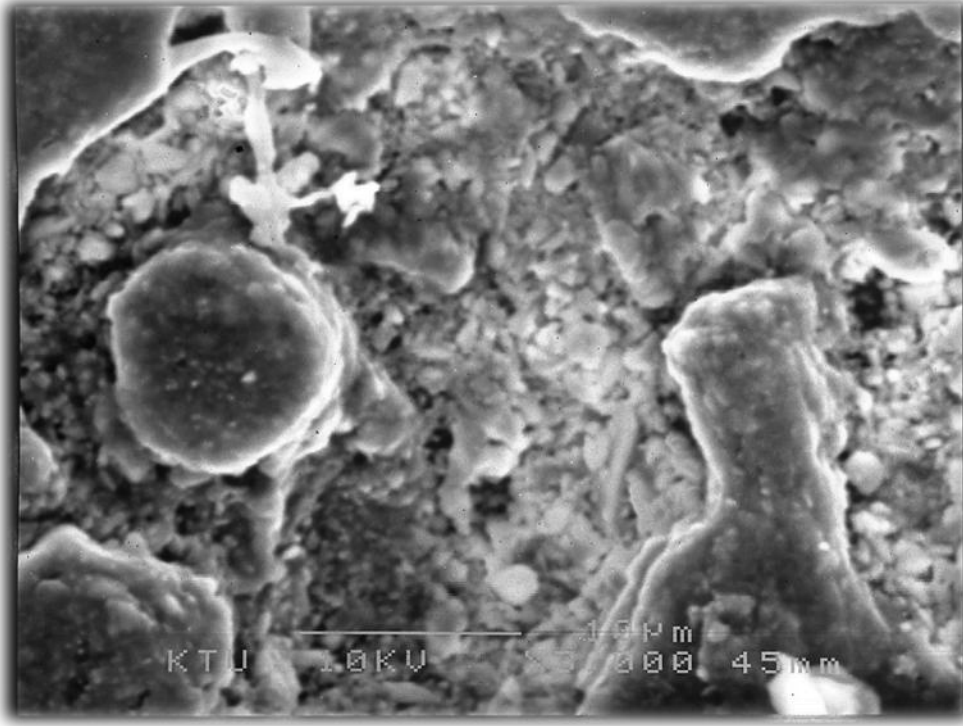
birlikte yapıda porozitelerin oluştuğu ancak %20 SiC katkısında ana faz olan  $MgB_2$  fazlarının ayrıldığı belirgindir.



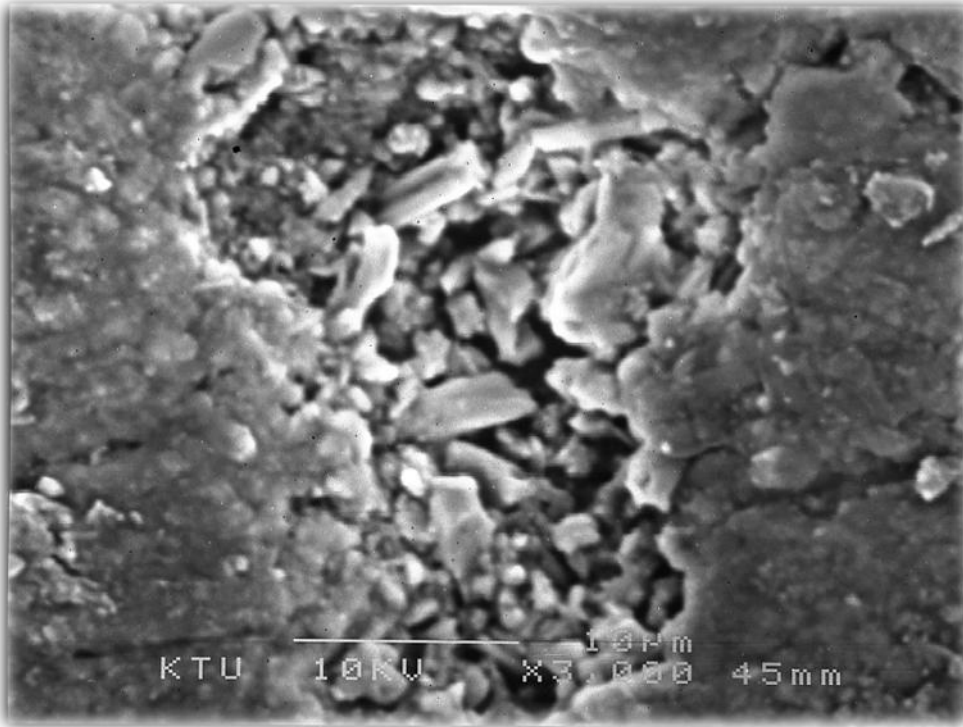
Şekil 3.5. Katkısız  $MgB_2$  numunesinin SEM fotoğrafı (X3000)



Şekil 3.6. %5 SiC katkılı  $MgB_2$  numunesinin SEM fotoğrafı (X3000)



Şekil 3.7. %10 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X3000)



Şekil 3.8. %20 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> numunesinin SEM fotoğrafı (X3000)

### 3.5. Düşük Sıcaklık Manyetizasyon Ölçümleri

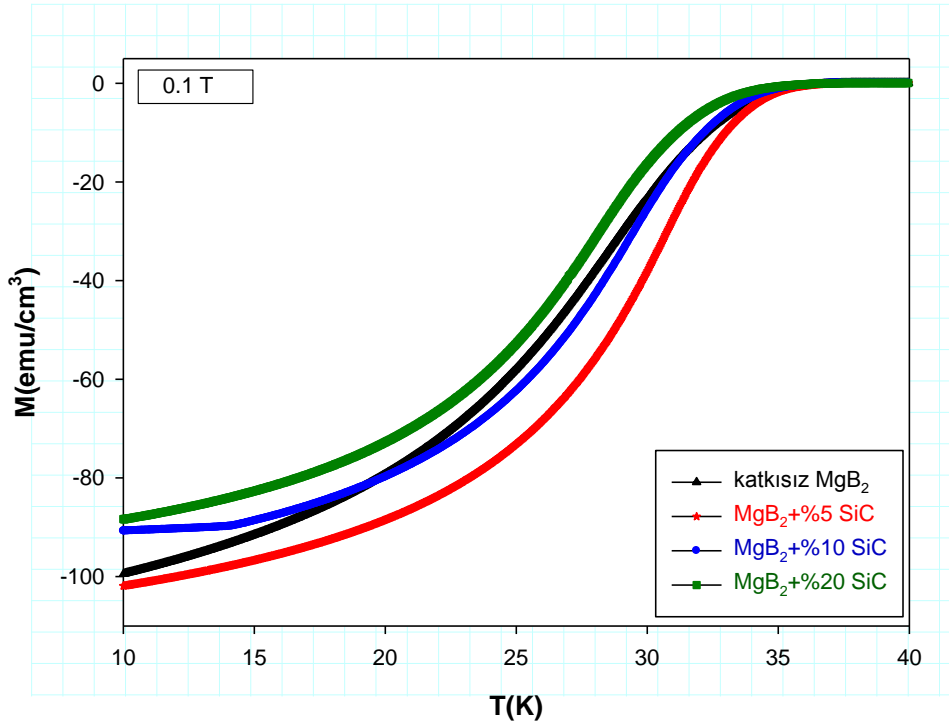
#### 3.5.1. Manyetizasyon-Sıcaklık (M-T) Ölçümü

