

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NANO BOYUTTA KATKILANDIRILMIŞ MgB_2 SÜPER İLETKENİN
MANYETİK KARAKTERİZASYONU**

Özlem ÇİÇEK

FİZİK ANABİLİM DALI

ANKARA

2007

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisan Tezi

NANO BOYUTTA KATKILANDIRILMIŞ MgB_2 SÜPERİLETKENİN MANYETİK KARAKTERİZASYONU

Özlem ÇİÇEK

Ankara Üniversitesi
Fenbilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali GENCER

Bu çalışmada; MgB_2 'ye ferromanyetik bir malzeme olan Fe_3O_4 %0-10 arasında çeşitli oranlarda katılarak süperiletkenlik özelliklerinde herhangi bir gelişme olup olmadığı incelenmiştir. Hazırlanan numunelerin kristal yapısı XRD'si çekilerek incelenmiştir. Bu sonuçlara göre asıl fazda bir değişme olmadığı gözlenmiştir. Hazırladığımız numunelerimizden elde ettiğimiz XRD sonuçlarına göre her bir numune için ayrı ayrı örgü parametreleri hesaplanmış ve $a=3,0840\text{\AA}$ ve $c=3,5267\text{\AA}$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar literatürde MgB_2 için bulunan sonuçlarla tutarlıdır. Bu bilgi ışığında, numune hazırlanması aşamasında MgB_2 ve Fe_3O_4 toz karışımında kimyasal bir reaksiyon gerçekleşmediğini söyleyebiliriz.

Fe_3O_4 katkılı her bir malzemenin düşük ac alanlardaki davranışlarının tespiti ise $H_{ac}=80, 160, 320, 640, 1280\text{ A/m}$ 'lik ac alanları uygulanarak, sabit $f=111\text{ Hz}$ frekansında ve $T=15-40\text{ K}$ sıcaklık aralığında yapılmıştır. Farklı oranda Fe_3O_4 eklenmesi ile hazırladığımız numunelerden elde edilen ac alan bağımlılık ölçümlerinden, normal durumdan süperiletkenliğe geçişin $38,6\text{ K}$ civarında gerçekleştiği gözlenmiştir. Sabit bir manyetik alan altında değişik katkılama oranları için T_p değerlerinde bir kayma gözlenmezken, aynı numune için uygulanan alan arttıkça T_p değerleri daha küçük değerlere doğru kaymıştır.

Fe_3O_4 , maalesef amaçlandığı gibi MgB_2 'nin tane içlerine homojen bir şekilde dağılmadı ve hatta hiç girmedeği söylenebilir, daha çok tane sınırlarında bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu özelliğinden dolayı süperiletkenlik özelliklerde sistematik bir iyileşme gözlenmedi. Bunu gidermek için standart MgB_2 ile başlamak yerine saf element Mg ve B ile nano parçacık ile numune hazırlamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

2007, 64 sayfa

Anahtar Kelimeler: MgB_2 , katkılama, ac manyetik alınganlık, fizik.

ABSTRACT

Master Thesis

THE MAGNETIC CHARACTERIZATION of NANO PARTICLE ADDITION IN MgB₂ SUPERCONDUCTORS

Özlem ÇİÇEK

Department of Physics
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor : Prof.Dr. Ali GENCER

MgB₂ is a promising superconductor and expected to replace conventional superconductors (for example, NbSn) being used in applications due to its low cost providing that its physical properties are enhanced. It is shown very recently that Boron is responsible for superconducting properties. MgB₂ is classified as type II superconductor and flux dynamics must be controlled in order to enhance physical properties.

In this work, we have added nano particles of Fe₃O₄ (FM) at various percentages from 0% to 10%. We have searched the effects of nano-particle content by using the characterization methods of XRD and ac susceptibility. Our XRD measurements show that the additions of Fe₃O₄ did not change the lattice parameters of pure MgB₂. Therefore, we can say that there was not a chemical reaction between MgB₂ and Fe₃O₄. According to our ac susceptibility measurements, we find the transition temperature as 38,6K. Under the same magnetic field, the magnitude of addition has not an effect on T_p. On the other hand, application of increasing magnetic field on the same sample decreased the T_p value gradually.

Unfortunately, Fe₃O₄ did not spread homogeneously in MgB₂. Moreover, Fe₃O₄ did not enter the lattice structure of MgB₂. It has been envisaging that Fe₃O₄ is at the grain boundary. Because of that, there was not a systematic increase in the superconducting property of the samples. To get rid of this, samples may be prepared from the starting powders of Mg and B instead of MgB₂ as the starting powder.

2007, 60 pages

Key Words: MgB₂, nano particle addition, ac susceptibility measurements, physics.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince değerli bilgi birikimini ve tecrübelerini benimle paylaşan, maddi ve manevi destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali GENCER'e en derin saygılarımla teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmalarım esnasında katkılarından dolayı: TAEK'de çalışmakta olan Sayın Erhan AKSU'ya büyük bir sabırla çalışmamın her aşamasında bana yardımcı olduğu için, BOREN'de çalışan Sayın Levent ÖZMEN'e bize kimyasal madde sağladığı için, Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nden Sayın Şadan ÖZCAN'a ve öğrencisi Burak KAYNAR'a toz numuneleri hazırlamamda yardımcı oldukları için çok teşekkür ederim.

Ayrıca, İnönü Üniversitesi Fizik Bölümü'nden sayın Prof. Dr. Eyüphan YAKINCI hocama numunelerimizi presleyip şekil vermemiz için tüm olanaklarını kullanmama izin verdiği ve bu esnada tavsiyelerini esirgemediği için ve öğrencisi Serdar ALTIN'a bu işlem esnasında hep yardımcı olduğu ve her şeyi büyük bir sabırla yaptığı için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Rezzan ÇİÇEK, babam Muzaffer ÇİÇEK teşekkürü bir borç bilirim. Kardeşim Bilge ÇİÇEK'e ve ayrıca beni hep destekleyen canım dostum Yasemin AYDOĞAN'a teşekkür ederim.

Özlem ÇİÇEK

Ankara, Temmuz 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1 Giriş.....	10
2.1.1 Kusursuz iletkenlik.....	10
2.1.2 Mükemmel diamagnetizm (Meissner etkisi).....	12
2.1.3 Kritik alan ve kritik sıcaklık.....	13
2.2 Süperiletkenliğin Makroskopik Teorisi.....	14
2.3 I. Tip ve II. Tip Süperiletkenler.....	16
2.4 MgB ₂ Süperiletkenlik Sistemi.....	19
2.4.1 Kristal yapısı.....	20
2.4.2 Geçiş sıcaklığı	21
2.4.3 Uyum uzunluğu.....	22
2.4.4 Zayıf-bağların olmaması.....	22
2.4.5 Termal genleşme.....	23
2.4.6 İzotop etkisi.....	24
2.4.7 Kritik sıcaklığa katkılarının etkisi	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1 Örneklerin Elde Edilmesi.....	29

3.2 AC Alınganlık Ölçüm Sistemi.....	30
3.2.1 Deneyisel metod.....	30
3.2.2 Manyetik alınganlık ölçümleri.....	33
3.3 X-ışını Toz Kırınımı Ölçümleri.....	35
4. BULGULAR.....	36
5. SONUÇ.....	55
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGELER DİZİNİ

n_s	Süperelektron sayısı
ψ	Dalga fonksiyonu
H	Manyetik Alan
H_c	Kritik Manyetik Alan
H_{c1}	Alt Kritik Manyetik Alan
H_{c2}	Üst Kritik Manyetik Alan
$B_{iç}$	Malzeme İçindeki Yerel Manyetik Alan
I_c	Kritik Akım
λ	Manyetik Alanın Sızma Derinliği
ξ	Uyum Uzunluğu
ρ	Özdirenç
ω	Açısal Frekans
μ	Manyetik Geçirgenlik
μ_0	Boşluğun Manyetik Geçirgenliği
χ	Alınganlık
χ^I	Alınganlığın Faz İçi Bileşeni
χ^{II}	Alınganlığın Faz Dışı Bileşeni
T_c	Kritik Sıcaklık
H_{ac}	AC Manyetik Alan
T_p	Alınganlığın Faz İçi Bileşenindeki Tepenin Oluşum Sıcaklığı
E	Elektrik Alan
J_c	Kritik Akım Yoğunluğu

J_s	Süperakım Yoğunluğu
T	Sıcaklık
g_s	Süperiletken Durumun Serbest Enerjisi
g_n	Normal Durumun Serbest Enerjisi
m_e	Elektronun Kütlesi
κ	Ginzburg-Landau Parametresi
M	Mıknatıslanma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Süperiletkenge geçiş sıcaklıklarının kilometre taşları.....	5
Şekil 1.2	MgB ₂ üzerine yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı.....	7
Şekil 2.1	Mükemmel bir iletkenin manyetizasyonu.....	11
Şekil 2.2	Bir süperiletkenin manyetizasyonu.....	12
Şekil 2.3	Bir süperiletkenin manyetik alanının sıcaklığa bağımlılığı.....	13
Şekil 2.4	Uygulanan manyetik alanın normal ve süperiletken durumun serbest enerjileri üzerindeki etkisi.....	17
Şekil 2.5	I. tip (a) ve II. tip (b) süperiletkenlerin faz diagramları.....	18
Şekil 2.6	MgB ₂ 'nin Kristal Yapısı.....	20
Şekil 2.7	Kritik akım yoğunluğunun manyetik alana bağımlılığı.....	23
Şekil 2.8	Thermal genleşme grafiği.....	24
Şekil 2.9	İzotop etkisi grafiği.....	25
Şekil 3.1	Tantalum Tüp şeması.....	30
Şekil 3.2	AC alınganlık ölçüm sistemi şeması.....	33
Şekil 3.3	Soğutucu içerisinde yeralan birincil ve ikincil bobinler.....	34
Şekil 4.1	Hazırlanan tüm numunelerin X-ışını toz difraktometresi ölçümünden elde edilen grafiği.....	40
Şekil 4.2	Saf MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği	41
Şekil 4.3	MgB ₂ 'ye %0,5 oranında Fe ₃ O ₄ ile katkılandırılmış MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği.....	42
Şekil 4.4	MgB ₂ 'ye %1 oranında Fe ₃ O ₄ ile katkılandırılmış MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği.....	43
Şekil 4.5	MgB ₂ 'ye %1,5 oranında Fe ₃ O ₄ ile katkılandırılmış MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği.....	44
Şekil 4.6	MgB ₂ 'ye %2 oranında Fe ₃ O ₄ ile katkılandırılmış MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği.....	45

Şekil 4.7	MgB ₂ 'ye %4 oranında Fe ₃ O ₄ ile katkılandırılmış MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği.....	46
Şekil 4.8	MgB ₂ 'ye %6 oranında Fe ₃ O ₄ ile katkılandırılmış MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği.....	47
Şekil 4.9	MgB ₂ 'ye %8 oranında Fe ₃ O ₄ ile katkılandırılmış MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği.....	48
Şekil 4.10	MgB ₂ 'ye %10 oranında Fe ₃ O ₄ ile katkılandırılmış MgB ₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği.....	49
Şekil 4.11	Numuneye uygulanan H _{ac} =80 A/m manyetik alanı için tüm MgB ₂ numunelerinin ac alınganlık grafiği.....	50
Şekil 4.12	Numuneye uygulanan H _{ac} =160 A/m manyetik alanı için tüm MgB ₂ numunelerinin ac alınganlık grafiği.....	51
Şekil 4.13	Numuneye uygulanan H _{ac} =320 A/m manyetik alanı için tüm MgB ₂ numunelerinin ac alınganlık grafiği.....	52
Şekil 4.14	Numuneye uygulanan H _{ac} =640 A/m manyetik alanı için tüm MgB ₂ numunelerinin ac alınganlık grafiği.....	53
Şekil 4.15	Numuneye uygulanan H _{ac} =1280 A/m manyetik alanı için tüm MgB ₂ numunelerinin ac alınganlık grafiği.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Bazı elementlerin süperiletkenliğe geçiş sıcaklıkları.....	2
Çizelge 2.1	Şimdiye kadar incelemiş olan diğer bazı bor alaşımlarının sergilediği T_c değerleri.....	21
Çizelge 3.1	Numunelerin katkılama oranları.....	29
Çizelge 4.1	Her bir numunenin T_p ve J_c değerleri	38

1. GİRİŞ

Günümüzdeki teknoloji göz önüne alındığında, en önemli buluşlardan birinin elektrik olduğunu söyleyebiliriz. Benjamin Franklin'in fırtınalı bir Philadelphia gününde gerçekleştirdiği deneyle keşfedilen elektrik, 1800'lerin ortalarında elektrik ampulünün icadı ile tüm insanların yaşamını değiştirdi. Zamanımızda hemen her alanda elektrik enerjisinden yararlanılmakta ve tam bir enerji bağımlısı olan insanoğluna büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak, elektriğin kullanımı veya taşınması sırasında büyük kayıplar söz konusudur. 19. y.y.'ın başlarından beri bilim adamları bu kaybı en aza indirmek için çalışmaktadırlar, fakat günümüzde bu kayıp azaltılmasına rağmen yinede enerji naklinde önemli oranda sorunlar bulunmaktadır. Bu konudaki gelecek vaat eden alternatiflerden biri ise süperiletkenliktir. Bu gün bile dünya ticaret hacminde yaklaşık 15 milyar (ABD) dolarlık önemli bir ekonomik pazar payı bulunmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalarla teknolojiye büyük bir gelişme potansiyeli mevcuttur.

1900'lü yılların başında elektriksel direncin sıcaklıkla orantılı olduğu biliniyordu. Mükemmel bir iletken mutlak sıfır Kelvin sıcaklığına soğutulduğunda teorik olarak sıfır direnç göstermesi bekleniyordu. Kristal kusurları ve safsızlıktan kaynaklanan ve sıcaklığın düşürülmesi ile kaybolmayan dirence *artık* direnç denilmekteydi. Direncin iki sebebi olduğu bilinmekteydi:

1. (a) safsızlık, (b) tanecik sınırları gibi kusurlar
2. Örgü iyonlarının titreşimi

İkinci sebepten kaynaklanan dirence *alışılmış (ordinary)* direnç denir ve sıcaklık düştükçe örgü iyonlarının titreşim genliklerinin azalmasıyla azalır Böylece elektronların ortalama serbest yol uzunluğu daha uzun olabilmektedir. Birinci sebepten kaynaklanan direnç ise artık dirençtir ve mutlak sıfır kelvinde bile varlığını korur. Kamerlingh Onnes'in 1908 yılında Helyum'u sıvılaştırması 4,2 K gibi düşük sıcaklıklarda çalışma

imkânı sundu. Bu düşük sıcaklıklarda direncin davranışı incelendiğinde büyük bir sürprizle karşılaşıldı: bazı malzemelerin elektrik akışına karşı tüm dirençlerini (*artık* direnci de) kaybettikleri gözlemlendi. Bu değişim ilk olarak yine Kamerlingh Onnes'in civa metalinin 4,2 K civarında elektrik direncinin ölçülemeyecek kadar küçük bir değere düştüğünü 1911 yılında keşfetmesiyle ortaya çıktı. Onnes ikinci yayınında bu durumu süperiletkenlik olarak isimlendirdi. Onnes bu çalışması ile 1913 yılında Nobel ödülünü kazandı (Onnes 1911). Bu gelişmenin ardından, 1914'de Kurşunun 7.2K'de ve Niobiumun 9,2K'de süperiletken olduğu bulundu.

Sonraki yıllarda bu yeni durum kalay, kurşun, indiyum, alüminyum, niyobyum gibi birçok değişik elementte de keşfedildi. Günümüzde, elementlerin neredeyse yarısının düşük sıcaklık, yüksek basınç, amorf faz, ince film gibi doğru koşullar altında süperiletken özelliği sergilediği bilinmektedir. Aşağıdaki Çizelge 1.1'de süperiletken özelliği sergileyen bazı elementler ve normal durumdan süperiletken duruma geçtikleri kritik sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.1 Bazı elementlerin süperiletkenliğe geçiş sıcaklıkları

Element	T _c	Element	T _c
Alüminyum	1,175	Rodyum	0,00037
Kadmiyum	0,517	Kalay	3,722
Kurşun	7,196	Titanyum	0,39
Civa	4,154	Tungsten	0,015
Niyobyum	9,25	Uranyum	0,2
		Çinko	0,85

Elementlerden sonra alaşım ve bileşiklerin de bu özelliği gösterdiği anlaşıldı. 1941 de niyobyum-nitrürün 16 K de, 1953 de vanadyum-silikonun 17,5 K de süperiletken olduğu keşfedildi.

Bir sonraki önemli adım ise Walter Meissner ve Robert Ochsenfeld tarafından 1933'te atıldı. Malzemelerin elektrik akışına karşı tüm dirençlerini kaybetmelerinin, içlerinden geçmek isteyecek tüm manyetik alanları dışladıkları ve bu durumun yeni (termodinamik) bir faz olduğu anlaşıldı (Meissner and Ochsenfeld 1933). Böylece süperiletkenliğin kusursuz iletkenlikten farklı bir durum olduğu kabul edildi. Şimdi biz bu keşfi "Meissner Etkisi" olarak adlandırıyoruz.