Şekil 3.9 katkısız, %5, %10 ve %20 lik SiC katkısı yapılmış MgB<sub>2</sub> süperiletkenlerine ait manyetizasyon- sıcaklık grafiğini göstermektedir. Manyetizasyon-sıcaklık grafiğine bakıldığında süperiletken numunelerin kritik sıcaklık değerleri anlaşılmaktadır. Ayrıca sisteme yapılan SiC katkısının kritik sıcaklığın üzerindeki etkisi incelenebilmektedir. Katkısız ve SiC katkılı MgB<sub>2</sub> tabletlerinden yaklaşık 2.5 mm kalınlığında kesilerek ölçüm alındı. Alansız olarak soğutululan (Zero-Field-Cooled, ZFC) numunelerin manyetizasyon-sıcaklık ölçümleri 0.1T manyetik alan altında alındı.

Numunelerin manyetizasyon- sıcaklık eğrilerine bakıldığında, kritik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda manyetizasyon değerlerinin sıfır ekseninde, bununla birlikte diamanyetizmanın bir sonucu olarak, kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda ise negatif bölgede kaldığı görülmektedir.

Şekil 3.9'da eğrilere bakıldığında bütün örneklerin kritik sıcaklık değerlerinin aynı ve 38K olduğu görülmektedir. Eğrinin negatif bölgede kalan kısmına bakıldığı zaman %5'lik SiC katkılı numunenin daha geniş bir yapıda olduğu görülmekte ve bunun sonucu olarak %5 SiC katkılı numunenin kritik akım yoğunluğunun yüksek olması beklenmektedir (Gozzelino vd., 2007; Shcherbakova vd., 2007; Wang vd., 2004). Ayrıca katkılama oranı arttıkça yapıdaki yabancı faz oranının arttığı düşünülmektedir.





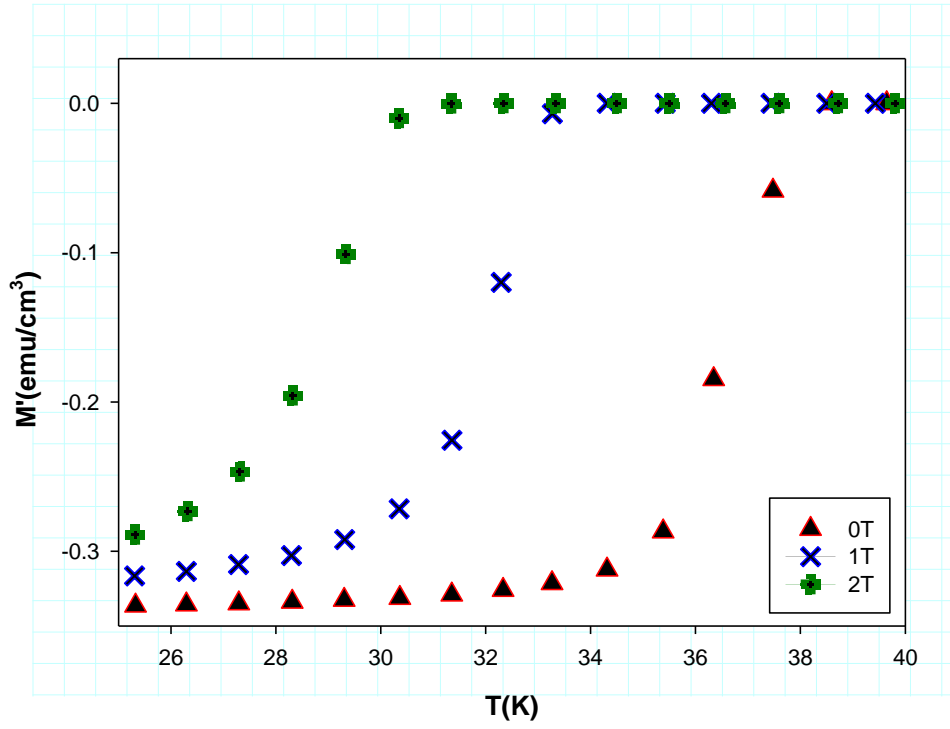
Şekil 3.9. 0.1 T manyetik alan altındaki, katkısız ve SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  süperiletkenlerine ait manyetizasyon-sıcaklık eğrileri

### 3.5.1. AC Alınganlık Ölçümü

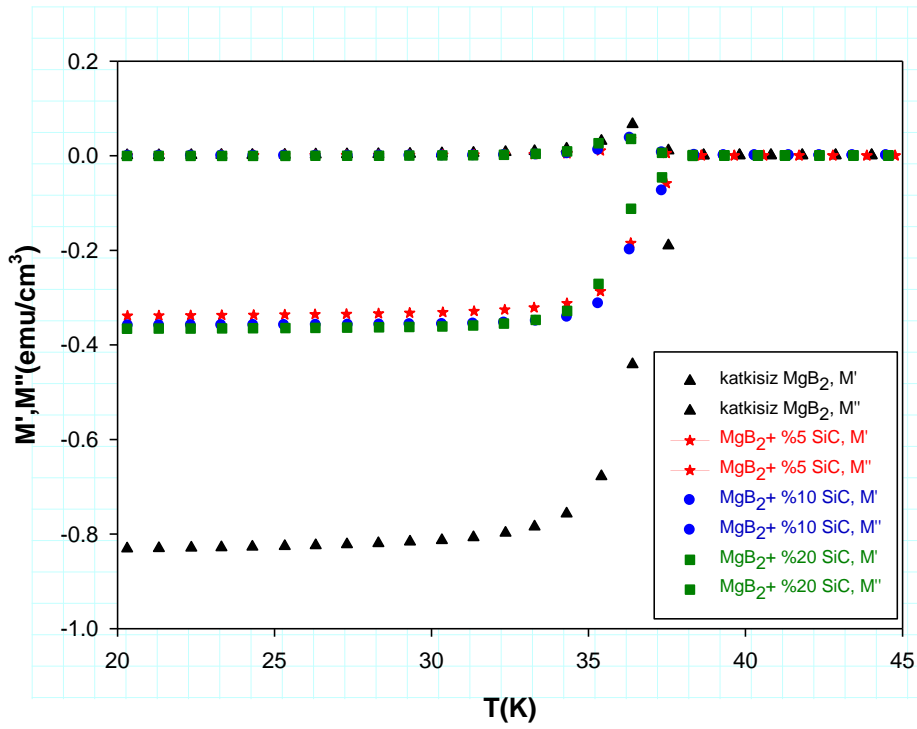
Katıhal tepkime yöntemi ile üretilen ve ölçüm sırasında yaklaşık boyutları  $2,5 \times 2,5 \times 3$  mm<sup>3</sup> olan katkısız ve SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  numunelerinin AC alınganlık ölçümü sonuçları şekil 3.10 ve şekil 3.11’de görüldüğü gibidir. Şekil 3.10, %5 SiC katkısı yapılmış  $MgB_2$  süperiletkeninin 0T, 1T ve 2T manyetik alan altında alınan ölçüm sonuçlarını gösteren eğridir. Farklı alanlarda yapılan ölçümler ile %5 SiC katkılı  $MgB_2$  numunesinin manyetik alana karşı göstereceği duyarlılık tespit edildi. Numuneye uygulanan alan arttıkça manyetik alana karşı olan duyarlılık artmış ve faz kayması olayı gerçekleşmiştir (Di Gioacchino vd., 2004).

Şekil 3.11, katkısız ve SiC katkılandırılmış numunelerin 0T alan altında AC alınganlık ölçüm sonuçlarını vermektedir. Şekle bakıldığında SiC katkısı ile birlikte kritik sıcaklık değerinin daha düşük sıcaklıklara doğru kaydığı görülmektedir.

Şekil 3.10 ve şekil 3.11 incelendiğinde kritik sıcaklığın bütün numuneler için yaklaşık olarak 38,6K civarında olduğu ancak katkı miktarı arttıkça kritik sıcaklıkta beklenen düşüşün olduğu görüldü (Zhang vd., 2007).



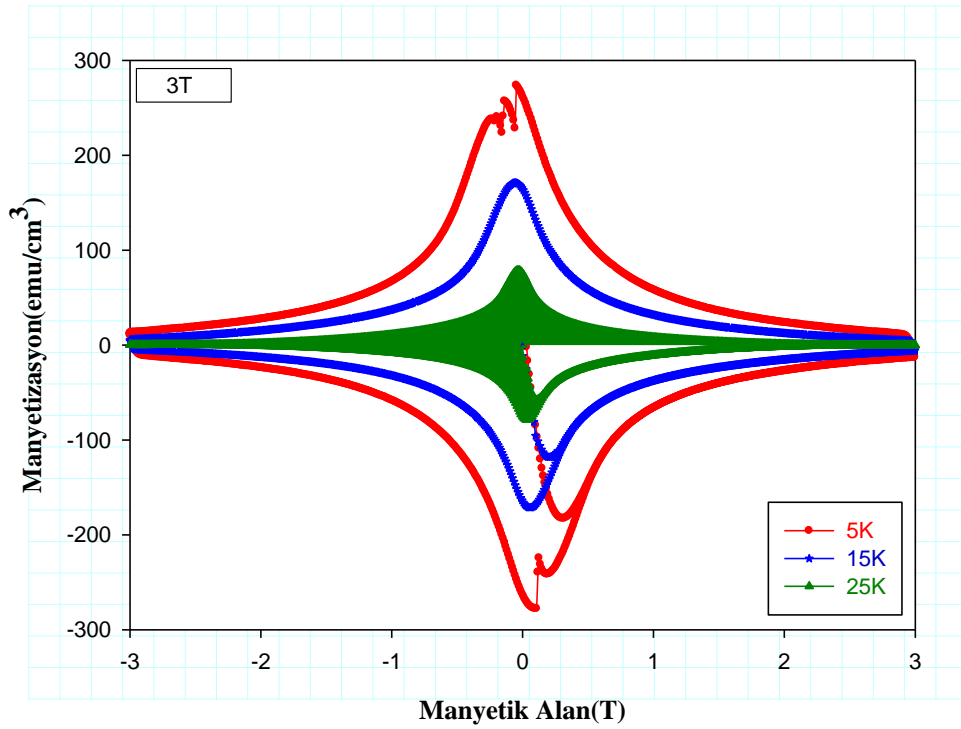
Şekil 3.10. 0T, 1T, 2T manyetik alan altında %5 SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  süperiletkenlerine ait AC Alınanlık eğrileri



Şekil 3.11. 0T manyetik alan altında katkısız ve SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  süperiletkenlerine ait AC Alınanlık eğrileri

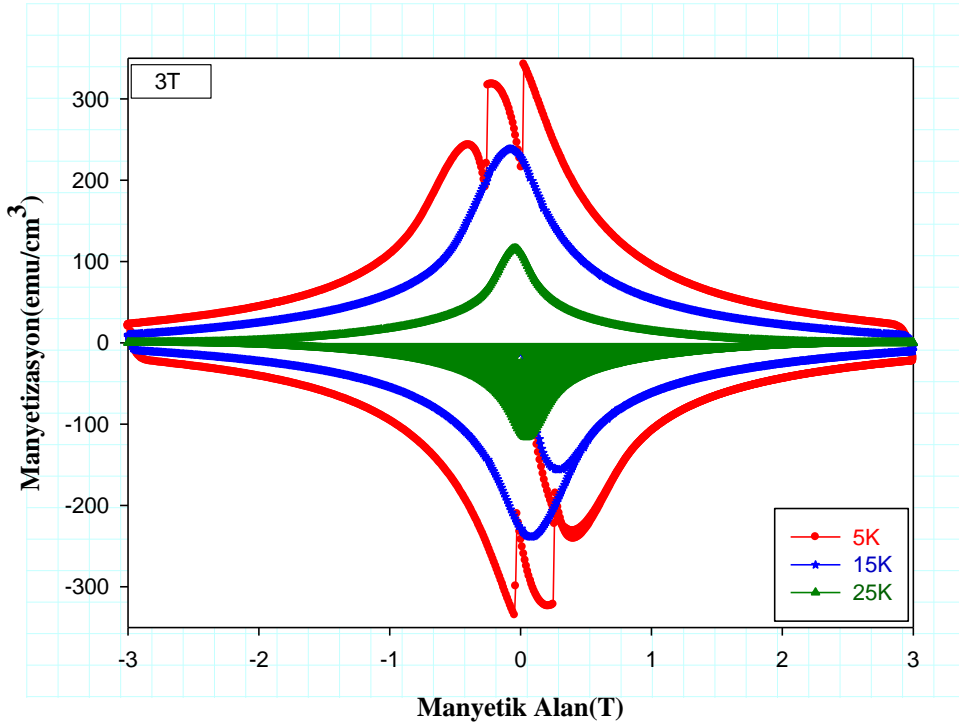
### 3.5.2. Manyetizasyon- Manyetik Alan Ölçümü

3T manyetik alan altında yapılan manyetizasyon-manyetik alan ölçümlerinde numunelerin manyetik davranışları anlaşılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.12 katkısız MgB<sub>2</sub> numunesinin 5, 15 ve 25K'deki manyetizasyon eğrilerini göstermektedir. Şekle bakıldığında katkısız MgB<sub>2</sub> numunesinde 5K'de düşük manyetik alan değerlerinde yerel akı zıplaması olayının gerçekleştiği görüldü. Numunede gözlenen yerel akı zıplaması olayının en önemli sebeplerinden biri manyetik alan kararsızlığıdır. Akı zıplaması olayı manyetik alanın süpürme hızına bağlıdır ve çok hızlı süpürme olması durumunda düşük sıcaklıklarda gözlenmesi olası bir sonuçtur. Ayrıca bir numunenin kritik akım yoğunluğu yüksek ise ve manyetik alanın süpürme hızı da yüksek seçilirse, manyetik kararsızlık meydana gelir ve bunun sonucunda yerel veya tam akı zıplaması olayı gerçekleşir (Yanmaz vd., 2009). Yani süpürme hızının düşük seçilmesi durumunda akı zıplaması olayı ortadan kalkar. Süpürme hızının yanı sıra numunede var olan çivileme merkezleri de akı zıplaması olayının bir sebebidir. Çivileme merkezlerinin sayısı arttıkça akı zıplamasının olma olasılığı yüksek manyetik alan süpürme değerinde olasıdır.