1935 de London kardeşler manyetik alanın dışlanması sebebinin sadece yüzeyden akan akımlar olduğunu bularak Meisner Etkisinin ilk açıklamasını yapmışlardır ve dışardan uygulanan manyetik akının, bir süperiletkene sızabileceği bir "sızma derinliği" olduğunu bulmuşlardır (London and London 1935).

1950 yılında Landau ve Ginzburg tarafından süperiletkenliğin Ginzburg-Landau Teorisi kuruldu. Landau Teorisinin ikinci dereceden faz geçişi ile Schrödinger dalga fonksiyonunu birleştiren bu teori süperiletkenlerin makroskopik özelliklerini başarılı bir şekilde açıkladı (Ginzburg and Landau 1950). Aynı yıl, Maxwell ve Reynolds süperiletkenlerin kritik sıcaklıklarının bileşiği meydana getiren elementlerin izotopik ağırlıklarına bağlı olduğunu buldular. Bu önemli buluş süperiletkenlikten sorumlu olan mikroskopik mekanizma olarak elektron-fonon etkileşimini işaret etmektedir.

Daha sonra Abrikosov göstermiştir ki; Ginzburg-Landau teorisi süperiletkenlerin Tip I ve Tip II olmak üzere iki kategoriye ayrıldığını öngörmektedir (Abrikosov 1957). Abrikosov ve Ginzburg bu çalışmalarıyla Nobel Ödülünü kazandı.

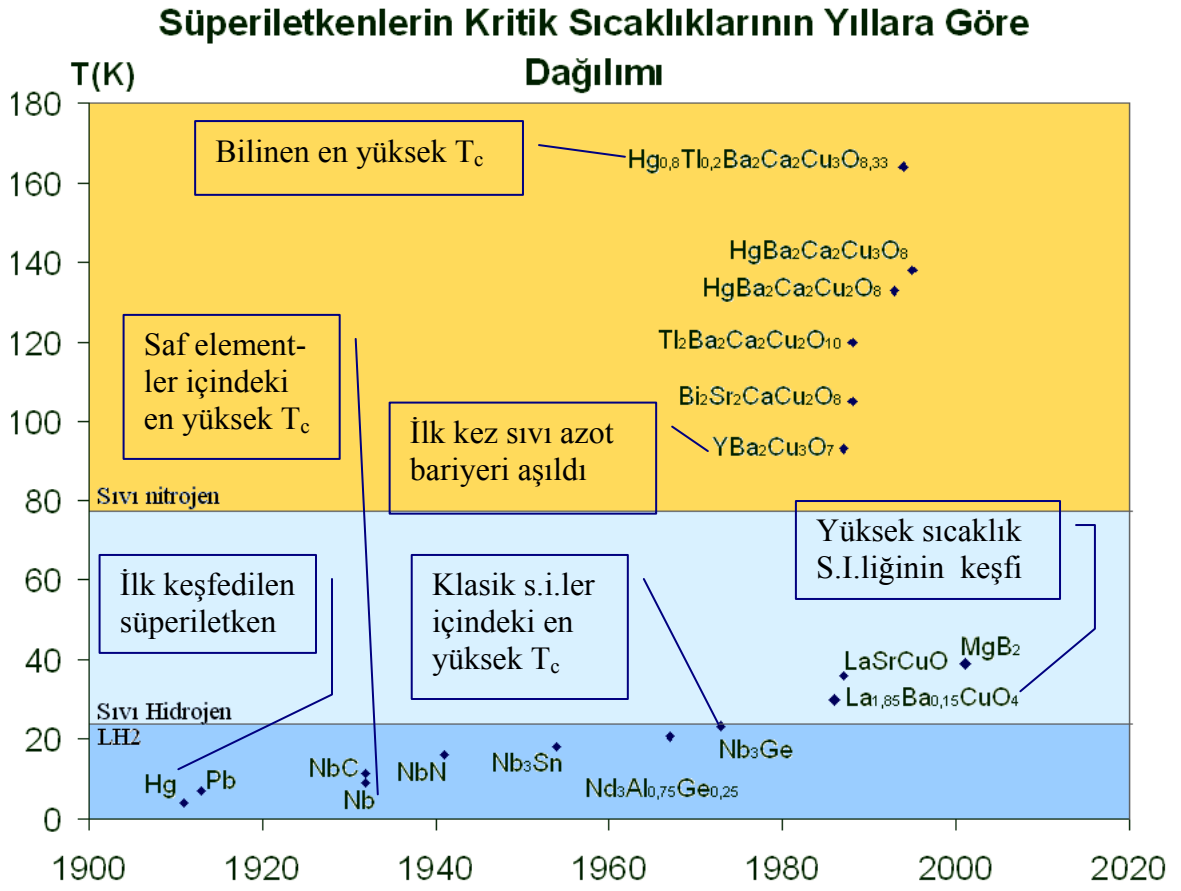
Elektronların süperiletken bir malzeme içinden geçişleri hala bilim adamlarının zihinlerini meşgul etmekteydi. Malzeme soğutulunca titreşim azalıyor bu sayede direnç azalıyor açıklaması dirençte yavaş bir düşüş olmasını gerektiriyordu. Fakat süperiletkenlikte durum farklıydı ve bu açıklama yeterli değildi. Süperiletkenliği anlatan ilk geniş kapsamlı teori 1957 yılında Amerikalı fizikçiler John Bardeen, Leon Cooper ve John Schrieffer tarafından geliştirildi. BCS Teorisi, süperiletken akımını Cooper çiftlerinin süperakışı olarak açıklamaktadır. Geliştirdikleri bu teori ile 1972 Nobel Ödülü'nü kazandılar. Onların ortaya koyduğu bu teoriyi "BCS Teorisi" olarak

adlandırılmaktadır (Bardeen *et al.* 1957) . 1959 yılında Gor'kov kritik sıcaklık civarında BCS teorisinin GL Teorisi ile örtüştüğünü göstermiştir (Gor'kov 1959). BCS Teorisi mutlak sıfıra yakın sıcaklıklardaki elementlerin ve basit alaşımların süperiletkenliğini açıklamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ve değişik süperiletken sistemlerdeki süperiletkenliği tümüyle açıklamada bu teori yetersiz kalmaktadır.

1986'ya kadar bilim adamları 30 K üzerindeki sıcaklıklardaki süperiletkenliği BCS Teorisinin yasakladığına inanıyorlardı. 1986'da Georg Bednorz ve Alex Müler 35 K geçiş sıcaklığına sahip olan bir seramik bileşik (La-Ba-Cu-O) üretmeleriyle yüksek sıcaklık süperiletkenlik devri başlamış oldu (Bendroz and Müler 1986). Bu buluşu ilginç yapan nokta seramiğin normalde yalıtkan olması ve hiç elektrik iletmemesidir. Süperiletken bakır-oksitlerin (cuprates) ilki olan bu buluş Bendroz ve Müller'e 1987'de Nobel Ödülü kazandırdı.

1987 Ocak ayında Houston Üniversitesinden C. W. Chu ve Alabama Üniversitesinden M. K. Wu, Müler-Bendnoz'un bileşiğindeki lantanyum yerine itriyum (Y) koyarak (YBCO) kritik sıcaklığı 92 K'e yükselttiler (Wu *et al.* 1987). Böylece ilk kez bir malzeme sıvı azottan daha yüksek bir sıcaklıkta süperiletken hale geldi. Bu buluş sıvı azotun daha ucuza elde edilmesi ve daha sorunsuz olarak üretilmesi bakımından ticari olarak büyük önem arz etmektedir. Bu önemli gelişmeden bir yıl sonra Maeda Bi-Sr-Ca-Cu-O bileşiğinde 110 K'de süperiletkenliği gözledi (Maeda *et al.* 1988). Aynı yıl Parkin ve çalışma arkadaşları kritik geçiş sıcaklığı 125 K olan Tl-Ba-Ca-Cu-O bileşiğini ürettiler.

1993'de civa-bazlı (mercuric-cuprates) süperiletkenlerin ilk örneği olan civa-talyum-baryum-kalsiyum-bakır-oksijen bileşiği Colorado Üniversitesinden U. Onbaslı ve Zurih Üniversitesinden A. Schilling, M. Cantoni, J.D. Guo, H.R. Ott tarafından üretildi. Bu bileşiğin kritik sıcaklığı 138 K olarak belirlendi. Şu anda en yüksek kritik sıcaklık Hg-bazlı süperiletkenlerde olup yüksek basınç altında yaklaşık kritik sıcaklık 167 K civarındadır. Şekil 1.1'de bilim adamlarının kritik sıcaklığı daha yukarı çekme yarışında kilometre taşı sayılan bazı önemli maddelerin kritik sıcaklıkları ve keşfedildikleri yıllar gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Süperiletkenğe geçiş sıcaklıklarının kilometre taşları

Süperiletkenliği daha kullanışlı hale getirebilmek için bu kritik sıcaklığı daha yukarı çekme yarışında, bilim adamlarının 167K sıcaklığını daha yukarı çekmeleri beklenirken 2001 yılının Ocak ayında MgB_2 'nin 37,9 K'de süperiletken olduğunun keşfi süperiletkenlik alanındaki çalışmalara yeni bir bakış açısı getirmiştir.

MgB_2 1950'lerden beri bilinen eski bir bileşiktir fakat süperiletken olduğu ilk kez Akimitsu ve grubu tarafından rapor edilmiştir (Akimitsu 2001). MgB_2 'nin keşfi 1980'lerden sonra özellikle non-oksit süperiletkenlere karşı azalan ilgiyi tekrar canlandırdı. Bakır-oksit seramiklerden yapılan yüksek T_c süperiletkenleri gibi MgB_2 de katmanlı bir malzemedir. Bununla birlikte normal sıcaklıklarda katkısız bakır-oksitler yalıtkan özellik sergilerken MgB_2 her zaman metalik özellik göstermektedir.

MgB₂, 1950’de Maxwell ve Reynolds’un ileri sürdüğü “Yüksek T_c’li bileşikler hafif elementler içerir.” görüşünü destekleyen bir bileşiktir. MgB₂’yi önemli kılan özellikleri: diğer süperiletkenlere göre basit (hegzagonal) bir yapısının olması, sadece iki elementten oluşan intermetalik bir bileşik olması, fark edilir derecede yüksek bir kritik sıcaklığının (T_c=38 K) olması ve II. Tip Süperiletkenler göre daha ucuz olmasıdır. “Crycooler” soğutma teknolojisindeki gelişmeler sayesinde sıvı helyuma ihtiyaç duymadan 30K’lere inilebilmesi MgB₂’nin önemini bir kat daha arttırmıştır. MgB₂’nin 38K gibi bir kritik sıcaklığa sahip olması bize yüksek T_c’ye sahip basit bileşikler elde etme yönünde ümit vermektedir.

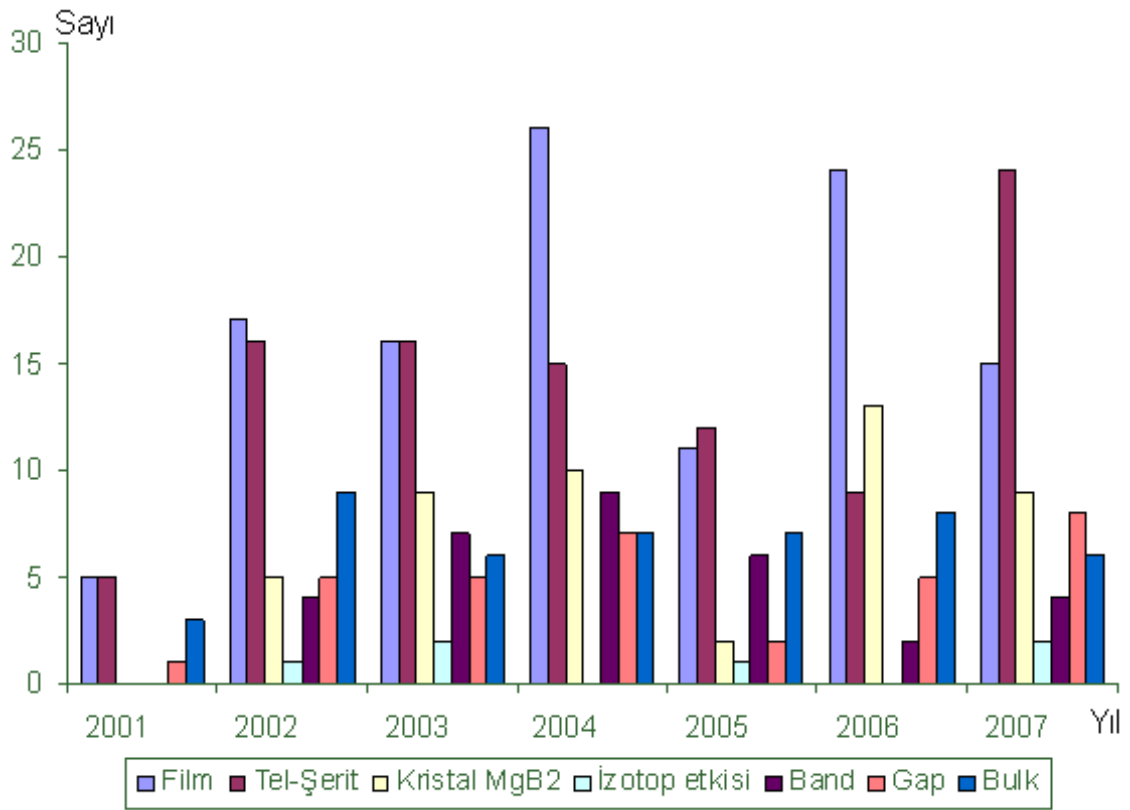
MgB₂’deki süperiletkenliğin keşfi çeşitli süperiletkenlerin keşfedilmesi için katalizör olmuştur: TaB₂ (T_c=9,5 K) (Kaczorowski 2001), BeB_{2,75} (T_c=0,7 K) (Young 2001), grafit-sülfür bileşiği (T_c=35 K) (da Silva 2001), MgCNi₃ (T_c=8 K) (He 2001). Burada bahsettiğimiz C-S bileşiği elektroniksel ve kristalografiksel olarak MgB₂ ile benzerdir. MgB₂’nin T_c’si BCS teorisinin belirlediği sınırın üstündedir. Bu MgB₂’yi geleneksel olmayan süperiletken olarak düşünmek için güçlü bir kanıttır.

MgB₂’nin süperiletkenlik özelliğinin keşfinden sonra bu özelliğini geliştirebilmek için çeşitli çalışmalar yapıldı. Bu çalışmalardan bazılarında (üretimde kullanılan değişik yöntemler, yüksek basınç, fırınlama sıcaklığı, fırınlama süresi gibi) MgB₂ üretim prosedüründe yapılabilecek değişikliklerin süperiletkenlik üzerindeki etkileri araştırıldı. Diğer taraftan bazı bilim adamları Mg ve B atomlarının izotoplarının MgB₂’nin süperiletkenlik özelliğini nasıl etkilediğini incelerken; bazıları tekli/çoklu kristal yapısı ve MgB₂’li filmler üzerine çalışmalar yaptı. Bununla beraber, MgB₂’nin band yapısı ve enerji aralığı üzerine de araştırmalar yapılmıştır. Katkılamaların süperiletkenlik özelliklerinin etkilediği bilindiğinden; süperiletkenlik özelliklerini pozitif yönde geliştirebilmek için çok çeşitli maddelerle katkılamalar yapıldı. Bu katkılama denemeleri sadece yığın MgB₂ ile sınırlı kalmadı. Son dönemdeki ilgi alanı ise nano boyutlu maddeler ile yapılan katkılamalardır.

Bir taraftan ham madde olarak MgB₂’nin özellikleri geliştirilmeye çalışılırken, diğer taraftan günlük yaşamımızdaki uygulamalarda yerini alabilmesi için tel ve şerit haline

getirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu amaç için her bir birim uzunlukta aynı ve en iyi süperiletken özellikleri taşıyan; ihtiyacı karşılayacak uzunluklarda numuneler üretilmeye çalışılmaktadır. Aynı zamanda bobin vb. kullanımları için tel ve şeritlerin esnekliği, bükülebilirliği ve dayanıklılığı üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Tüm bu araştırmaların yanı sıra; MgB_2 'nin özelliklerinin süperiletkenlik teorileri ile uyumu incelenip, MgB_2 'nin davranışları teorik olarak açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.2 MgB_2 üzerine yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı

Şekil 1.2'deki grafikte, “www.sciencedirect.com” da MgB_2 ile ilgili 2001 yılında ki keşfinden günümüze kadar yayınlanmış olan çalışmalarda yıllara göre hangi konuların araştırıldığı gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında yığın MgB_2 'ye Fe_3O_4 eklenerek süperiletkenlik özelliklerindeki değişimler araştırıldığı için bu kısımda bunun gibi MgB_2 'ye daha önce yapılan katkılamalara değinilecektir.