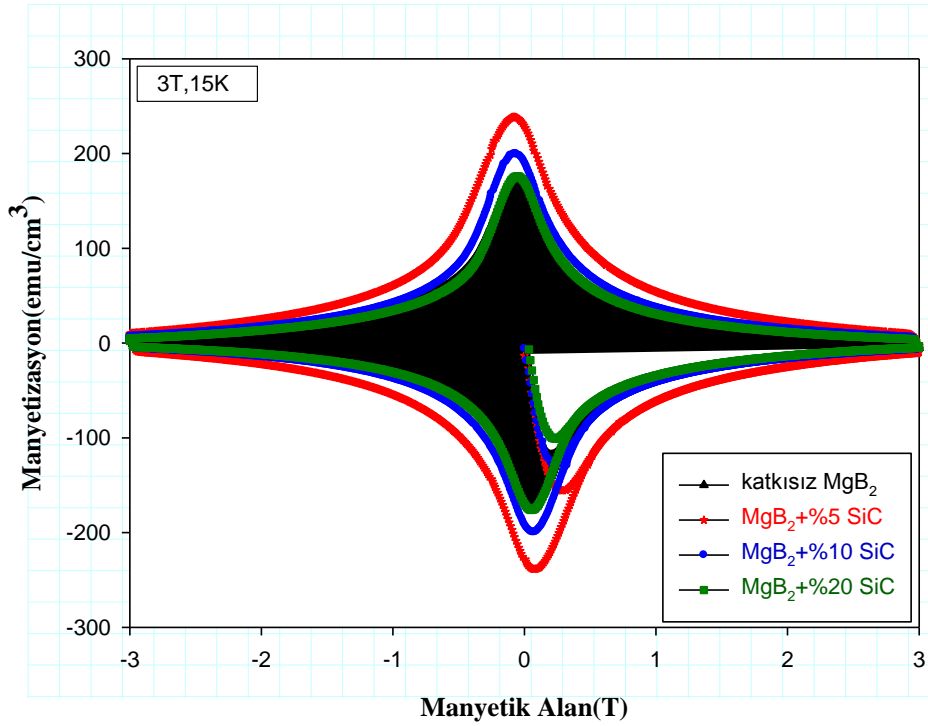
Şekil 3.12. 3T manyetik alan altında ve 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, katkısız MgB<sub>2</sub> süperiletkenine ait Manyetizasyon-Manyetik alan eğrileri

Şekil 3.13 %5 SiC katkılı  $MgB_2$  numunesinin manyetizasyon eğrilerini göstermektedir. Şekle bakıldığında katkısız  $MgB_2$  numunesinde de olduğu gibi yerel akı zıplaması olayı gözlemlendi. Ancak %5 SiC katkılı  $MgB_2$  numunesinde gözlenen yerel akı zıplaması olayının daha belirgin olduğu görüldü. Numuneye katkılanan SiC'in çivileme merkezi gibi davrandığını ve yer akı zıplaması olayına sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.13. 3T manyetik alan altında ve 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, %5 SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  süperiletkenine ait manyetizasyon-manyetik alan eğrileri

3T manyetik alan altında ve 15K sıcaklığında, katkısız ve SiC katkılandırılmış  $MgB_2$  süperiletkenlerine ait manyetizasyon-manyetik alan eğrileri şekil 3.14' de görüldüğü gibidir. Grafiğe bakıldığında manyetizasyon- manyetik alan eğrilerinde, SiC katkısı ile birlikte manyetizasyon değerinde artış olduğu görülmektedir. Şekil incelendiğinde %5 SiC katkılı  $MgB_2$  numunesinin M-H eğrisinin diğerlerine göre en yüksek eğri olduğu, bunun sonucu olarak da en büyük kritik akım yoğunluğunun %5 SiC katkısı ile oluşacağı açıktır.



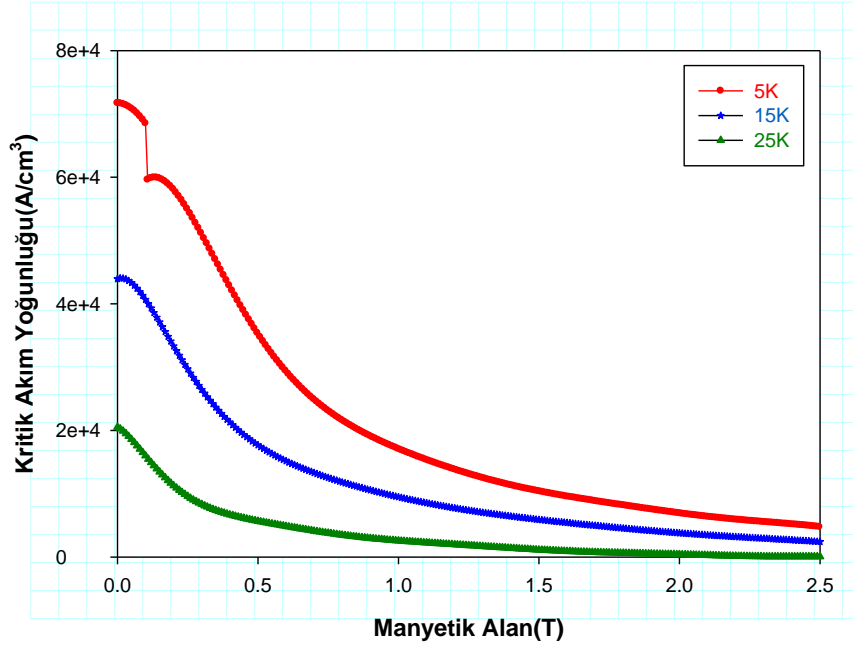
Şekil 3.14. 3T manyetik alan altında ve 15K sıcaklığında, katkısız ve SiC katkılı MgB<sub>2</sub> süperiletkenlerine ait manyetizasyon-manyetik alan eğrileri

Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17 3T manyetik alan altındaki alınan M-H ölçüm sonuçlarından hesaplanan kritik akım yoğunluğu eğrilerini göstermektedir. Hesaplanan kritik akım yoğunluğu değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verildiği gibidir.

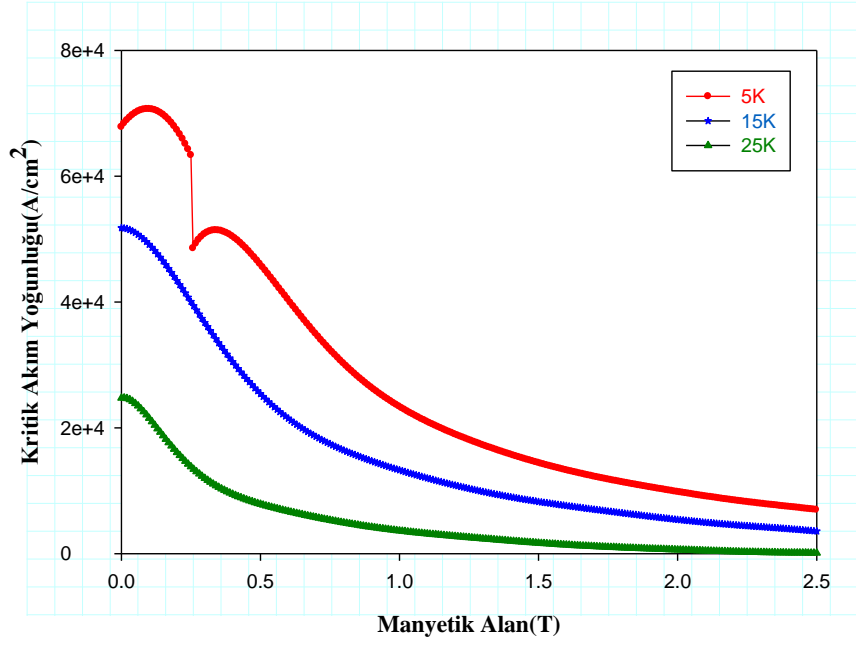
Tablo 3.1. 3T manyetik alan altında, 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, katkısız ve %5 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> numunelerine ait kritik akım yoğunluğu değerleri

	Kritik Akım Yoğunluğu Değerleri (J <sub>c</sub> , A/cm <sup>3</sup> )	
	Katkısız MgB <sub>2</sub>	%5 SiC Katkılı MgB <sub>2</sub>
<b>T=5K</b>	0,71x10 <sup>5</sup>	0,72x10 <sup>5</sup>
<b>T=15K</b>	0,43x10 <sup>5</sup>	0,51x10 <sup>5</sup>
<b>T=25K</b>	0,2x10 <sup>5</sup>	0,24x10 <sup>5</sup>

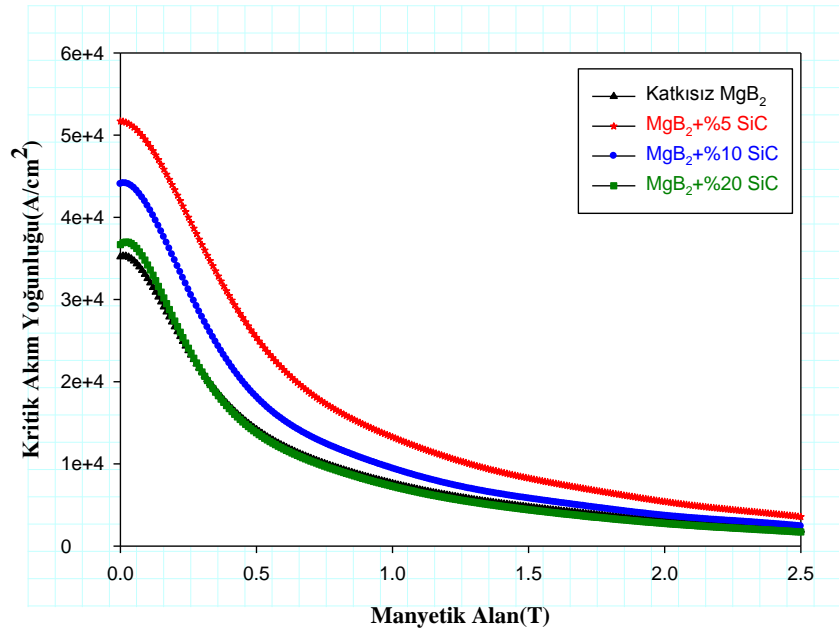
Manyetik alan değerinin artması ile birlikte bütün numunelerin kritik akım yoğunluğu değerinde sistematik bir düşüşün olduğu görölmektedir. Fakat katihal tepkime yöntemi ile üretilen seramik süperiletkenler ile kıyaslandığında,  $MgB_2$ 'nin dış manyetik alana karşı daha güçlü davranış sergilediği söylenebilir. Bunun sebebi de seramik süperiletkenlerde var olan weak link olayının  $MgB_2$  süperiletkeninde olmamasıdır.



Şekil 3.15. 3T manyetik alan altında ve 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, katkısız  $MgB_2$  süperiletkenine ait kritik akım yoğunluğu eğrileri



Şekil 3.16. 3T manyetik alan altında ve 5K, 15K, 25K sıcaklıklarında, %5 SiC katkılı  $MgB_2$  süperiletkenine ait kritik akım yoğunluğu eğrileri



Şekil 3.17. 3T manyetik alan altında ve 15K sıcaklığında, katkısız ve SiC katkılı  $MgB_2$  süperiletkenlerine ait kritik akım yoğunluğu eğrileri

Tablo 3.2. 3T manyetik alan altında, 15K sıcaklığında, katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB<sub>2</sub> numunelerine ait kritik akım yoğunluğu değerleri

	<b>Kritik Akım Yoğunluğu Değerleri (J<sub>c</sub>, A/cm<sup>3</sup>)</b>			
	<b>Katkısız MgB<sub>2</sub></b>	<b>%5 SiC Katkılı MgB<sub>2</sub></b>	<b>%10 SiC Katkılı MgB<sub>2</sub></b>	<b>%20 SiC Katkılı MgB<sub>2</sub></b>
<b>T=15K</b>	0,35x10 <sup>5</sup>	0,51x10 <sup>5</sup>	0,44x10 <sup>5</sup>	0,36x10 <sup>5</sup>

Şekil 3.15 ve Tablo 3.2 incelendiğinde en yüksek kritik akım yoğunluğu değerinin %5 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> numunesine ait olduğu görülmektedir. Ayrıca %10 ve %20'lik katkılama oranlarında da yine kritik akım yoğunluğu değerinin katkısız MgB<sub>2</sub> numunesine kıyasla daha fazla olduğu açıktır.



#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, katkısız ve %5, %10, %20 SiC katkıli olmak üzere dört adet MgB<sub>2</sub> numunesi üretildi. SiC katkısının MgB<sub>2</sub> süperiletkeninde meydana getirebileceği yapısal ve manyetik özellikler araştırıldı. Araştırmada, numunelerin yapısal özellikleri X-ışınları kırınımı, yoğunluk ve taramalı elektron mikroskobu ölçümleriyle, manyetik özellikleri ise PPMS sistemi kullanılarak; M-T, AC alınganlık ve M-H ölçümleri ile incelendi. Numunelerin X-ışını kırınım desenlerinden katkısız ve SiC katkılandırılmış MgB<sub>2</sub> süperiletkenlerinin fazları belirlendi. M-T ve AC alınganlık ölçümlerinden kritik sıcaklık değeri, M-H eğrilerinden ise kritik akım yoğunluğu( $J_c$ ) hesaplandı.