Katkılama, süperiletken özelliklerini nasıl etkiler ve hangi katkılamar denenmiştir:

Süperiletkenlerin manyetik alandaki davranışlara göre ikiye ayrıldığını söylemiştik. I. Tip süperiletkenler genellikle elementlerden oluşur ve tek bir kritik manyetik alanları mevcuttur. II. Tip süperiletkenler ise genellikle bileşiklerden oluşur ve iki tane kritik manyetik alanları vardır. Birinci kritik manyetik alanın altında kusursuz bir diamagnet olarak davranırken, II. Tip süperiletkenlerde birinci ve ikinci kritik manyetik alan arasında malzemenin içine belirli bölgelerde manyetik alan işlemeye başlar. Bu durumu “karışık durum” olarak adlandırılır. İkinci kritik manyetik alanın üzerindeki değerlerde malzeme süperiletken özelliğini tamamen yitirerek normal durumda bulunur. Süperiletkene karışık durumda işlemeyi başaran manyetik alan çizgilerinin hareketi süperiletkene istenmeyen bir direnç kazandırır. Bu nedenle akı çizgilerinin hareketsiz kalması gerekir. Bu amaçla süperiletken malzemelerde suni perçinlenme merkezleri oluşturulmakta ve akı çizgilerinin bu merkezlerde hareketsiz kalmalarının sağlanması amaçlanmaktadır. Bu yüzden birçok araştırmacı çeşitli elementler katarak kimyasal değişim sayesinde MgB_2 'deki perçinlenme kuvvetlerini arttırmaya çalışmaktadır.

MgB_2 'nin süperiletkenlik özelliklerini geliştirebilmek amacı ile yapılan katkılamar şunlardır: **bakır** (Kimishima *et al.* 2006, Tampieri *et al.* 2002, Kazakov *et al.* 2001), **kobalt** (Kühberger *et al.* 2002, Aksan *et al.* 2006), **alüminyum** (Shinohara *et al.* 2007, Xu *et al.* 2006, Rui *et al.* 2005, Zheng *et al.* 2004, Xiang *et al.* 2003), **lityum** (Li *et al.* 2003, Zhao *et al.* 2001), **silicon** (Wang *et al.* 2003), **silisyum karbon** (Gozzelino *et al.* 2007, Shcherbakova *et al.* 2007, Wang *et al.* 2004), **çinko** (Li *et al.* 2007, Kazakov *et al.* 2001), **gümüş** (Guo *et al.* 2004, Cheng *et al.* 2002), **tantalyum** (Prikhna *et al.* 2002), **titanum** (Wilke *et al.* 2005, Zhao *et al.* 2003, Anderson *et al.* 2003, Goto *et al.* 2003, Zhao *et al.* 2002), **demir** (Kühberger *et al.* 2002), **karbon** (Yeoh *et al.* 2007, Yeoh *et al.* 2007, Katsura *et al.* 2007, Huang *et al.* 2005, Wilke *et al.* 2005, Hol'anová *et al.*

2004, Soltanian *et al.* 2003, Ribeiro *et al.* 2003, Paranthaman *et al.* 2001), **krom** (Zhang *et al.* 2005), **iridyum** (Sekina *et al.* 2003), **zirkonyum** (Goto *et al.* 2003, Zhao *et al.* 2002), **kurşun** (Elsabawy *et al.* 2007, M'chirgui *et al.* 2005, Gu *et al.* 2003), **manganez** (Suemitsu *et al.* 2006). Bu katkılmalarda, katılan madde ya toz karışımı halinde ya direkt olarak MgB_2 'nin örgü yapısında yer alacak şekilde ya da örgü yapısındaki Mg ve B atomlarının yerinde kullanılmıştır. Bu maddelerin MgB_2 üzerindeki etkilerine ilerleyen bölümlerde değinilecektir.

Bu araştırmamızda MgB_2 'ye **manyetik** bir malzeme ekleyerek MgB_2 'nin süperiletkenliği üzerinde nasıl bir etki yarattığını incelemek istiyoruz. Tez çalışmasında, nano boyutta Fe_3O_4 ile katkılanırılmış olan MgB_2 incelendi. Tezde kullanılan kuramsal temeller 2. bölümde verildi. Katkılama işlemi normal katı-hal reaksiyonu yöntemi ile gerçekleştirildi. Hazırladığımız malzemenin yapısal özellikleri XRD analizleri ile tayin edildi. Malzeme hazırlama tekniği 3. bölümde verildi. XRD ve manyetik ölçümler ile bu ölçümlerden elde edilen bilgiler ışığında yapısal ve manyetik karakterizasyon ise 4. bölümde verildi. Son bölümde ise tezin araştırmaya dayanan sonuçları özet olarak verilmiştir.

Toz halde nano boyutlu süperiletken malzeme üretimi Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü ve Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim merkezi Karakterizasyon laboratuvarı imkânları kullanıldı. XRD ölçümleri yine Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim merkezi Karakterizasyon laboratuvarında yapıldı. AC alınganlık ölçümleri ise Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarında yapıldı. Çıkan sonuçlar neticesinde daha verimli kıyaslamalar yapabilmek için toz numunelerin silindir şekline sokularak incelenmesine karar verildi. İnönü Üniversitesinde yeni bir set toz numune karıştırılarak silindir halinde preslendikten sonra fırınlanma işlemine tabi tutuldu. Bu yeni set numunelerin XRD ölçümleri yine İnönü Üniversitesinde yapıldı. AC alınganlık ölçümleri ise Ankara Üniversitesi Fizik Bölümü'nde yapıldı.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Giriş

Bazı metaller belirli bir kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda tüm elektrik dirençlerini kaybederler. Bu olaya süperiletkenlik denir. Süperiletkenliği anlamak 20. yüzyılın başlarından beri katı hal fiziğinin önemli amaçlarından biri olmuştur. Süperiletkenlik elemental metaller ve intermetalikler için mikroskopik bir teori (BCS) ile tamamen açıklanmıştır. Fakat yeni keşfedilen yüksek sıcaklık süperiletkenleri ($T_c > 77$ K) gizemlerini hala korumaktadır.

Süper iletkenliğin iki temel özelliği vardır:

—Mükemmel iletken olmaları (özdirençlerinin sıfır olması, $\rho = 0$)

—Mükemmel diamagnet olmaları (manyetik alınganlıklarının -1 olması, $\chi_m = -1$)

Bu bölümde tez araştırma alanımla ilgili bu temel özelliklerden ve bazı kavramlardan bahsedilecek.

2.1.1 Mükemmel iletkenlik (Devamlı akım)

Kritik sıcaklığın altında cıva metalinin elektrik direncini tamamen kaybetmesi ilk kez K. Onnes tarafından keşfedilmiştir. Daha sonra direncin tamamen kaybolduğu bir deneyle şöyle gösterilmiştir; süperiletken bir halka üzerinde elektrik akım bir kez oluşturulursa, bu akım ölçülebilir bir kayba uğramadan uzun bir süre akar. Deneyin sonunda yapılan hesaplamalarda bu sürenin 10^{10} yıldan uzun olacağı bulunmuştur. Diyebiliriz ki: mükemmel iletkenlik ($\rho = 0$) süperiletkenliğin ilk geleneksel özelliğidir (Tinkham 1996).

Şimdi bir mükemmel iletkeni ($\rho = 0$) inceleyecek olursak:

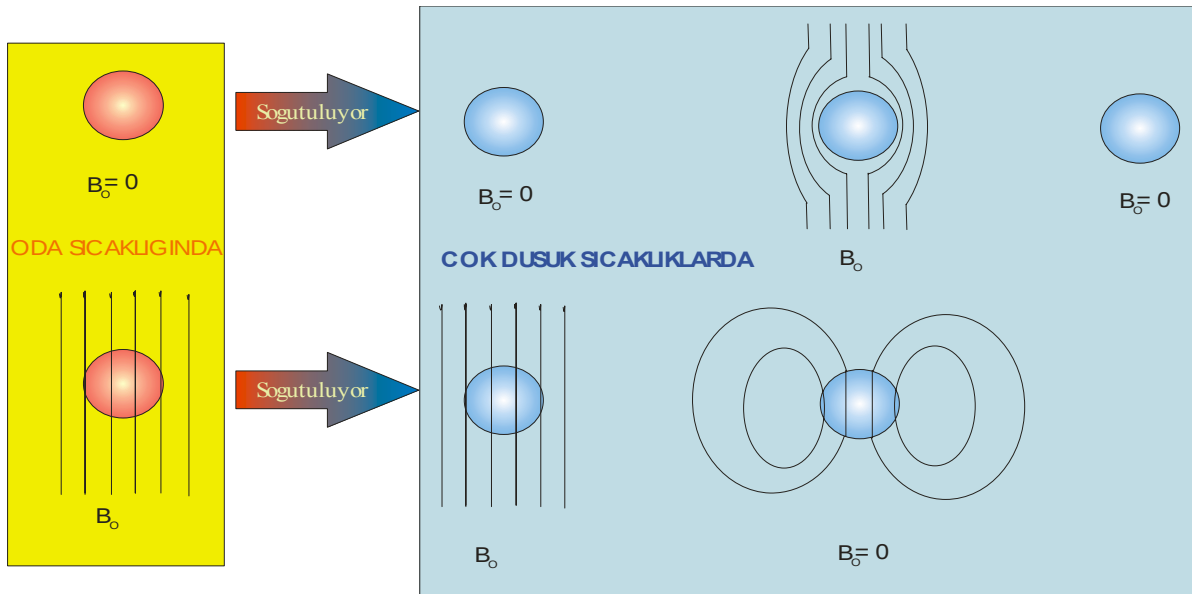
$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad (\text{Ohm Kanunu}) \quad (2.1)$$

$$\rho = 0 \text{ olduğundan} \rightarrow \vec{E} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Maxwell Denklemi}) \quad (2.2)$$

$$0 = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

olarak bulunur. Buradaki ρ :özdirenç, J :akım yoğunluğu, E :elektrik alan ve B :manyetik alandır. Elde ettiğimiz sonuca göre; materyalimizin son durumu malzememize uygulanan işlem önceliğine göre değişiklik göstereceğini söyleyebiliriz. Bu durum Şekil 2.1’de özetlenmiştir.

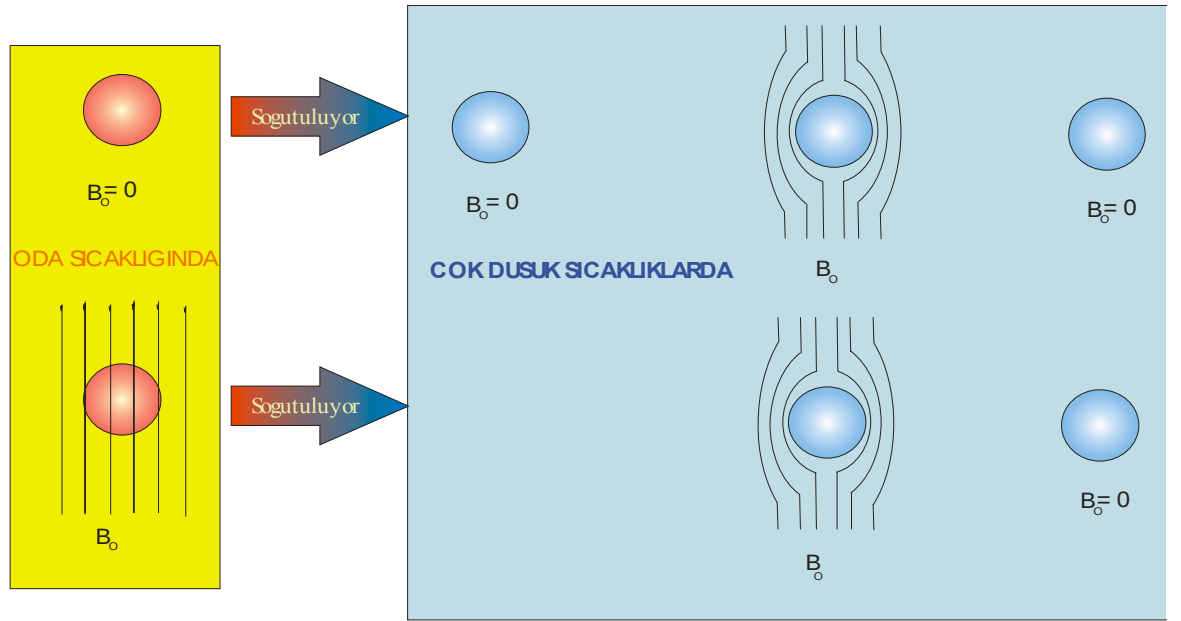


Şekil 2.1 Mükemmel bir iletkenin manyetizasyonu

Bir süperiletken yalnızca mükemmel bir iletken değildir. Bir süperiletken bundan fazlasına sahiptir kusursuz bir diamanyetik özellik gösterir (Meissner Etkisi).

2.1.2 Mükemmel diamagnetizm (Meissner etkisi)

Süperiletken durumu normal durumdan ayıran başka bir temel özellik daha vardır: Normal durumdayken dışardan uygulanan bir manyetik alan numuneye rahatlıkla nüfuz ederken, süperiletkenlerde uygulanan bu manyetik alana eşit ve ters bir alan olduğu için manyetik alan dışlanır, $\vec{B} = 0$. Bu sonuç deneysel olarak bulunmuştur. Meissner etkisi Şekil 2.2’de verilmektedir.



Şekil 2.2 Bir süperiletkenin manyetizasyonu

Bu etkiyi anlayabilmek için bir süperiletkeni kritik sıcaklığın altında sabit tutarak dış manyetik alanı sıfırdan başlayarak artıralım. Süperiletkenin öz direnci sıfır olduğundan

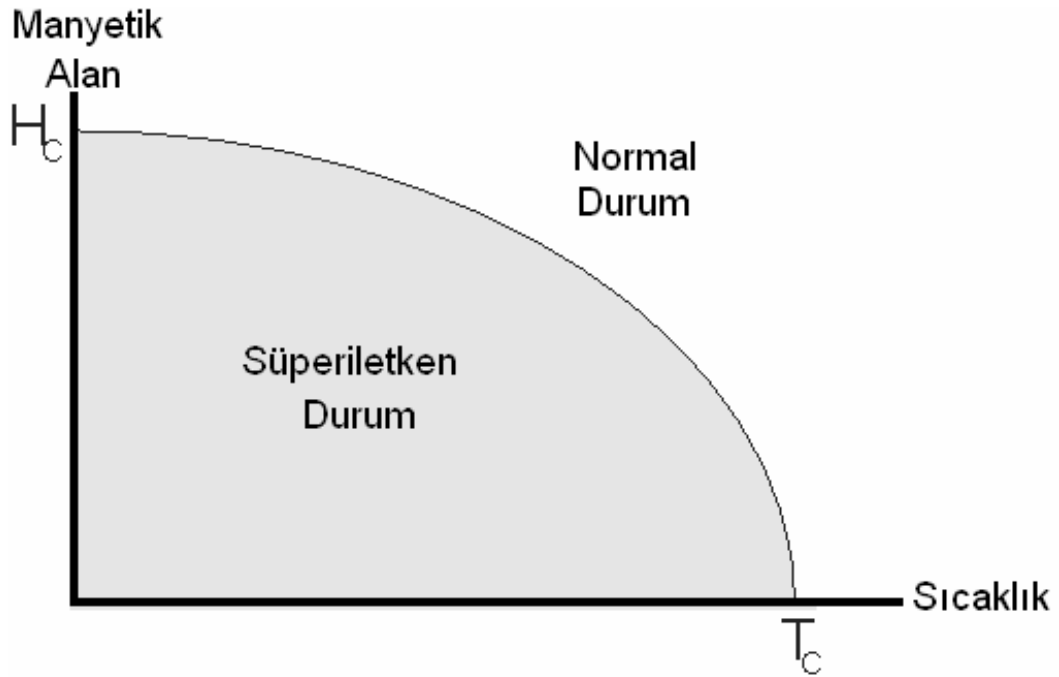
Maxwell denkleminde $0 = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ olarak elde edilir. Buda bize $\vec{B} = \vec{B}_0$ olduğunu

vermektedir. Başlangıçtaki alan sıfır olduğu için $\vec{B} = 0$ olarak bulunmuş olur. Yani süperiletkenlerde materyalin geçmişinden bağımsız olarak, eğer $T < T_c$ ise süperiletkenin $\vec{B} = 0$ koşulu ancak mıknatıslanma, $\vec{M} = -\vec{H}$ olursa sağlanır. Bu bir mükemmel diamagnetizm ifadesidir. $\vec{M} = -\vec{H}$ olduğu için manyetik alınganlık, $\chi_m = -1$ olarak bulunur.

2.1.3 Kritik sıcaklık ve kritik alan

Süperiletkenlik, sıcaklığın artırılmasıyla bozulduğu keşfedildikten kısa bir süre sonra uygulanan manyetik alanın artırılmasının da süperiletkenliği bozduğu anlaşılmıştır.

Kritik Sıcaklık, T_c : Sıcaklığa bağlı elektriksel direnç ölçümü yaparsak belirli bir sıcaklığa ulaşıldığında artık direnç sıfırdan farklı olur. Bu sıcaklığa kritik sıcaklık denir ve T_c ile ifade edilir.