Yapılan bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Üretilen katkısız MgB<sub>2</sub> numunesinin X-ışınları kırınım desenlerine bakıldığında, ticari olarak satın alınan toz ile uyum içerisinde olduğu görüldü. SiC katkısının MgB<sub>2</sub> süperiletkeninin ana fazlarının şiddetinde önemli bir değişikliğe yol açmadığı belirlendi.
2. Katkı oranının artması ile birlikte numunenin kütleli yoğunluğunun arttığı ve bunun sonucu olarak da süperiletken fazların temas oranının yükseldiği SEM fotoğrafları da incelenerek gözlenmektedir.
3. MgB<sub>2</sub> numunesine yapılan SiC katkısının yoğunluğu artırdığı böylece bağıl yoğunluk değerine yaklaşıldığı belirlendi.
4. Yapılan SiC katkısı ile birlikte beklenen kritik sıcaklık miktarındaki düşüşün manyetizasyon- sıcaklık eğrilerinden gözlemek mümkündür.
5. AC alınganlık ölçümlerinden bütün numuneler için kritik geçiş sıcaklığı yaklaşık olarak 38,6 K civarında olduğu belirlendi.
6. Yapılan %5, %10 ve %20'lik SiC katkıları MgB<sub>2</sub> süperiletkeninin akım yoğunluğunda artışa sebep olmuştur. Akım yoğunluğunda en fazla artışa sebep olan katkı oranı ise %5 SiC katkısıdır.
7. %20 SiC katkılandırılmış MgB<sub>2</sub> numunesinin katkısız MgB<sub>2</sub> numunesi ile aynı manyetik özelliğe sahip olduğu kritik akım yoğunluğu değerlerinden anlaşılmıştır.
8. M-T ve M-H eğrilerine bakıldığında, %5'lik SiC katkıli numunenin daha geniş bir yapıda olduğu görülmekte ve bunun sonucu olarak da en yüksek kritik akım

yoğunluğu değeri olan  $0,72 \times 10^5$  A/cm<sup>2</sup> değerinin %5 SiC katkılı MgB<sub>2</sub> olarak bulundu.

9. Kritik akım yoğunluğundaki artış SiC katkısının yapıda yabancı faz gibi davranarak tuzaklama merkezi gibi davranmasına bağlanmıştır.

## 5. ÖNERİLER

Bu çalışmada SiC katkısının MgB<sub>2</sub> süperiletkeni üzerindeki etkisi araştırıldı. Katkılama oranı olarak %5, %10 ve %20 seçildi. Bu çalışmayı takip eden çalışmalarda farklı katkılama oranları seçilebilir.

Çalışma sonuçlarından anlaşıldığı gibi en iyi katkı oranı olarak %5'lik SiC katkısı olduğu belirlenmiştir. %5 katkı oranına yakın katkılama oranları seçilerek kritik akım yoğunluğu değeri artırılabilir.

Bu çalışmada kritik geçiş sıcaklığı M-T ve AC alınganlık ölçüm sonuçlarından belirlendi. İzleyen çalışmalarda geçiş sıcaklığını belirleyebilmek için direnç ölçümü yapılabilir.

SiC katkısının yapıda oluşturabileceği sertlik değerinin anlaşılabilmesi amacıyla Vickers sertlik analizlerinden yararlanılabilir.

MgB<sub>2</sub> süperiletken yapısına farklı katkılama sistemleri uygulanabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akimitsu J., 2001. Symposium on Transition Metal Oxides, Sendai, Japan.
- Aksan, M.A., Yakıncı, M. E. ve Güldeste, A. 2006. Co-addition into MgB<sub>2</sub>: The structural and electronic properties of (MgB<sub>2</sub>)<sub>2-x</sub>Co<sub>x</sub>, Journal of Alloys and Compounds, 424, 1-2, 33-40.
- Mudgel, M., Awana, V. P. S., Kishan, H. ve Bhalla, G. L., 2008. Significant improvement of flux pinning and irreversibility field in nano-carbon-doped MgB<sub>2</sub> superconductor, Science Direct, 146, 330-334.
- Baltaş, H., Çelik, Ş., Çevik, U. ve Yanmaz, E., 2007. Measurement of mass attenuation coefficients and effective atomic numbers for MgB<sub>2</sub> superconductor using X-ray energies, Science Direct, 42, 55-60.
- Buzea, C. ve Yamashita, T., 2001. Review of the Superconducting properties of MgB<sub>2</sub>, Supercond. Sci. Technol., 14, R115-R146, PII: S0953-2048(01) 2798-1
- Cheng, C. H., Zhao, Y., Wang, L. ve Zhang, H., 2002. Preparation, structure and superconductivity of Mg<sub>1-x</sub>Ag<sub>x</sub>B<sub>2</sub>, Physica C: Superconductivity, 378-381, 1, 244-248.
- Cheng, C. H., Zhang, H., Zhao Y., Feng, Y., Rui, X. F., Munroe, P., Zeng, H. M., Koshizuka N., ve Murakami, M., 2003. Doping effect of nano-diamond on superconductivity and flux pinning in MgB<sub>2</sub>, Supercond. Sci. Technol., 16, 1182-1186, PII: S0953-2048(03)59295-8.
- Çelik, S., 2006. (Y<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>/2Gdx/2)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> ve (Yb<sub>1-x</sub>Gdx)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> Süperiletkenlerinin Yapısal ve Fiziksel Özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen-Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Di Gioacchino, D., Tripodi, P., Gambardella, U., Sandu, V., Popa, S., Miu, L. ve Vinko, D. 2004. Third harmonic ac susceptibility measurements in MgB<sub>2</sub> bulk: frequency behavior of 2D and 3D glass pinning analysis, Physica C, 408-410, 120-122.
- Dou, S. X., Pan, A. V., Zhou, S., Ionescu, M., Liu, H. K. ve Munroe, P. R. 2002. Substitution-induced pinning in MgB<sub>2</sub> superconductor doped with SiC nanoparticles, Supercond. Sci. Technol., 15, 1587-1591.
- Elsabawy, K. M. ve Kandyel, E. E., 2007. Lead substitutions for promoted critical current density J<sub>c</sub> and mechanical properties of Mg<sub>1-x</sub>Pb<sub>x</sub>B<sub>2</sub> regime, Materials Research Bulletin, 42, 6, 1051-1060.