Şekil 2.3 Bir süperiletkenin manyetik alanının sıcaklığa bağımlılığı

Kritik Manyetik alan H_c : Süperiletkenin sıcaklığı T_c 'nin altında bir sıcaklıkta sabitlenip uygulanan manyetik alan artırılırsa belirli bir değere ulaştığında süperiletken fazdan normal faza bir geçiş olur. Malzemeyi süperiletken durumdan normal duruma geçiren manyetik alan değerine kritik manyetik alan denir ve bu değer sıcaklığın bir fonksiyonudur. Bu bağımlılık deneysel olarak bulunmuştur ve şu şekilde ifade edilir:

$$H_c(T) = H_{c0} \left[1 - \frac{T^2}{T_c^2} \right] \quad (2.3)$$

Buradaki $H_c(T)$: belirli bir T sıcaklığında bulunun numunenin kritik manyetik alan değeri, H_{c0} : T=0K deki kritik manyetik alan değeridir. Bir süperiletkene uygulanan manyetik alanla sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 2.3’de verilmiştir.

2.2 Süperiletkenliğin Makroskopik Teorisi

London denklemleri:

Deneysel olarak süperiletkenlik ile ilgili şunları biliyoruz:

- (1) mükemmel iletkenidir.
- (2) mükemmel diamagnettir.

London kardeşler bu deneysel sonuçların önemli bir özelliğini bulmuşlardır: “Manyetik alanın süperiletkene işleyebildiği bir *girme derinliği* vardır.”

London kardeşler, bir süperiletken içinde *normal elektronlar (n)* ve *süper elektronlar (s)* olmak üzere iki çeşit elektron bulunduğunu kabul ederek işe başladılar ve şu sonuçlara ulaştılar:

$$\vec{E} = \frac{m}{n_s e^2} \frac{\partial \vec{J}_s}{\partial t} \quad 1. \text{ London Denklemi (2.4)}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{J}_s = \frac{n_s e^2}{m_e} \vec{B} \quad 2. \text{ London Denklemi (2.5)}$$

$$\frac{1}{\lambda_L^2} = \frac{\mu_0 n_s e^2}{m_e} \quad \text{London Girme Derinliği (} \lambda_L \text{) (2.6)}$$

Buradaki E: elektrik alan, n_s : süper elektron sayısı, J_s : süper elektronların akım yoğunluğu, B: manyetik alan, λ_L : London girme derinliği, μ_0 :boşluğun manyetik geçirgenliğidir.

GinzBurg-Landau teorisi:

Ginzburg-Landau Teorisi, süperiletkenliği modellemek için kullanılan matematiksel bir teoridir. Kuantum mekanikten yararlanarak, süperiletken durum için manyetik alanın etkilerinin belirlemeye çalışır. Bir dalga fonksiyonu ile süperiletken durumu tanımlayarak, süperiletken ve normal durumların serbest enerjilerinin birbirinden farklı olduklarını kabul eder. Sonrasında genel termodinamik kanunlarını kullanarak süperiletkenliği inceler. G-L denklemleri bu incelemeler sonunda ilginç sonuçlara ulaşmıştır.

$$\xi = \sqrt{\frac{\hbar^2}{2m|\alpha|}} \quad \text{G-L Uyum Uzunluğu (2.7)}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{m}{4\mu_0 e^2 \psi_0^2}} \quad \text{G-L Girme Derinliği (2.8)}$$

$$\kappa = \frac{\lambda}{\xi} \quad \text{Ginzburg-Landau Parametresi (2.9)}$$

Burada; ξ : uyum uzunluğu, α : açılım katsayısı, λ : manyetik alanın girme derinliği, μ_0 : boşluğun manyetik geçirgenliği, ψ_0^2 : Cooper-çiftlerinin yoğunluğu, κ : G-L parametresidir.

$\kappa = \frac{\lambda}{\xi}$ G-L parametresi önemli bir parametredir. Bu parametre süperiletken davranışını iki tipe ayırır; süperiletkenler,

$$- \kappa < \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ ise I. Tip süperiletken,}$$

$$- \kappa > \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ ise II. Tip süperiletkenidir.}$$

2.3 I. Tip ve II. Tip Süperiletkenler

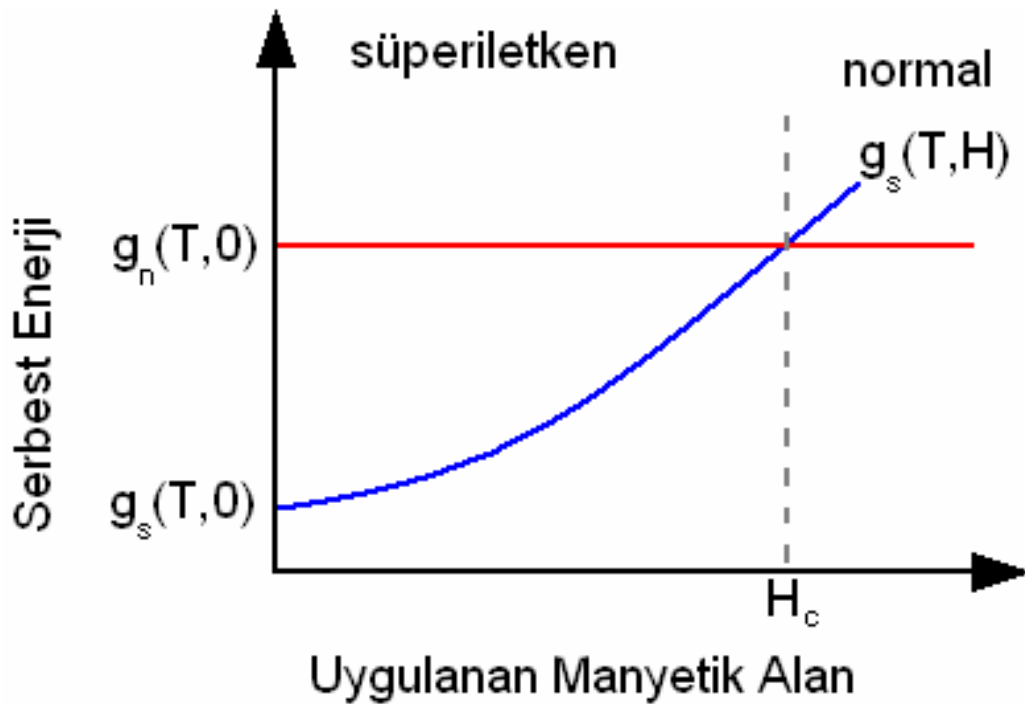
Süperiletkenliğin keşfinden 1950'ye kadar tek tip süperiletken olduğu düşünülüyordu. 1950'de Ginzburg-Landau Teorisinin kurulmasından sonra Abrikosov bu teoriye göre süperiletkenlerin iki kategoriye ayrıldıklarını göstermiştir.

I. Tip Süperiletkenler:

Belirli bir sıcaklığın altında süperiletken oldukları keşfedilen alüminyum, kalay, cıva, kurşun gibi bazı metaller ilk keşfedilen süperiletkenlerdi ve I. Tip Süperiletkenler olarak adlandırılırlar. Süperiletkenliğin belirli bir H_c değerinin üzerine çıkılınca bozulduğunu söylemiştik. “Bir sistem her zaman en az enerjiye sahip durumda kalmak ister.” prensibine göre bu H_c değeri, termodinamiksel olarak normal ve süperiletken durum arasındaki serbest enerji farkından şu şekilde bulunur:

$$H_c(T) = \sqrt{\frac{2}{\mu_0} [g_n(T,0) - g_s(T,0)]} \quad (2.10)$$

Burada $g_n(T,0)$: belirli bir T sıcaklığında, sıfır manyetik alan uygulanırken normal durumun serbest enerji yoğunluğu, $g_s(T,0)$: belirli bir T sıcaklığında, sıfır manyetik alan uygulanırken süperiletken durumun serbest enerji yoğunluğudur.



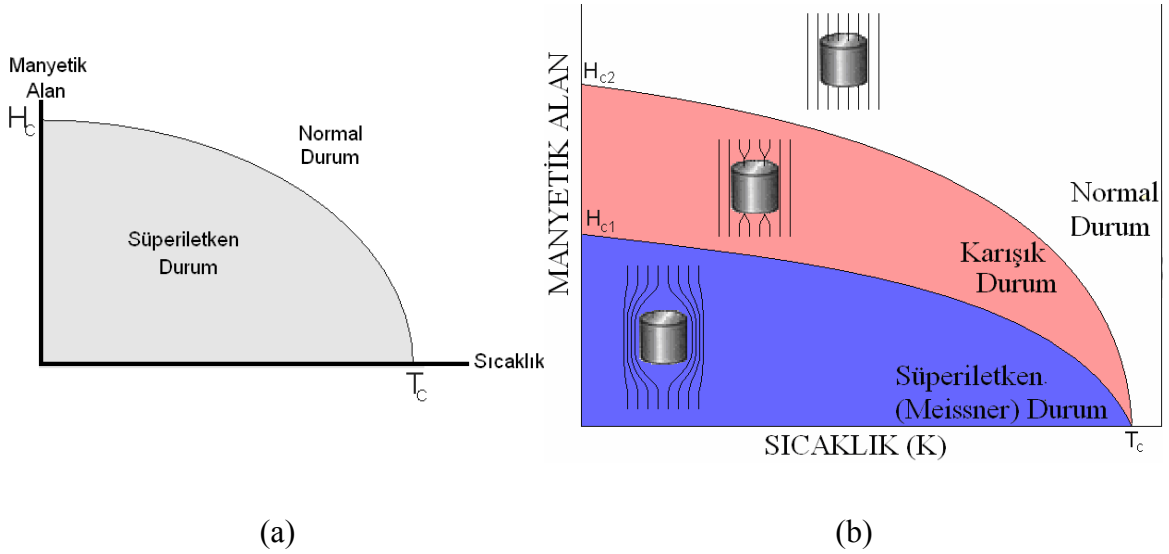
Şekil 2.4 Manyetik alanın normal ve süperiletken durumun serbest enerjileri üzerindeki etkisi

Şekil 2.4’de uygulanan manyetik alanın normal ve süperiletken durumun serbest enerjileri üzerindeki etkisi gösterilmektedir. $H < H_c$ değerleri için süperiletken durumun enerjisi az olduğu için numunemiz süperiletken olmayı seçer. $H > H_c$ değerleri için ise normal durumun enerjisi az olduğu için numunemiz normal duruma dönmeyi seçer

II. Tip Süperiletkenler:

Abrikosov Ginzburg-Landau Teorisine göre süperiletkenlerin I. ve II. tip süperiletkenler olmak üzere iki kategoriye ayrıldıklarını göstermiştir. Bu yeni tip süperiletkenleri I. tip süperiletkenlerden ayıran önemli özellik bunların iki tane kritik manyetik alana sahip olmalarıdır. Bu yeni tip süperiletkenlere $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ biçiminde bir manyetik alan uygulandığında H_{c1} alt kritik alan değerinden H_{c2} üst kritik alan değerine kadar sürekli artan bir oranda süperiletken numuneye akının nüfuz edeceğini göstermiştir. Artan dış manyetik alana maruz bırakılan I. tip süperiletkenlerde ise H_c 'de Süperiletkenlik birden bire ortadan kalkmaktadır.

I. Tip ve II. Tip süperiletkenlerin faz diagramları Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5.a. I. Tip, b. II. tip süperiletkenlerin faz diagramları

Bu yeni tür süperiletkenlerde ortaya çıkan bu manyetik davranışın, yalnızca onların kimyasal bileşiklerinden kaynaklandığı daha sonra keşfedilmiştir ve bu tür süperiletken özellik gösteren malzemelere II. tip süperiletkenler denir.

I. tip süperiletken grubuna giren malzemelerin hepsi metalik elementler iken, II. tip süperiletken davranışı gösteren malzemeler Niyobyum, Vanadyum gibi saf metaller,

metal alaşımları ve bazı oksitli bileşiklerdir. Benim bu çalışmamda incelediğim MgB₂ süperiletkenide II. tip süperiletkenidir.

II. tip süperiletkenler için Abrikosov şu bağıntıları tanımlamıştır:

$$H_{c1} \cong \frac{H_c}{\kappa} \quad (2.11)$$

$$H_{c2} \cong \sqrt{2} H_c \kappa \quad (2.12)$$

Burada H_{c1}: alt kritik manyetik alan, H_c: kritik manyetik alan, κ: G-L parametresi, H_{c2}: üst kritik manyetik alandır.

2.4 MgB₂ Süperiletken Sistemi

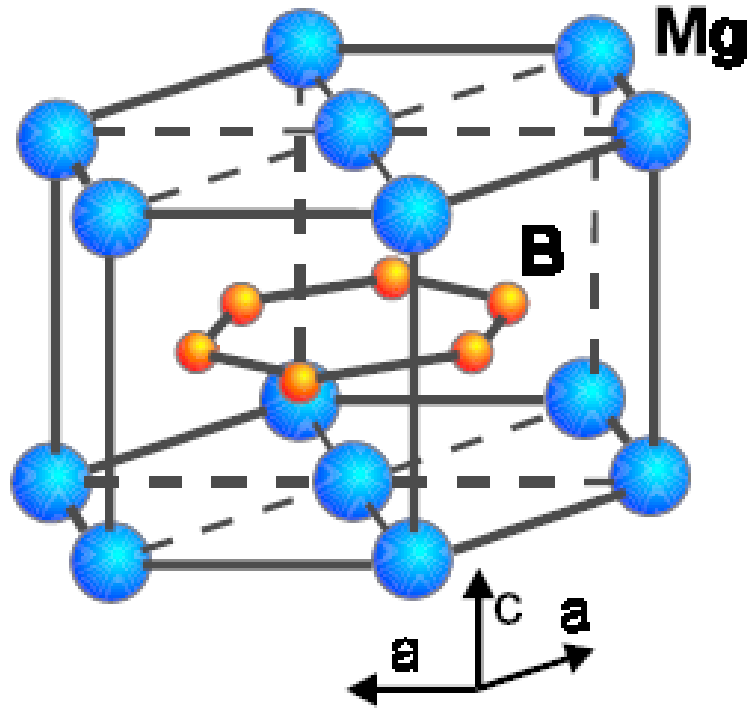
1950'lerden beri iyi bilinen MgB₂ sisteminin süperiletkenlik özelliği, 2001 yılında Akimitsu tarafından bulunması süperiletkenlik alanına (özellikle non-oksitlilere karşı) ilgiyi arttırdı (Akimitsu 2001). MgB₂'nin keşfi, borlu bileşiklerin süperiletkenliği için yapılan çalışmaların başlangıcı olmuştur. Yüksek sıcaklık süperiletkenlere göre 40K'lik T_c düşük sayılmasına rağmen, saf metaller ve alaşımlar içerisinde en yüksek süperiletkenlik kritik sıcaklığına sahip olan malzemedir. Aşağıda verilen özelliklerinden dolayı hala geniş ilgi çekmekte ve güncelliğini korumaktadır.

- İkili bir bileşik olması (Basit kristal yapı)
- Metaller ve alaşımlar içerisinde yüksek T_c'e sahip olması
- Uyum uzunluğunun geniş olması
- Taneler arası zayıf bağların olmaması

- Yüksek kritik akım yoğunluğu ve yüksek magnetizasyon özelliği
- Düşük anisotropi
- Yüksek akım taşınması için en uygun tanecikler arası sınırlar
- Ucuz olması

Çalışmamın bu bölümünde MgB_2 'nin süperiletkenlik özelliği ile ilgili kavramlar açıklanacaktır. MgB_2 süperiletkeni birçok grup tarafından yapılan araştırmalarla incelenmiş ve her türlü özelliği ortaya konmuştur.

2.4.1 MgB_2 'nin kristal yapısı



Şekil 2.6 MgB_2 'nin Kristal Yapısı (Buzza and Yamashita 2001)

MgB₂, P6/mmm uzay grubuna dâhil olan, 1940'lı yıllarda bulunan ve bor alaşımların da çoğunun uyduğu AlB₂ tipi basit hegzagonal kristal yapıdadır. MgB₂'nin kristal yapısı Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Bu yapı; Mg'nin oluşturduğu altıgen kapalı-paket katmanları tarafından ayrılmış olan grafit tipi bor katmanlarından oluşur. Mg atomları, borlar tarafından oluşturulmuş olan altıgenlerin merkezinde bulunur ve elektronlarını bor düzlemine verir. MgB₂, grafitinkine benzer bir şekilde B-B arasında güçlü bir anisotropi sergiler: bor düzlemleri arasındaki mesafe, bor düzlemi içindeki B-B mesafesinden belirgin bir şekilde uzundur. Kristal parametreleri, a=3,086Å ve c=3,524Å olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra B atomları arasındaki mesafe 0,178 nm iken Mg atomları arasındaki mesafe 0,3086 nm civarındadır.

2.4.2 Geçiş sıcaklığı T_c

MgB₂ üzerine yapılan çalışmalara göre; hem alaşım ve saf maddelerden hem de diğer bor alaşımlarından çok daha yüksek T_c değerine sahip geleneksel bir süperiletkendir. Çünkü süperiletken özellikleri yüksek sıcaklık süperiletkenlerinden çok geleneksel süperiletkenlere benzer. Bu özelliği yüzünden hem uygulamalı süper iletken hem de teorik çalışan araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir.