- Gao, L., Xue, Y.Y., Chen, F., Xiong, Q., Meng, R. L., Ramiraz, D., Chu, C. W., Eggert, J. H. ve Mao, H. K., 1994. Superconductivity up to 164 K in  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{m-1}\text{Cu}_m\text{O}_{2m+2+\delta}$  ( $m=1,2$  ve  $3$ ) under quasi-hydrostatic pressures, Phys. Rev. B, 50, 6, 4260-4263.
- Gozzelino, L., Minetti, B., Gerbaldo, R., Ghigo, G., Laviano, F., Lopardo, G., Giunchi, G., Perini, E., Cavallin, T. ve Mezzetti E., 2007. Pinning properties in pure and SiC doped  $\text{MgB}_2$  bulk obtained by reactive Mg liquid infiltration technique, Physica C: Superconductivity, 460–462, 1, 604–605.
- Gu, D.W., Cai, Y.M., Yau, J.K.F., Cui, Y.G., Wu, T., Yuan, G.Q., Shen, L.J. ve Jin, X., 2003. Effect of Pb substitution in bulk superconducting  $\text{MgB}_2$ , Physica C: Superconductivity, 386, 643-647.
- Guo, J. D., Xu, X. L., Wang, Y. Z., Shi, L. ve Liu, D. Y., 2004. Preparation of Ag-doped  $\text{Mg}_{1-x}\text{Ag}_x\text{B}_2$  superconductors, Materials Letters, 58, 29, 3707-3709.
- Goto, D., Machi, T., Zhao, Y., Koshizuka, N., Murakami, M. ve Arai, S., 2003. Improvement of critical current density in  $\text{MgB}_2$  by Ti, Zr and Hf doping, Physica C: Superconductivity, 392-396, 1, 272-275.
- He Lun-Hua et al., 2001. A structure analysis of superconductor  $\text{MgB}_2$ , Chin. Phys. Lett., 18, 104.
- Huang, X., Mickelson, W., Regan, B. C. ve Zettl, A., 2005. Enhancement of the upper critical field of  $\text{MgB}_2$  by carbon-doping, Solid State Communications, 136, 5, 278-282.
- Hol'anova, Z., Kacmarcik, J., Szabo, P., Samuely, P., Sheikin, I., Ribeiro, R.A., Bud'ko, S.L. ve Canfield, P. C., 2004. Critical fluctuations in the carbon-doped magnesium diboride, Physica C: Superconductivity, 404, 1-4, 195-199.
- Iwasa, Y., Larbalestier, D. C., Okada, M., Penco, R., Sumption, M. D. ve Xi, X. X., 2006. A round table discussion on  $\text{MgB}_2$  toward a wide market or a niche production, Trans. Appl. Supercond., 16, 2, 1457-1464.
- Kamihara, Y., Hidenori, H., Masahiro, H., Ryuto, K., Hiroshi, Y., Toshio, K. ve Hosono, H., 2006. Iron-Based Layered Superconductor:  $\text{LaOFeP}$ , J. Am. Chem. Soc., 128, 31, 10012–10013.
- Kamihara, Y., Watanabe, T., Hirano, M. ve Hosono, H., 2008. Iron-Based Layered Superconductor  $\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$  ( $x = 0.05\text{--}0.12$ ) with  $T_c = 26$  K, J. Am. Chem. Soc., 130, 11, 3296–3297.
- Katsura, Y., Yamamoto, A., Ueda, S., Iwayama, I., Horii, S., Shimoyama, J. ve Kishio, K., 2007. Flux pinning properties of undoped and C-doped  $\text{MgB}_2$  bulks with controlled grain sizes, Physica C: Superconductivity, 460-462, 1, 572-573.

- Kittel, C., 1996. Introduction to Solid State, 7th Edition, Jhon Wiley, New York, U.S.A.
- Kühberger, M. ve Gritzner, G., 2002. Effects of Sn, Co and Fe on MgB<sub>2</sub>. Physica C: Superconductivity, 370,1, 39-43.
- Li, H. L., Ruan, K. Q., Li, S. Y., Yu, Y., Wang, C. Y. ve Cao, L. Z., 2003. Upper critical field and the effect of Li doping on the activation energy in MgB<sub>2</sub>, Physica C: Superconductivity, 386, 560-564.
- Meissner, W. ve Ochsenfeld, R., 1933. Ein neuer Effekt bei eintritt der Supraleit fahigkeit, Naturwissenschaften, 21,44,787-788.
- Michel, C., Hervieu, M., Borel, M. M., Gradlin, A., Deslandes, F., Provost, J. ve Raveau, B., 1987. Superconductivity in the Bi-Sr-Cu-O System, Z. Phys. B-Condensed Matter, 68, 421-423.
- M'chirgui, A., Azzouz, F. B., Annabi, M., Zouaoui, M. ve Salem, M. B., 2005. Structure and superconductivity of Mg<sub>1-x</sub>Pb<sub>x</sub>B<sub>2</sub>. Solid State Communications, 133, 5, 321-325.
- Margadonna, S., Prassides, K., Arvanitidis, I., Pissas, M., Papavassiliou G. ve Fitch, A. N., 2002. Crystal structure of the Mg<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>B<sub>2</sub> superconductors near x≈0.5, Phys. Rev. B, 66, 014518.
- Onnes, H. K., 1911. Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden, 119-120.
- Omar, M. A., 1975. Elementary solid state physics: principles and applications, Addison-Wesley, London, England.
- Öztürk, K., 2006. Gadolinium ve İterbiyum Difüzyonunun YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> Bileşiğinin Yapısal ve Süperiletkenlik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen-Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- P. Poole Jr., C., Datta, T. ve Farach H., 1988. Copper Oxide Superconductors, Wiley-Interscience, 0471623423.
- Paranthaman M., Thompson J. R. ve Chriten D. K., 2001. Effect of carbon-doping in bulk superconducting MgB<sub>2</sub> samples, Physica C: Superconductivity, 355, 1-2, 1-5.
- Prikhna, T. A., Gawalek, W., Surzhenko, A. B., Moshchil, V. E., Sergienko, N. V., Savchuk, Ya. M., Melnikov, V. S., Nagorny, P. A., Habisreuther, T., Dub, S. N., Wendt, M., Litzkendorf, D., Dellith, J., Schmidt, Ch., Krabbes, G. ve Vlasenko, A. V., 2002. High-pressure synthesis of MgB<sub>2</sub> with and without tantalum additions, Physica C: Superconductivity, 372-376, 3, 1543-1545.
- Putilin, S. N., Antipov, E.V., Chmaissem, O. ve Marezio., 1993. Superconductivity at 94 K in the HgBa<sub>2</sub>CuO<sub>4+δ</sub>, Nature, 362, 6417, 226-228.

- Purnell, A. J., Cohen, L. F., Zhai, H. Y., Christen, H. M., Paranthaman, M. P., Lowndes, D. H., Hao, L. ve Gallop, J. C., 2004. Nonlinear microwave response of an MgB<sub>2</sub> thin film, Supercond. Sci. Technol., 17,4, 681-684.
- Rose-Innes, A.C. ve Rhoderick, E.H., 1980. Introduction to Superconductivity, second edition, Pergamon Press Ltd., England.
- Rui, X. F., Zhao, Y., Xu, Y. Y., Zhang, L., Sun, X. F., Wang, Y. Z. ve Zhang, H., 2004. Improved flux pinning behaviour in bulk MgB<sub>2</sub> achieved by nano-SiO<sub>2</sub> addition, Supercond. Sci. Technol., 17, 4, 689-691.
- Ribeiro, R. A., Bud'ko, S. L., Petrovic, C. ve Canfield, P. C., 2003. Carbon doping of superconducting magnesium diboride, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 384, 3, 227-236.
- Schilling, A. ve Cantoni, M., Guo, J. D. ve Ott, H. R., 1993. Superconductivity above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O System, Nature, 363, 6424, 56-58.
- Sekkina, M. M. A., Elsabawy, K. M., 2003. Narrow range of iridium-substitution on Mg<sub>1-x</sub>Ir<sub>x</sub>B<sub>2</sub> superconductor, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 391, 3, 217-222.
- Shcherbakova, O.V., Pan, A. V., Soltanian, S. ve Dou, S. X. 2007. Cooling rate effect on microstructure and superconducting properties of pure and SiC doped MgB<sub>2</sub> superconductors, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 460, 579–580, 1.
- Sheng, Z. Z. ve Hermann, A. M., 1988. Superconductivity in the Rare-Earth-Free Tl-Ba-Cu-O System Above Liquid-Nitrogen Temperature, Nature, 332, 55-59.
- Shinohara, K., Ikeda H. ve Yoshizaki, R., 2007. Al addition effect of bulk MgB<sub>2</sub> superconductor, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 463, 471-473.
- Soltanian, S., Horvat, J., Wang, X. L., Munroe, P. ve Dou, S., 2003. Effect of nano-carbon particle doping on the flux pinning properties of MgB<sub>2</sub> superconductor, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 390, 3, 185-190.
- Suemitsu, N., Masui, T., Lee, S. ve Tajima, S., 2006. Mn substitution effect on superconducting properties of MgB<sub>2</sub> single crystals, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 445, 39-41.
- Ueda, S., Shimoyama, J., Yamamoto, A., Katsura, Y., Iwayama, S., Horii, S. ve Kishio, K. 2005. Flux pinning properties of impurity doped MgB<sub>2</sub> bulks synthesized by diffusion method, Physica C, 426–431, 1225–1230.
- URL-1, [http://picasaweb.google.com/lh/photo/jFNTtqIqGzJsAK0TAN9\\_Ug](http://picasaweb.google.com/lh/photo/jFNTtqIqGzJsAK0TAN9_Ug), 26 Mart 2010.

URL-2, <http://www.ncnr.nist.gov>, 16 Nisan 2010.

URL-3, <http://www.iitap.iastate.edu/htcu/figure2.jpg>, 7 Mayıs 2010.

- Wang, X. L., Soltanian, S., James, M., Qin, M. J., Horvat, J., Yao, Q. W., Liu, H. K. ve Dou, S. X., 2004. Significant enhancement of critical current density and flux pinning in MgB<sub>2</sub> with nano-SiC, Si, and C doping, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 408, 63–67.
- Wang, X. L., Zhou, S. H., Qin, M. J., Munroe, P. R., Soltanian, S., Liu, H. K. ve Dou, S. X., 2003. Significant enhancement of flux pinning in MgB<sub>2</sub> superconductor through nano-Si addition, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 385, 4, 461-465.
- Wilke, R. H. T., Bud'ko, S. L., Canfield, P. C., Kramer, M. J., Wu, Y. Q., Finnemore, D. K., Suplinskas, R. J., Marzik J. C. ve Hannahs S. T., 2005. Superconductivity in MgB<sub>2</sub> doped with Ti and C, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 418, 3-4, 160-167.
- Xu, G. J., Grivel, J. C., Abrahamsen, A. B., Chen, X. P. ve Andersen, N. H., 2004. Superconducting properties of Zn and Al double-doped Mg<sub>1-x</sub>(Zn<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>)<sub>x</sub>B<sub>2</sub>, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 403, 3, 113-118.
- Xiang, J. Y., Zheng, D. N., Li, J. Q., Li, S. L., Wen, H. H. ve Zhao, Z. X., 2003, Effects of Al doping on the superconducting and structural properties of MgB<sub>2</sub>, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 386, 611-615.
- Yan, S. C., Yan, G., Lu, Y. F. ve Zhou, L., 2007. The upper critical field in micro-SiC doped MgB<sub>2</sub> fabricated bby a two-step reaction method, Supercond. Sci. Techol., 20, 549–553.
- Yanmaz, E., Savaşkan, B., Başoğlu, M., Taylan, Koparan, E. Dilley, N.R. ve Grovenor, C.R.M., 2009. Complete Flux Jumping in Nano-Structured MgB<sub>2</sub> Superconductors Prepared by Mechanical Alloying, Journal of Alloys and Compounds, 480, 203-207.
- Yanmaz, E. 1992. Preparation and Characterisation of Melt-Processed Y-Ba-Cu-O and Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Ceramic Superconductors. Thesis submitted to the faculty of engineering of the University of Birmingham for the degree of doctor of philosophy(Ph. D).
- Young, D. P., Adams, P. W., Chan, J. Y. ve Fronczek, F. R., 2001. Structure and Superconducting Properties of "BeB<sub>2</sub>", Condensed Matter, Superconductivity, 0104063.
- Yeoh, W. K. ve Dou, S., 2007. Enhancement of H<sub>c2</sub> and J<sub>c</sub> by carbon-based chemical doping. Physica C: Superconductivity and Its Applications, 456, 1-2, 170-179.



- Yeoh, W. K., Kim, J. H., Horvat, J., Xu, X. ve Dou, S.X. 2007. Enhancement of critical current density and irreversibility field by nano-carbon substitution in Mg<sub>2</sub>, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 460, 568-569, 1.
- Zhang, X. P., Ma, Y. W., Gao, Z. S., Yu, Z. G., Wang, D. L., Watanabe, K. ve Guo, J. D., 2007. Fabrication and superconducting properties of nano-SiC doped MgB<sub>2</sub> tapes. Chinese Science Bulletin, 52, 18, 2477-2480.
- Zhang, H. R., Zhao, J. Y. ve Shi, L. 2005. The charge transfer induced by Cr doping in MgB<sub>2</sub>, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 424, 1-2, 79-84.
- Zhao, Y. G., Zhang, X. P., Qiao, P. T., Zhang, H. T., Jia, S. L., Cao, B. S., Zhu, M. H., Han, Z. H., Wang, X. L. ve Gu, B. L., 2001. Effect of Li doping on structure and superconducting transition temperature of Mg<sub>1-x</sub>Li<sub>x</sub>B<sub>2</sub>, Physica C, 361, 2, 91-94.
- Zheng, D. N., Xiang, J. Y., Lang, P. L., Li, J. Q., Che, G. C., Zhao, Z. W., Wen, H. H., Tian, H. Y., Ni, Y. M. ve Zhao, Z. X., 2004. Structural and critical current properties in Al-doped MgB<sub>2</sub>, Physica C: Superconductivity and Its Applications, 408, 136-137.
- Zhou, S. H., Pan, A. V., Qin, M. J., Liu, H. K. ve Dou, X. S., 2003. Effect of the processing parameters of MgB<sub>1.8</sub>(SiC)<sub>0.1</sub>/Fe tapes on the critical current density, Physica C: Superconductivity, 387, 3-4, 321-327.

## ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Trabzon'da doğdu. 1998 yılında başladığı lise eğitimini Trabzon Tefvik Serdar Anadolu Lisesi'nde 2002 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fatih Eğitim Fakültesi Orta Öğretim Fen- Matematik Alanları Fizik Eğitimi Bölümü'nü kazandı ve 2007 yılında buradan mezun oldu. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı ve yüksek lisans öğreniminin ilk yılında İngilizce hazırlık okudu. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Şubat 2010- Şubat 2011 tarihleri arasında Hakkari Üniversitesi'nde öğretim görevliliği yaptı. Araştırmacı evlidir.