Çizelge 2.1 Şimdiye kadar incelemiş olan diğer bazı bor alaşımlarının sergilediği T_c değerleri (Buzea and Yamashita 2001)

Materyal	T _c (K)	Materyal	T _c (K)	Materyal	T _c (K)
MgB ₂	40	YPd ₂ B ₂ C	14,5	YPt ₂ B ₂ C	10
YPd ₂ B ₂ C	23	LuRh ₄ B ₄	11,76	YRu ₄ B ₂ C	9,99
LuNi ₂ B ₂ C	16,1	YRh ₄ B ₄	11,34	TmRh ₄ B ₄	9,89
Yni ₂ B ₂ C	15,6	TmNi ₂ B ₂ C	11	Yru ₂ B ₂ C	9,7

Bu materyalin bağ yapısı hakkında yapılan çalışmalar; MgB₂'nin süperiletkenlik özelliğinin kaynağının bor olduğunu ortaya koymuştur. Çünkü güçlü B-B kovalent bağı ısıtıl işlem sonunda aynen kalırken, Mg iyonize olmakta ve bunun iki elektronu B

tarafından yönetilen iletim bandını sarmaktadır. Hafif boron atomlarının yüksek titreşim frekansı bu alaşım için yüksek bir T_c değeri ortaya çıkartmaktadır.

2.4.3 Uyum uzunluğu

Süperiletken için önemli özelliklerden biriside uyum uzunluğudur (ξ). Süperiletkenlerde uyum uzunluğu hem ab düzlemi ve hem de c eksen boyunca hesaplanabilmektedir. MgB_2 için ab-düzlemi boyunca ölçülen uyum uzunluğunun $\xi_{ab} = 37 - 128 \text{ Å}$ arasında, c- eksen boyunca $\xi_c = 16 - 50 \text{ Å}$ arasında değerleri aldığı değişik gruplar tarafından; yığın (Handstein 2001), kristal (de Lima 2001a, de Lima 2001b, Xu 2001, Lee 2001), film (Jung 2001, Ferdeghini 2001, Patnaik 2001) ve toz (Bud'ko 2001, Simon 2001) numuneler için hesaplanmıştır. Bu uzunluk yüksek sıcaklık süper iletkenleri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek bir değerde olduğu görülmektedir ki bu da zaten BCS teorisinde beklenen bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır.

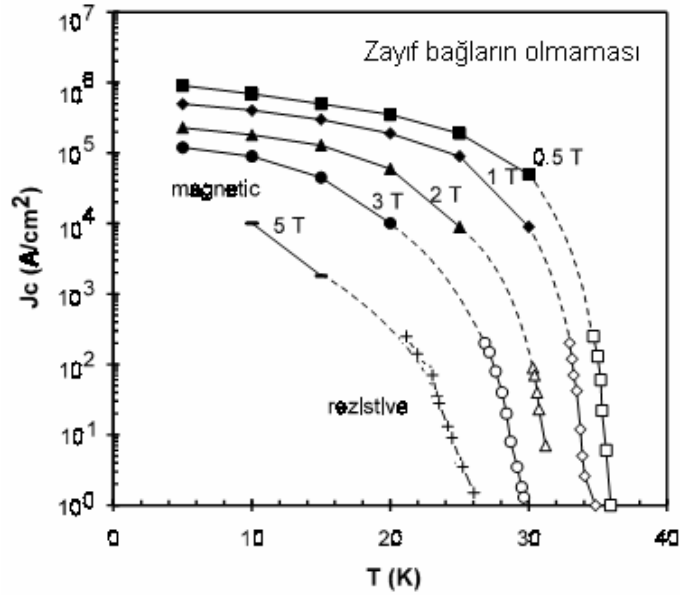
MgB_2 'nin süperiletkenliğinin keşfinden sonra birçok bilim adamı nona-parçacık eklemeleri ile bu metal alaşımın süperiletkenlik özelliklerini geliştirmek için uğraşmaya başladı. Çünkü MgB_2 'nin uyum uzunluğunun geniş olması birçok nano-parçacığın perçinlenme merkezi olarak davranmasına müsaade etmektedir.

2.4.4 Zayıf-bağların olmaması

Birçok mıknatıslanma ölçümü göstermiştir ki: MgB_2 , tanecik sınırlarında zayıf-bağ elektromanyetik davranışı veya hızlı akı sürüklenmesi olayını sergilememektedir.

Daha önceki çalışmalarda, yüksek akım yoğunluğu yığın numunelerde görülmüştür. Bu, J_c 'de bir bozulma olmadan tel ve şerit yapımında avantaj olabilir. Bunun tersine, bakır bazlı yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde zayıf-bağların indüklenmesinden kaynaklanan bozulma ciddi bir sorundur.

Şekil 2.7’de MgB_2 ’de zayıf bağların olmadığı gösterilmektedir. Yoğun yığın numunelerin yüksek manyetik alanlarda yapılan ölçümleri ilkel ölçümlerle çok benzer J_c değerleri vermiştir. Buda ilkel akımın numune içinde uyumlu aktığını, tane sınırlarından etkilenmediğini doğrulamaktadır. Yani, akı hareketi J_c ’nin manyetik alan ve sıcaklık bağımlılığını belirler (Buzea and Yamashita 2001).



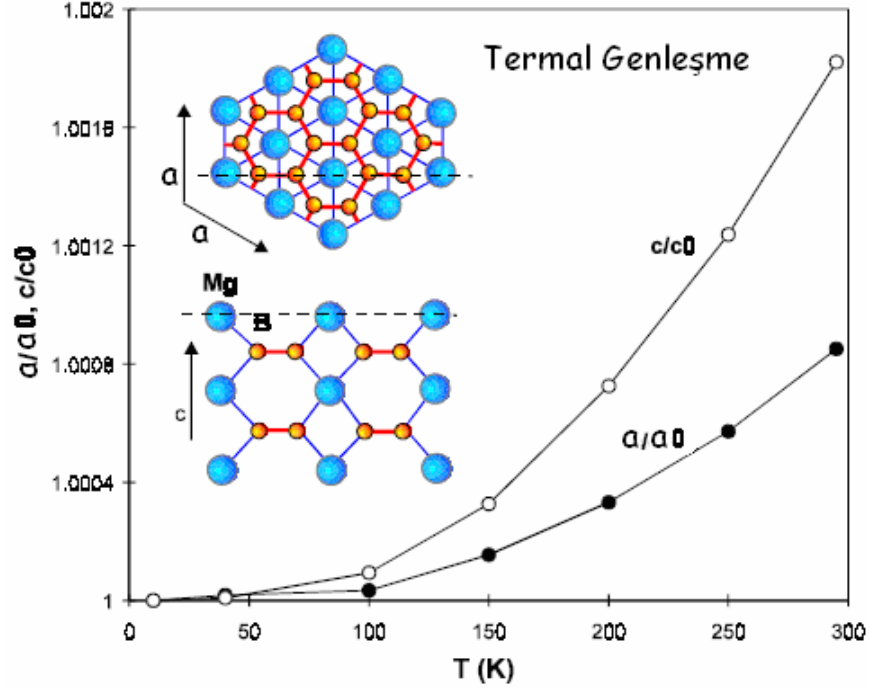
Şekil 2.7 Kritik akım yoğunluğunun manyetik alana bağımlılığı (Buzea and Yamashita 2001)

2.4.5 Termal genleşme

Sıkıştırılabilirliğe benzeyen termal genleşme, belirgin bir anizotropi sergiler: c eksenine göre daha çok tepki verir (Şekil 2.8). Grafikten de görüldüğü gibi; aynı sıcaklıkta, c eksenindeki örgü parametreleri a eksenindekilere göre iki kat daha hızlı artarlar. Bu durum; düzlem dışı Mg-B bağlarının, düzlem içi Mg-Mg bağlarından daha zayıf olduğunu gösterir.

Band yapısı hesaplamaları açıkça ortaya koymuştur ki; B-B kovalent bağları sabit kalırken, Mg iyonlaşır ve iki elektronunu B’den oluşan iletim bandına verir. Buna göre; MgB_2 ’nin süperiletkenliği, 2D B tabakalarının metalik doğasından kaynaklanmaktadır

ve hafif bor atomlarının yüksek titreşim frekansları bu bileşiğin T_c 'nin yüksek olmasına neden olur (Buzea and Yamashita 2001).



Şekil 2.8 Thermal genleşme grafiği (Buzea and Yamashita 2001)

2.4.6 İzotop etkisi

1950'de Maxwell ve Reynolds, bileşiği meydana getiren elementlerin izotopik ağırlıklarının süperiletkenlerin kritik sıcaklık değerlerinde etkili olduğunu buldular. Bu durum için genel matematiksel denklem

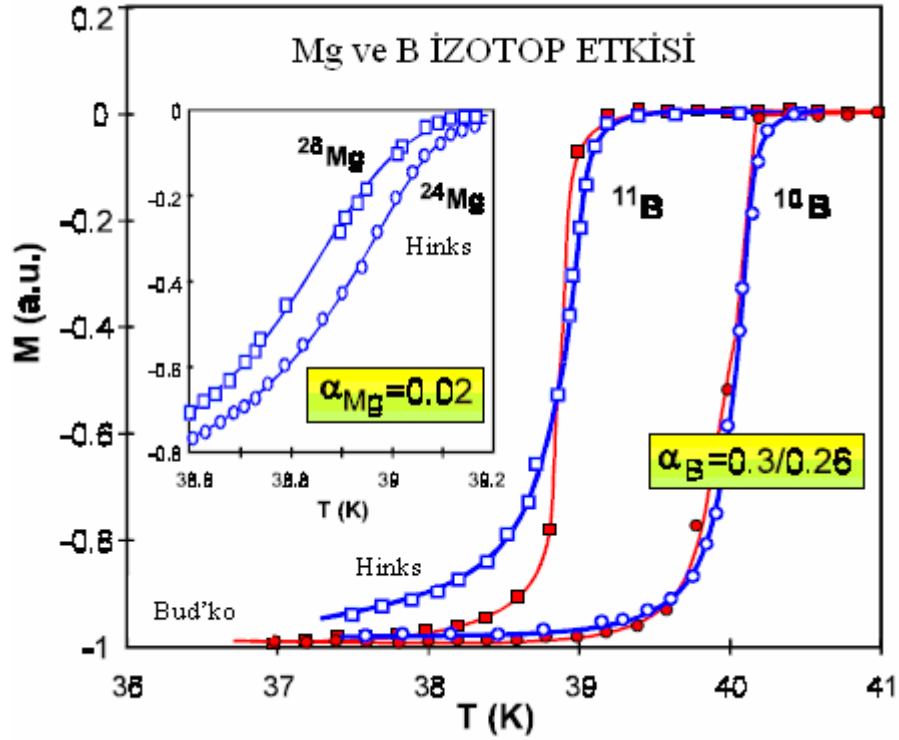
$$T_c M^\alpha = C \quad (2.13)$$

olarak verilmektedir. Bu ifade de M;atomik kütle, C; sabit değer ve α ; izotop etkisi katsayısıdır.

Yapılan çalışmalar, Mg ve B izotoplarının MgB_2 'nin kritik sıcaklığı üzerindeki etkilerinin ortaya koymuştur (Bud'ko, 2001; Hinks,2001).

Şekil 2.9’da MgB_2 nin kritik sıcaklığa karşı M ve B nin izotop etkisini göstermektedir. Bu çalışmalarda α_B , 0,26-0,3 arasında çıkmıştır. Yani B titreşimleri ile fonon eşlenimi, MgB_2 ’nin süperiletkenliğinde en belirgin rolü oynamaktadır.

Buna karşın; magnezyumun izotop etkisi ($\alpha_{\text{Mg}}=0,02$) çok küçüktür. Bunun anlamı: Mg’nin titreşim frekansının T_c üzerindeki etkisi oldukça küçüktür. Bu durumda toplam izotop etkisi katsayısı $\alpha_{\text{toplaml}} = \alpha_B + \alpha_{\text{Mg}} \approx 0,3 + 0,02 \approx 0,32$ olarak hesaplanır. α_{toplaml} ’ın $\frac{1}{2}$ den daha küçük olması MgB_2 ’de fonon çiftlenimi mekanizmasının olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 2.9 İzotop etkisi grafiği (Buzea and Yamashita 2001)

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi B izotop etkisi dolayısıyla T_c ’de yaklaşık 1K kadar bir kayma meydana gelmektedir. Kritik sıcaklık Mg^{10}B_2 için 40,5 K ve Mg^{11}B_2 için 39,2 K olarak ölçülmüştür. Ancak bu durum Mg izotop etkisinde yaklaşık olarak on kat daha az olmaktadır.

2.4.7 Kritik sıcaklığa katkılarının etkisi:

Katkılar, birçok açıdan önemlidir. Birincisi; bir bileşimin kritik sıcaklığını arttırabilir. İkincisi; yüksek T_c 'ye sahip ilgili bileşiklerin varlığını gösterebilir. Ve son olarak en önemlisi; T_c 'yi önemli ölçüde düşürmeyen katkı elementleri perçinlenme merkezleri gibi davranabilir ve J_c 'yi arttırabilirler.

Giriş kısmında bahsettiğimiz katkıların etkilerinin inceleyelim:

Bakır: Kimishima, Cu ilavesinin J_c değerinin yükselttiğini rapor ederken Tampieri ve Kazakov, bu ilavenin T_c üzerindeki etkilerini incelemiş ve T_c değerinin neredeyse değişmediğini ve süperiletkenliğe geçiş sıcaklık aralığının genişlediğini bildirmişlerdir.

Kobalt: Kühberger çalışmasında, Co'nun küçük miktardaki ilaveleri için karışımın T_c 'nin azalmasına rağmen MgB_2 'nin süperiletkenliğinin bozulmadığı sonucuna varmıştır. Aksan buna paralel sonuçlar ortaya koymuştur; Co ilavesinin çok fazla bir yapı ortaya çıkardığını, eklenen Co miktarı arttıkça T_c 'nin azaldığını ve süperiletken faza geçişin giderek daha geniş sıcaklık aralıklarında gerçekleştiğini bulmuştur.

Alüminyum: Xu'nun çalışmasında; neredeyse ilave edilen tüm Al'lerin MgB_2 örgü yapısında Mg yerine geçtiklerini, katkı miktarının artmasıyla örgü parametrelerinin ve T_c değerlerinin azaldığı rapor edilirken azda olsa katkı numunelerin J_c 'nin saf numuneden büyük olduğu bildirildi. Rui'nin araştırmasında ise; artan Al katkı oranlarına karşılık T_c 'nin azaldığı ve saf MgB_2 'ye göre süperiletkenlik özelliklerinin zayıfladığı fakat tanecik sınırlarındaki Al'lerin güçlü perçinlenme merkezleri olarak davranabileceği savunuldu. Zheng ve Xiang'da buna paralel olarak; katkı arttıkça süperiletken özelliklerin bozularak J_c ve T_c değerlerinin azaldığını bildirdiler.

Lityum: Bu katkılamayı araştıran Li, küçük orandaki katkılar için T_c 'nin neredeyse hiç değişmediği sonucuna ulaştı. Bu sonuca benzer şekilde Zhao'da, küçük katkı

oranları için tek fazlı bir yapı oluştuğunu, katkılanan Li oranı arttıkça T_c 'nin azaldığını ve hatta belli bir limitin üzerinde süperiletkenliğin tamamen yok olduğunu rapor etti.

Silikon: İki farklı boyutta Si tozu (44 μ m, nano-Si) kullanan Wang'ın çalışmasına göre; nano katkılama için perçinlenme mekanizması ve J_c belirgin bir şekilde artarken 44 μ m'lik Si katkılamanın da perçinlenme mekanizmasının saf MgB_2 'den bile zayıftır.

Silisyum Karbon: SiC ile katkılamanın özelliklerini inceleyen araştırmacılar, nano-SiC'nin en iyi perçinlenme merkezi olduğunu ortaya koymuşlardır. J_c 'de belirgin bir gelişme olurken T_c 'nin 2K kadar azaldığını bulmuşlardır.

Çinko: Zn ile yapılan çalışmalarda J_c 'de büyük bir anizotropi olduğu ve Zn katkılamanın sistemin kritik sıcaklığı üzerinde %0,2 lik bir pozitif etki yaptığı gözlenmiştir.

Gümüş: Guo ve Cheng'in Ag katkılması üzerine yaptıkları çalışmalar sonucunda; katkılama artarken birim hücrenin T_c 'nin küçüldüğü ve faz geçiş sıcaklık aralığının genişlediği bulunmuştur.

Tantalum: Prikhna, Ta ilavesinin sistemin J_c 'si üzerinde pozitif bir etki yarattığını rapor etmiştir.

Titanyum: Zhao'nun çalışmasına göre; tanecikler arası iletimin iyi olması ve MgO 'dan kaynaklanan yüksek yoğunluktaki perçinlenme merkezleri yüzünden J_c 'de çok önemli bir gelişme olmaktadır. Anderson, Gotto ve Wilke de aynı sonuca ulaşmışlar ve T_c sadece 2-3 K düşerken J_c 'nin büyük ölçüde geliştiğini rapor etmişlerdir.

Demir: Yapılan araştırmalar sonucunda, küçük orandaki katkıların T_c 'yi düşürdüğü fakat MgB_2 'nin süperiletken davranışını bozulmadığı bulunmuştur.

Karbon: C katkılarları üzerine yapılan çalışmalarda perçinlenme merkezlerinin artarak akı perçinlenmesinin arttırdığı ve bu sayede J_c 'yi yükselttiği sonucuna ulaşılmıştır.

Krom: Zhang' ın çalışmasına göre; katkılama sonucunda normal durum direncinin artar ve süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının düşer.

İridyum: Yapılan çalışmalarda T_c 'nin katkılama ile azaldığı rapor edilmiştir.

Zirkonyum: Zhao'nun çalışmasında gelişen perçinlenme merkezleri yüzünden J_c 'de çok önemli bir gelişme olduğu bildirilmiştir. Gotto'nun çalışmasında bu sonucu desteklemektedir.

Kurşun: Elsabawy çalışması ile katkılama oranı artarken J_c 'nin arttığını ortaya koyarken M'chirgui katkılama ile T_c 'nin düzenli bir şekilde azaldığını ortaya koymuştur.

Manganez: Araştırmalar sonucunda, artan Mn katkılama oranları ile T_c adım adım azalmakta olduğu bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tezde ticari MgB_2 ve nano boyutlu Fe_3O_4 kullanıldı. Bu malzemeler Çizelge 3.3'deki ağırlık oranlarda hazırlandı.

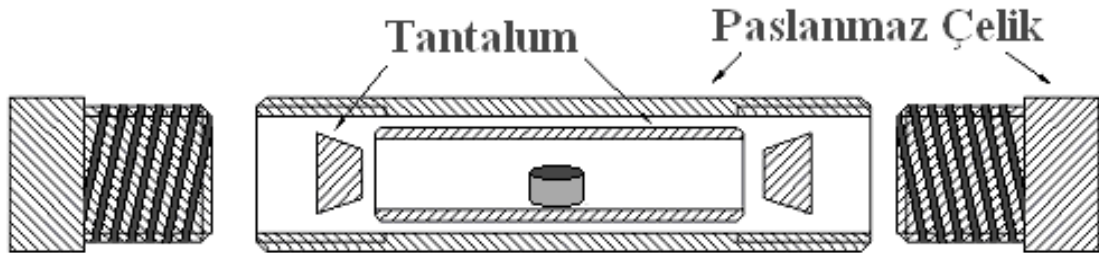
Çizelge 3.1: Numunelerin katkılama oranları.

Numune No:	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
MgB_2	%100	%99,5	%99	%98,5	%98	%96	%94	%92	%90
Fe_3O_4	%0	%0,5	%1	%1,5	%2	%4	%6	%8	%10

Malzeme hazırlama işlemi tanımlandıktan sonra fiziksel özelliklerini belirlemek için deneysel işlemler yapıldı.

3.1 Örneklerin Elde Edilmesi

Numuneler çizelgede belirtilen oranlarda toz halinde agat havanda her biri eşit sürelerde ve eşit koşullar altında karıştırıldı. Karıştırılan toz numuneler preslenerek 5mm çapında silindirik numuneler hazırlandı. Preslenen bu numuneler argon gazı ile iyice temizlenmiş Ta-tüp içine yerleştirilerek kapatıldılar.



Şekil 3.1 Tantalum Tüp şeması

Ta tüpe hava almayacak şekilde kapatılan malzemeler içinden sürekli argon gazı akan fırında $925^{\circ}C$ 'de 1 saat fırınladılar ve sonrasında kendi kendilerine soğumaya bırakıldılar. Bu işlemin argon atmosferinde sıkıca kapatılmış bir yapı içinde

yapılmasının amacı; hazırlanan numuneye dışardan oksijen girişini ve yüksek sıcaklıklarda buharlaşan Mg'nin karışımdan ayrılmasını engellemektir. Bu işlemde, ısıtma ve soğutma hızlı Protherm marka fırın kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler AC Susceptometer'e sığması için hassas ve özenli bir şekilde zımparalanarak numunelerin çapı 3,4mm'e düşürüldü (Preslemedeki mekanik yetersizlikler yüzünden direkt olarak 3,4mm çapında numuneler hazırlanamadığı için böyle bir yöntem takip edildi.).

Tavlanması ve fırınlanması biten numunelerin Bruker D8 Advance X-ışını toz difraktometresi ile XRD'leri çekildi.

Bu işlemler tamamlandıktan sonra Ankara Üniversitesi Katı-Hal Laboratuvarındaki Lake Shore 7130 AC susceptometre ile ac alınganlıklarına bakıldı.

Her biri 3,40mm çapındaki silindir numuneler; $H_{ac}=80, 160, 320, 640$ ve 1280 A/m alanları uygulanarak, $f=111\text{Hz}$ frekansında, 20 K' den 40 K' e kadar değişik aralıklarda ac alınganlık ölçümleri yapıldı.

3.2 AC Alınganlık Ölçüm Sistemi

AC alınganlık ve mıknatıslanma ölçümleri süperiletkenlerin karakterizasyonunu anlamamızı sağlamaktadır. AC alınganlık ölçümlerinin ölçme tekniği faz duyarlı detektörün (FDD) çalışma prensibine bağlıdır.

3.2.1 Deneyisel metod

Bir numunenin üzerine H manyetik alanı uygulandığı zaman, bu numunenin mıknatıslanması M olsun. Bu durumda manyetik alınganlık

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır.

AC ölçümünde ise malzemenin manyetik momenti uygulanan ac alana tepkisi olarak değişir. Bu durumda ac alınganlık

$$\chi = \frac{dM}{dH_{ac}} \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanır.

Numuneye dışarıdan $H(t) = H_{ac} \sin(\omega t)$ gibi bir a.c. alan uygulanırsa akım indüklenmesine neden olur.

Numunenin AC mıknatıslanması :

$$M(t) = H_{ac} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\chi_n' \sin(n\omega t) - \chi_n'' \cos(n\omega t) \right] \quad (3.3)$$

olur. Burada M: mıknatıslanma, H_{ac} : uygulanan manyetik alan, χ_n' : n. mertebeden faz içi manyetik alınganlık, χ_n'' : n. mertebeden faz dışı manyetik alınganlık, ω : açısal frekanstır.

Bobinlerde indüklenen voltaj ise:

$$V(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[V_n' \cos(n\omega t) - V_n'' \sin(n\omega t) \right] \quad (3.4)$$

olur. Burada V(t): indüklenen voltaj, V_n' : n. mertebeden alınganlığın faz içi bileşeni gerilimi, V_n'' : n. mertebeden alınganlığın faz dışı bileşeni gerilimi, ω : açısal frekanstır.

Hacim başına mıknatıslanma $m(t)$, toplam mıknatıslanma $M(t)$ ve numunenin hacmi V ise;

$$m(t) = VH_{ac} \sum_{n=1}^{\infty} [\chi'_n \cos(n\omega t) + \chi''_n \sin(n\omega t)] \quad (3.5)$$

dir. Hacim başına mıknatıslanmanın zamana göre değişimi ise;

$$\frac{dm(t)}{dt} = VH_{ac} n\omega \sum_{n=1}^{\infty} [\chi'_n \cos(n\omega t) + \chi''_n \sin(n\omega t)] \quad (3.6)$$

olur. Algılayıcı bobinlerden okunan gerilim toplam mıknatıslanmanın zamana göre değişiminin oranıdır.

$$\frac{dM(t)}{dt} = \alpha \sum_{n=1}^{\infty} [V'_n \cos(n\omega t) \cos\theta + V''_n \sin(n\omega t) \sin\theta] \quad (3.7)$$

Buna göre;

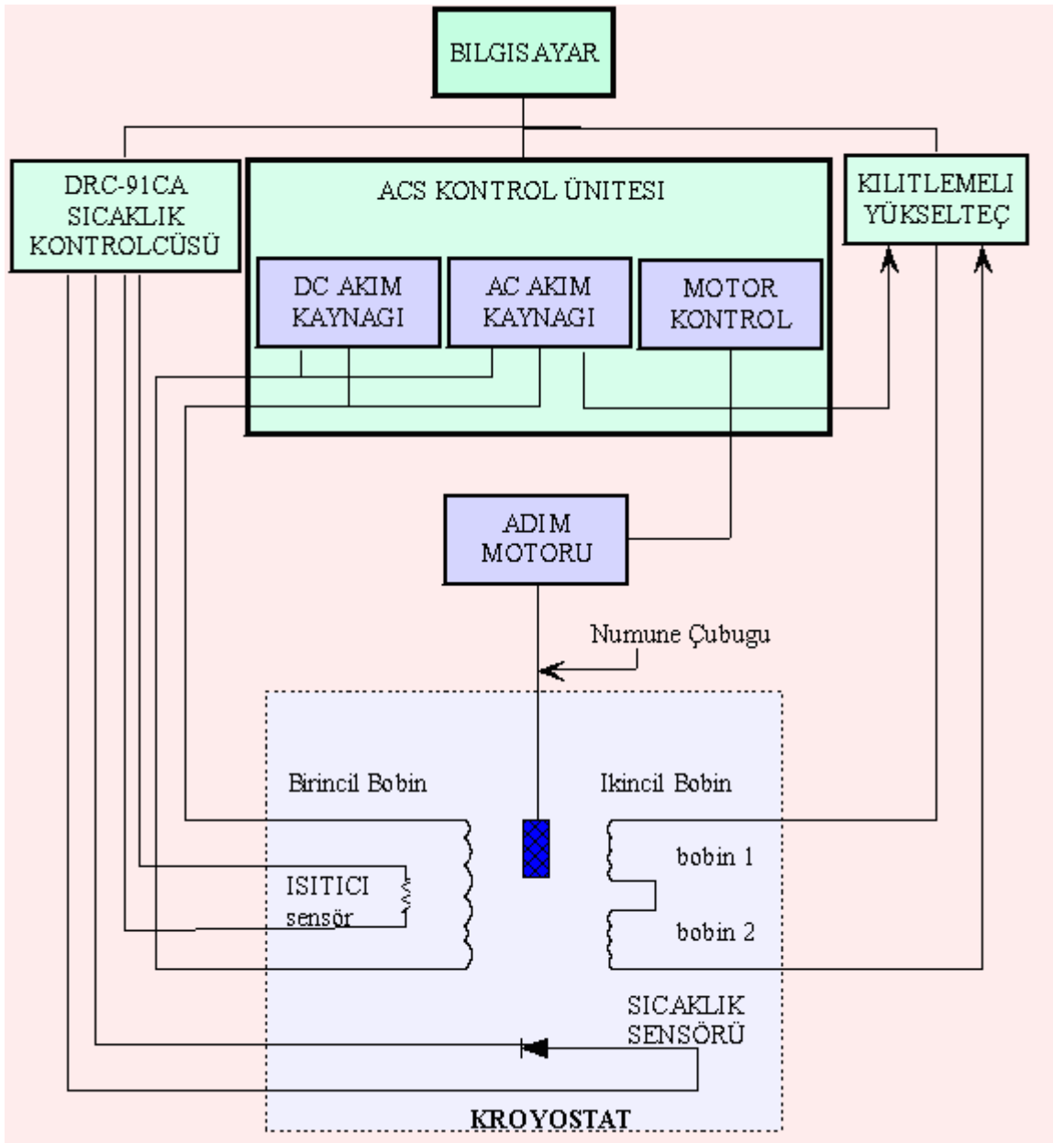
$$\chi'_n = \frac{\alpha V'_n}{nVH_{ac}f} \text{ ve } \chi''_n = \frac{\alpha V''_n}{nVH_{ac}f} \quad (3.8)$$

$$\chi_n = \chi'_n + i\chi''_n \quad (3.9)$$

Burada $V(t)$: indüklenen voltaj, V_n^I : n. mertebeden alınganlığın faz içi bileşeni gerilimi, V_n^{II} : n. mertebeden alınganlığın faz dışı bileşeni gerilimi, $M(t)$: toplam mıknatıslanma, $m(t)$: hacim başına mıknatıslanma, V : hacim, H_{ac} : uygulanan ac alan, ω : açısal frekans, χ_n^I : n. mertebeden faz içi manyetik alınganlık, χ_n^{II} : n. mertebeden faz dışı manyetik alınganlık, α : sistem kalibrasyon sabiti, f : frekanstır.

FDD sinyalin bu iki bileşenini ölçmek için kullanışlıdır. Birincil bobindeki referans sinyalinin fazına bağlı olarak FDD’de referans sinyali ile 0 derece fazda χ_1' , referans sinyali ile 90 derece fazda χ_1'' ile ilişkili bir sinyal alınır. Kullanılan low-pass filtresi ile FDD’nin çıkışında sırası ile χ_1' ve χ_1'' ölçülür.

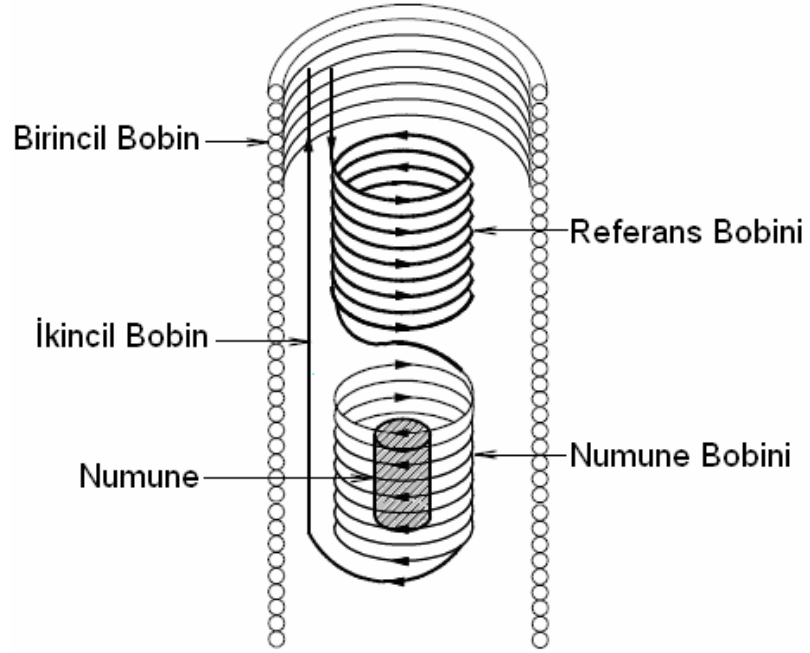
3.2.2 Manyetik alınganlık ölçümleri



Şekil 3.2 AC Alınganlık Ölçüm Sistemi Şeması

AC manyetik alan ölçümleri “Lake Shore 7130 AC susceptometer” sistemi ile yapılmıştır. Bu sistem karşılıklı indüktans yöntemi ile manyetik alınganlığı sıcaklığın, uygulanan ac alanının ve frekansın fonksiyonu olarak ölçen sistemdir. Kapalı devre sıvı helyum kullanan bir soğutma sistemi ile 15–325 K arasında sıcaklık kontrolü sağlamaktadır. AC alınganlık ölçüm sistemi şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.

Soğutucu içindeki bobinlerden gelen sinyaller FDD tarafından sayısal olarak okunur. Bu bilgiler bilgisayara aktarılır. Sistemin kontrolü bu bilgisayarla yapılmaktadır. Ölçüm alınan malzemenin istenilen sıcaklıkta sabit tutulabilmesi için ısı kaybı önlenmelidir ve buda yüksek düzeyde vakum yapabilen bir sistemle sağlanmaktadır.



Şekil 3.3 Soğutucu içerisinde yer alan birincil ve ikincil bobinler

AC manyetik alınganlık sistem, karşılıklı indüktans tekniğine dayanır. Kullanılan bobin sistemi eş eksenli iç içe geçmiş bobinlerden oluşur. Dıştaki bobine birincil bobin ve birincil bobinin içinde birbirine seri olarak bağlanmış iki tane özdeş ve ters sarımlı bobinden oluşan ikincil bobin var. Sadece malzemedan kaynaklanan indüklenmiş gerilimin okunabilmesi için bu bobinler birbirlerine özdeş ve ters sarımlıdır (Şekil 3.2). Ölçüm sırasında, mıknatıslanmasını ölçmek istediğimiz numuneyi bu iki bobinden

birinin içine yerleştiriyoruz ve bu bobini numune bobini olarak adlandırıyoruz; içi boş olan diğer bobinde referans bobini olarak adlandırılıyor. Bir H_{ac} alanı uygulamak için kullanılan birincil bobin içerisindeki bu ikincil bobinler indüklenen akıyı algılamaya yarar. Adım motoru sayesinde numune bu ters sarımlı bobinler arasında hareket ettirilerek her iki bobin için indüklenen gerilim değerleri alınır. Sistemden kaynaklanan istenmeyen gerilimi yok edebilmek için bu okunan iki değer ortalama alınır.

3.2.3 X-ışını toz kırınımı ölçümleri

Elde edilen numuneler x-ışını toz difraktometresinde incelenmiştir. Elde edilen verilerin x-ışını toz kırınımı analizleri ICDD powder Diffraction file PDF2 ve Diffractionplus 2000 programı ve kütüphanesi kullanılarak yapılmıştır.

Bu tezde üzerinde çalışmakta olduğum toz MgB_2 'nin x-ışını toz difraksiyonu desenleri TAEK'de bulunan XRD cihazlarında ve sonrasında çalışılan silindirik numunelerin x-ışını toz difraksiyonu desenleri Malatya İnönü Üniversitesi Fizik Bölümü'nde bulunan XRD cihazlarından elde edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

XRD:

Şekil 4.1’de %0 ile %10 arasında çeşitli oranlarda Fe_3O_4 ile katkılandırıldığımız silindirik numunelerimizin x-ışını toz difraktometre yardımıyla oda sıcaklığındaki elde edilen XRD desenleri verilmiştir. Hekzagonal örgü şeklinde kristalize olan MgB_2 ’nin örgü parametreleri literatürde $a=3,0857\text{\AA}$ ve $c=3,5240\text{\AA}$ olarak verilmektedir. Hazırladığımız numunelerimizden elde ettiğimiz XRD sonuçlarına göre her bir numune için ayrı ayrı bu parametreler hesaplanmıştır ve MgB_2 numunelerimiz için örgü parametreleri yaklaşık $a=3,0840\text{\AA}$ ve $c=3,5267\text{\AA}$ olarak bulunmuştur. Katkılama oranı değiştikçe örgü parametrelerinde önemli bir değişim olmamış ve değerleri birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Buna göre; yaptığımız katkılama işleminin MgB_2 ’nin örgüsünde bir değişime yol açmadığını söyleye biliriz.

XRD deseni analizi ile süperiletken malzemenin ana fazının MgB_2 fazı olduğu ve az miktarda yabancı fazlar içerdiği tespit edilmiştir. Katkılamalar sonucu XRD de tepe değerlerinde (2θ değerlerinde) katkılandırmaya bağlı hiçbir kayma gözlenmezken, katkılama oranı artıkça MgB_2 ’ye ait tepe yükseklikleri azalmaktadır. Yabancı fazlar; $2\theta=35,420$ ve $44,521$ değerlerinde sırası ile MgO ve Fe ’ye ait tepeler olarak gözükmemektedir. $2\theta=35,420$ ’deki MgO tepesi %4, %6, %8 oranında katkılı numunelerde gözlenmezken diğer numuneler için katkılama oranı artıkça tepe yüksekliği azalmaktadır. $2\theta=44,521$ ’deki Fe tepesi için de; katkılama oranı artıkça tepe yüksekliği artmaktadır diyebiliriz. Artan Fe oranına karşılık bu tepe yüksekliğinin artması normal bir durumdur.

AC Alınganlık:

Bu çalışmada ac alınganlık sıfır dc alanda, sabit bir frekans altında uygulanan her bir ac manyetik alan için sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü. Bu deneysel sonuçları elde etmek için numunelere uygulanan AC manyetik alanlar $H_{ac}=80, 160, 320, 640,$

1280A/m ve frekans $F=111\text{Hz}$ olarak seçilmiştir. Daha verimli bir karşılaştırma yapılabilmesi için bu grafikler normalize edilmiştir.

Şekil 4.2'den Şekil 4.10'a kadar sırasıyla her bir numunenin uygulanan değişik manyetik alanlar altındaki AC alınganlıklarının sıcaklığa göre değişimleri gösterilmektedir. Bu grafiklerin $T=36,6\text{K}$ ile $T=38,6\text{K}$ arasındaki kısmı kritik sıcaklık ve T_p değerlerinin tespiti ve daha net görülebilmesi için orijinal grafiğin üzerinde büyütülmüş olarak verilmiştir.

Bu ölçümlerde manyetik geçişin başlangıcı kritik sıcaklık T_c olarak tayin edilir. Şekil 4.2 deki grafiğe göre $38,6\text{K}$ de geçiş başlamaktadır. Saf MgB_2 için saptadığımız bu sonuç diğer katkılama oranları içinde yaklaşık olarak aynıdır. Tüm numunelerimizdeki faz değişimi, geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Buna dayanarak numunelerimizin homojen olmadığını söyleyebiliriz ki bu sonuç XRD sonuçları ile uyuşmaktadır: katkı maddemiz MgB_2 'nin atomik yapısına girmemiştir.

Üzerinde ölçüm yaptığımız numuneler silindirik yapıda olduğu için kritik akım yoğunlukları, J_c , Bean kritik durum modelinden yararlanılarak elde edildi. Bean modeline göre silindirin numunenin kritik akım yoğunluğu:

$$J_c = \frac{H_{ac}}{a} \quad (4.1)$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülasyonla elde edilen J_c değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

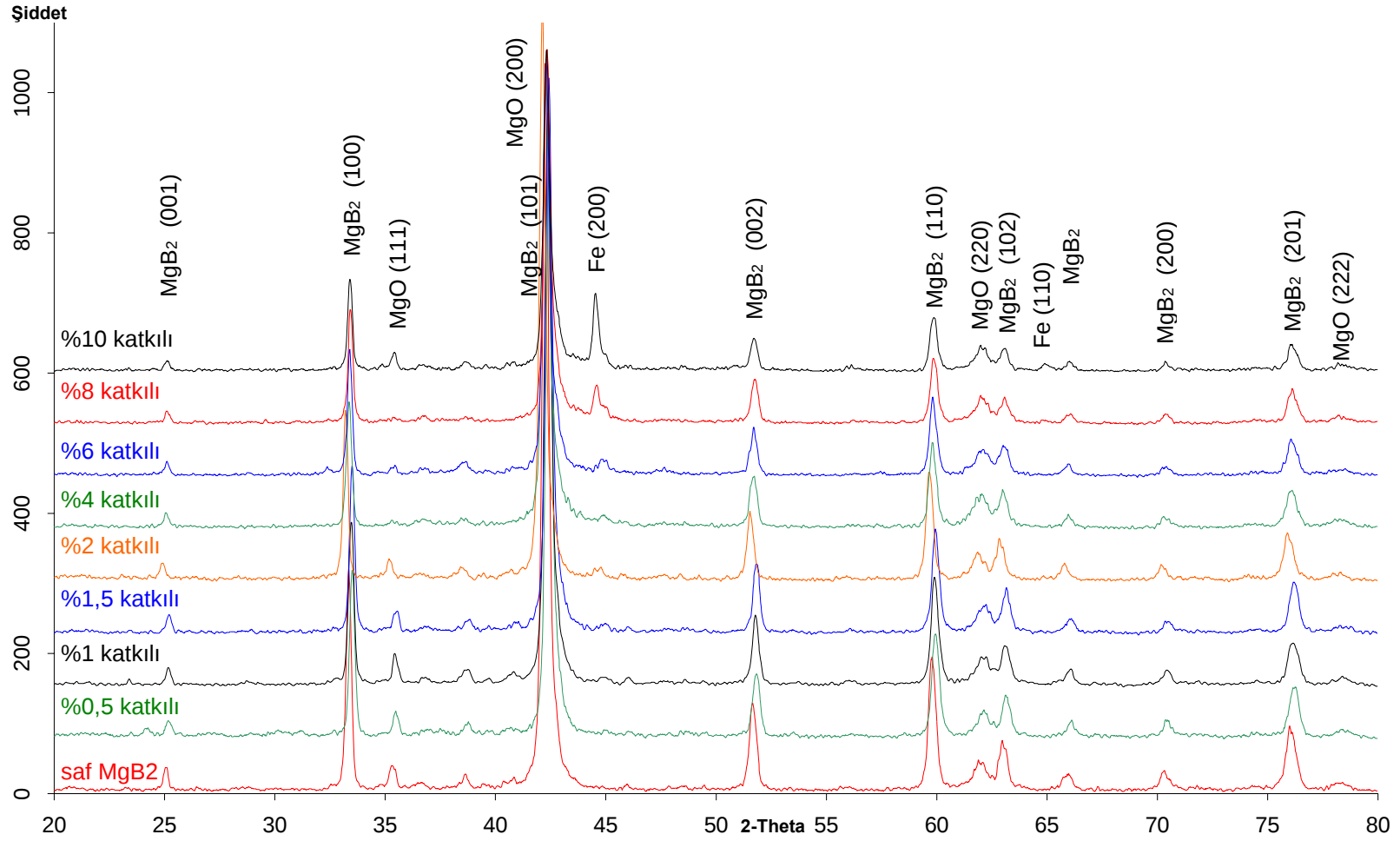
Ölçülen manyetik alan, numunemizin merkezine kadar girebilen en küçük alana eşit olduğunda, alınganlığın faz dışı bileşenin (χ_1'' 'in) sıcaklığa göre grafiğinde bir maksimum gösterir. Saf MgB_2 'nin grafiğinde; χ_1'' 'deki maksimum, T_p , uygulanan manyetik alan arttıkça düşük sıcaklıklara doğru kaydığını ve yüksekliğinin arttığını gözlemledik (Şekil 4.2). Katkılı diğer numuneler için de aynı durum söz konusudur.

Çizelge 4.1 Her bir numunenin T_p ve J_c değerleri

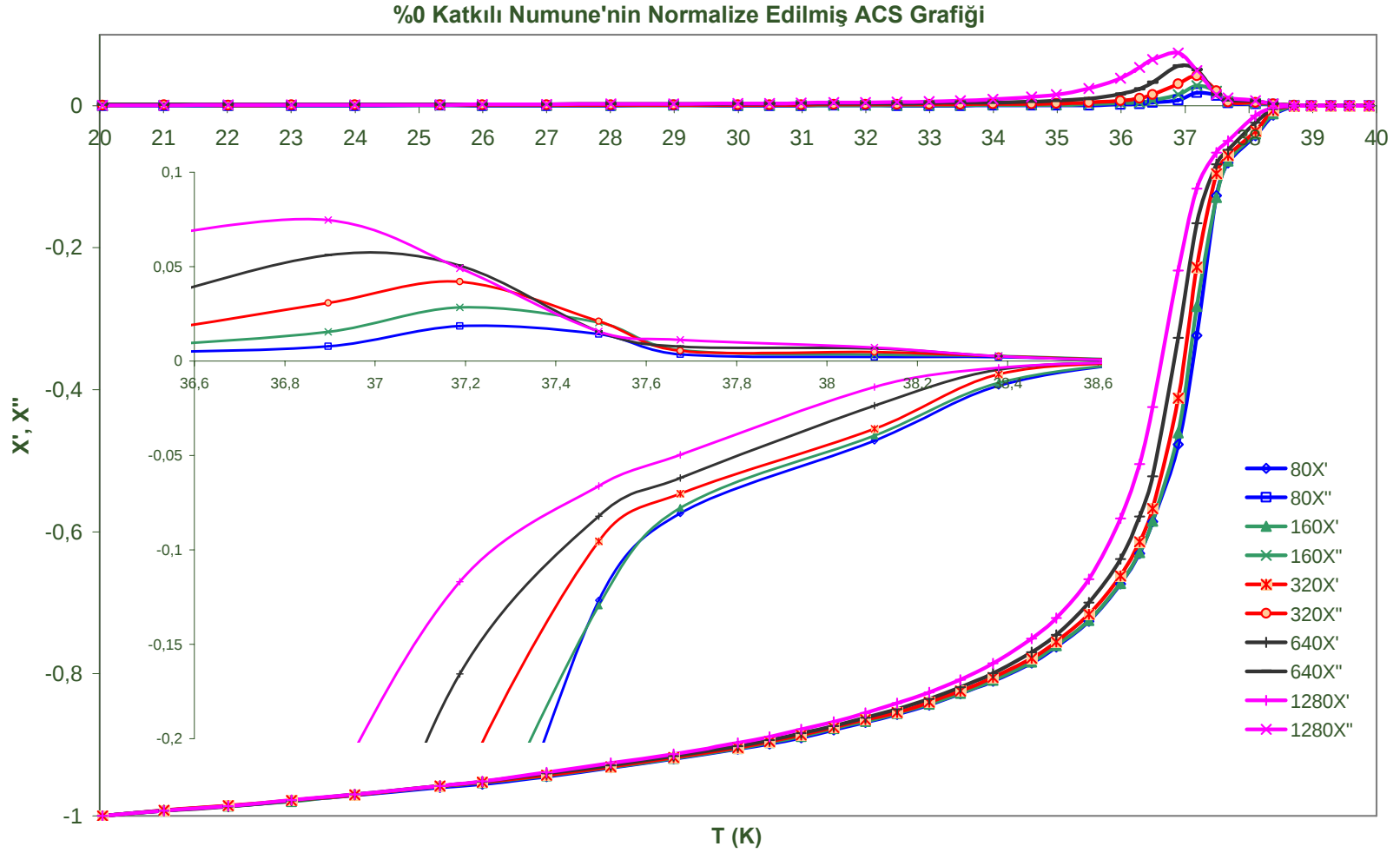
%0 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$	%0,5 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$
80 A/m	37,2273	4706	80 A/m	37,245	4706
160 A/m	37,2011	9412	160 A/m	37,24	9412
320 A/m	37,1745	18824	320 A/m	37,233	18824
640 A/m	36,945	37647	640 A/m	37,037	37647
1280 A/m	36,846	75294	1280 A/m	36,7625	75294
%1 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$	%1,5 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$
80 A/m	36,965	4706	80 A/m	37,16	4706
160 A/m	36,95	9412	160 A/m	37,145	9412
320 A/m	36,93	18824	320 A/m	36,855	18824
640 A/m	36,875	37647	640 A/m	36,765	37647
1280 A/m	36,705	75294	1280 A/m	36,485	75294
%2 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$	%4 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$
80 A/m	37,13	4706	80 A/m	37,035	4706
160 A/m	37,15	9412	160 A/m	37,02	9412
320 A/m	37,09	18824	320 A/m	37,01	18824
640 A/m	36,99	37647	640 A/m	37,005	37647
1280 A/m	36,828	75294	1280 A/m	36,952	75294
%6 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$	%8 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$
80 A/m	37,23	4706	80 A/m	37,17	4706
160 A/m	37,22	9412	160 A/m	37,16	9412
320 A/m	37,205	18824	320 A/m	37,145	18824
640 A/m	36,99	37647	640 A/m	37,08	37647
1280 A/m	36,84	75294	1280 A/m	36,892	75294
%10 katkı için	T_p	$J_c(A/m^2)$			
80 A/m	37,14	4706			
160 A/m	37,125	9412			
320 A/m	37,09	18824			
640 A/m	36,92	37647			
1280 A/m	36,83	75294			

Numunelerimizin katkılama oranları artıkça χ_1' grafiğinin yukarı doğru kayarak normal durum için sıfır değerinin üzerinde değerlere çıktığı gözlenmiştir. Bu duruma göre; katkılama oranı arttıkça numunemizin normal durumda iken ferromagnetik özellik sergilediğini söyleyebiliriz.

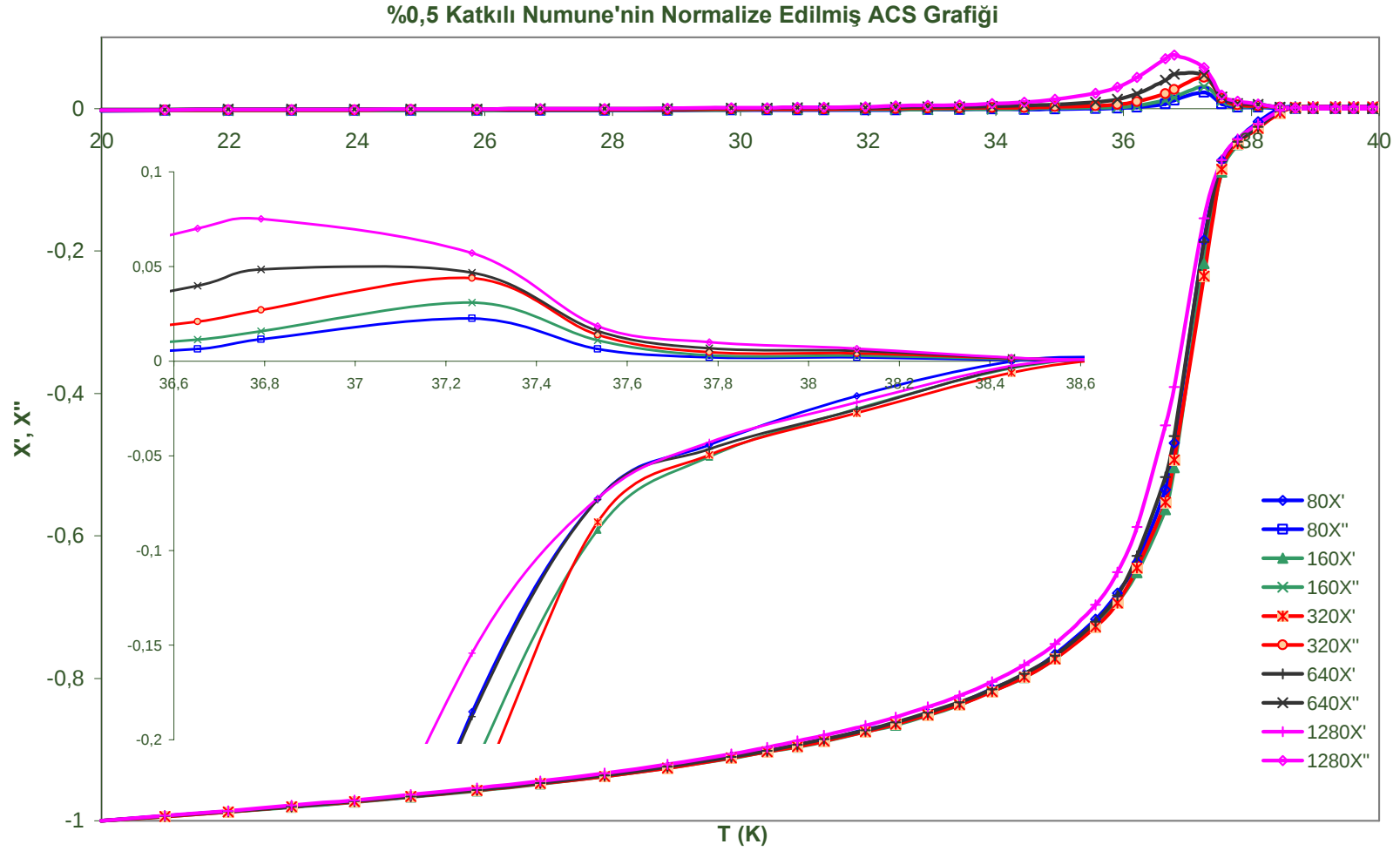
Şekil 4.11'den Şekil 4.15'e kadar sırasıyla her bir alan için değişik katkılamaların ac alınganlıklarının sıcaklıkla değişimi verilmektedir. Aynı manyetik alan altında değişik katkılamalar için T_p değerinde bir kayma gözlenmemektedir. Bu grafikleri incelediğimiz zaman; %1, %1.5, %2, %4 ve %10 katkılı numunelerde χ_1' bileşeninin değerlerinin saf MgB_2 'ye göre daha yüksek olduğunu ve %0.5, %6, %8 katkılı numuneler için ise daha düşük değerlerde olduğunu görüyoruz. %0.5, %6, %8 katkılı numunelerde ki bu durum kritik akım yoğunluğunda ki bir artışla açıklanabilir. Buna karşın normal durumdan süperiletken duruma geçiş geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleştiği için kritik akım yoğunluğunun kesin olarak arttığını söyleyemeyiz.



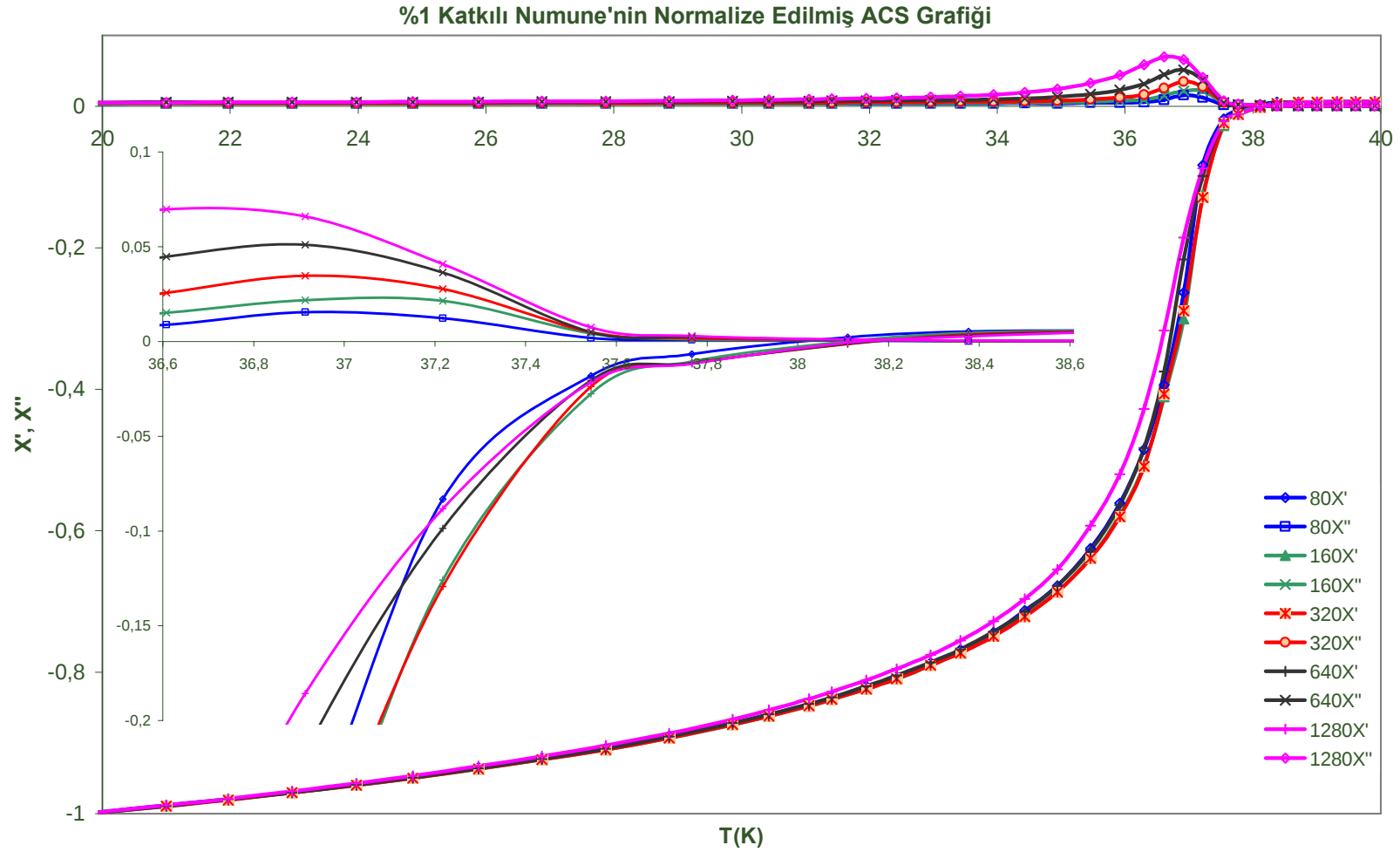
Şekil 4.1 Hazırlanan tüm numunelerin X-ışını toz difraktometresi ölçümünden elde edilen grafiği



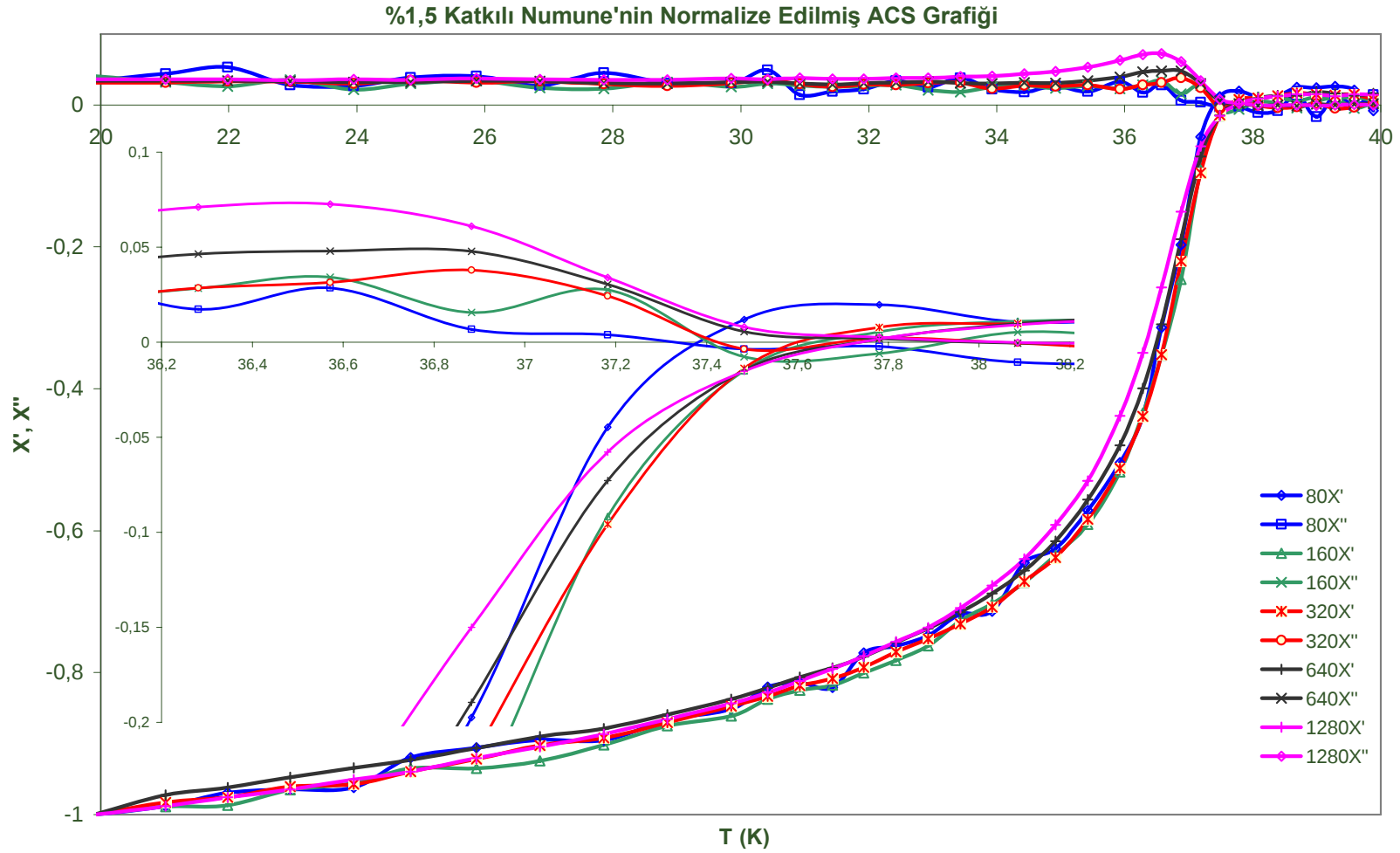
Şekil 4.2 Saf MgB₂ numunesinin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



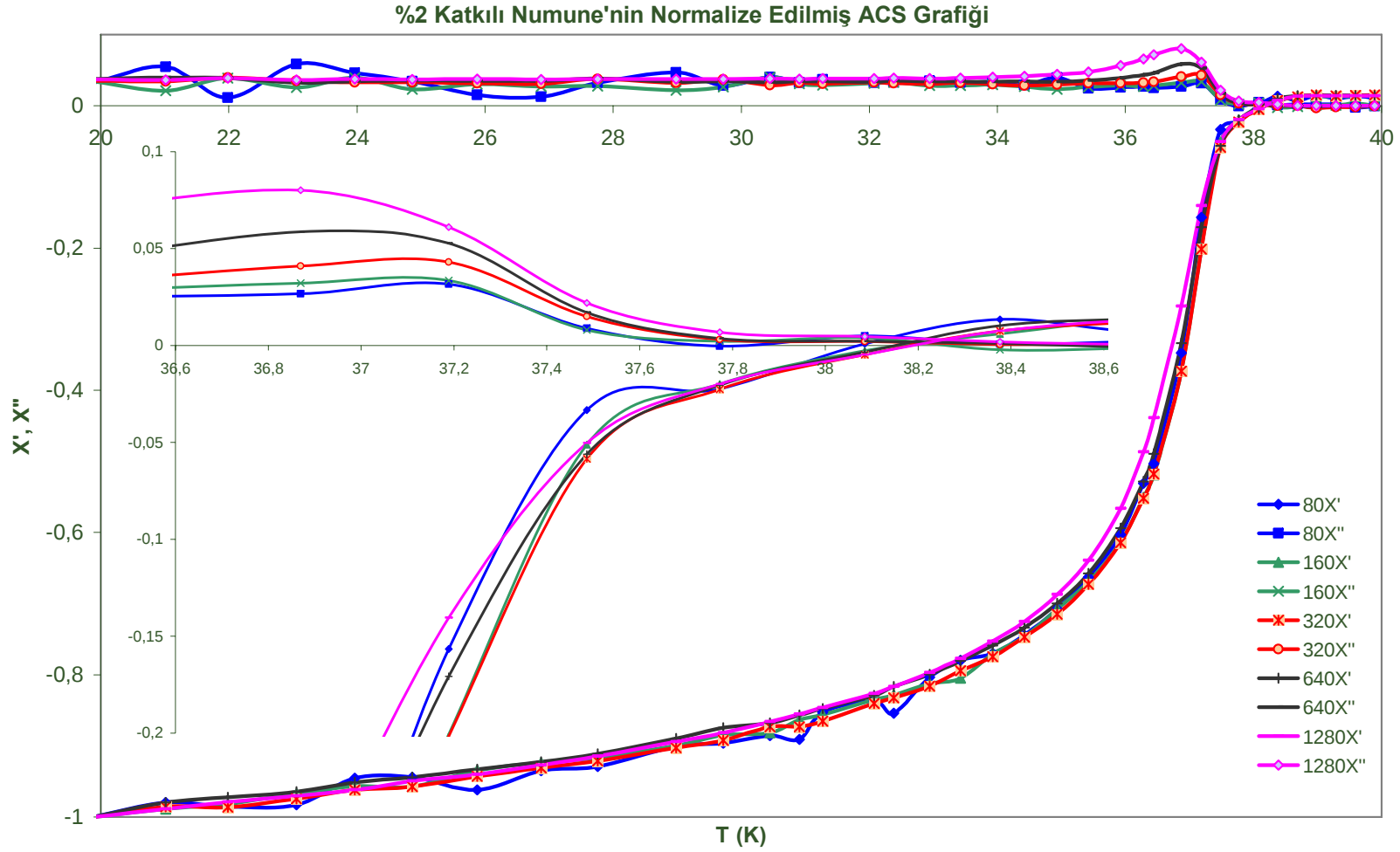
Şekil 4.3 MgB₂'ye %0,5 oranında Fe₃O₄ katılmış numunenin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



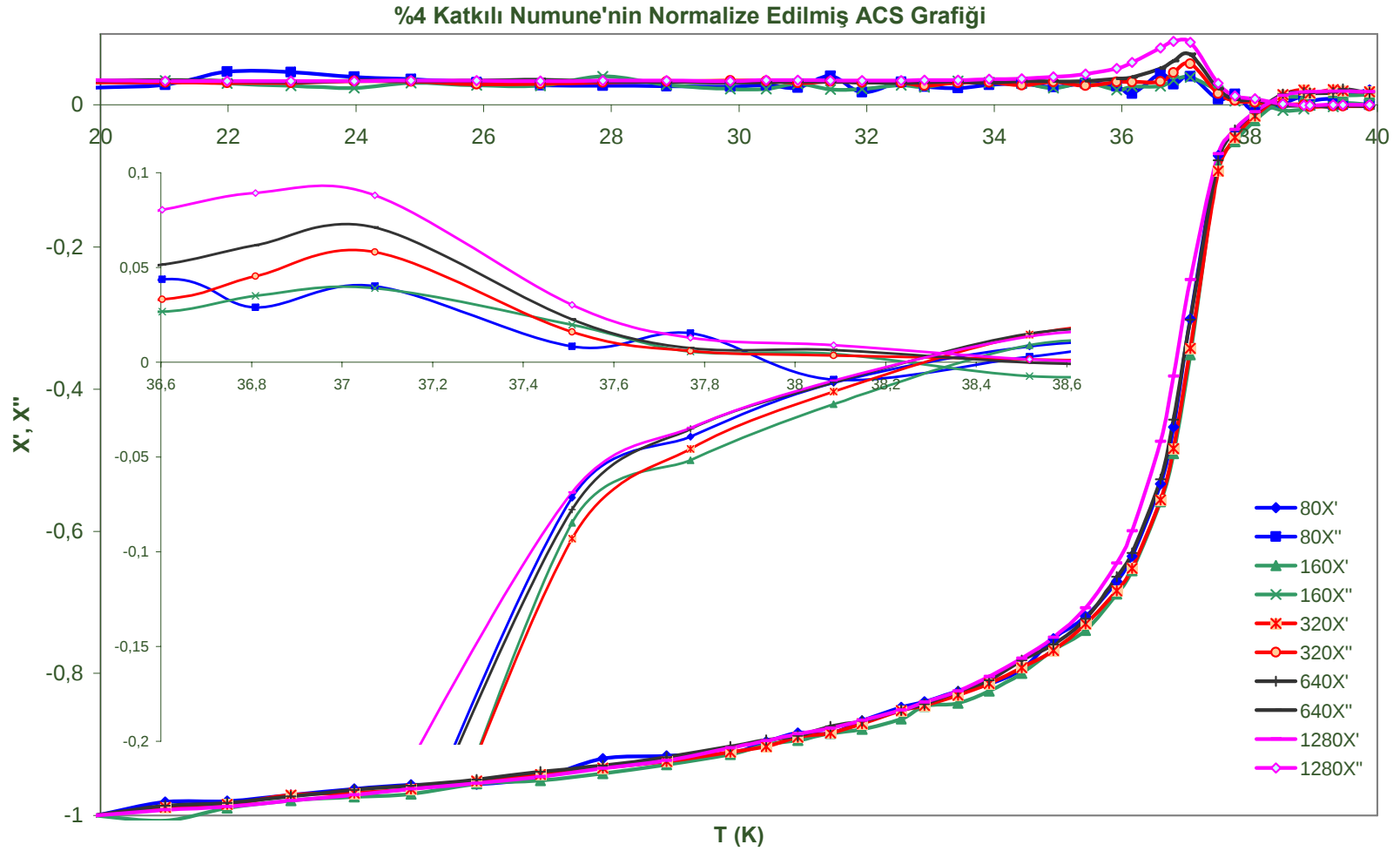
Şekil 4.4 MgB₂'ye %1 oranında Fe₃O₄ katılmış numunenin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



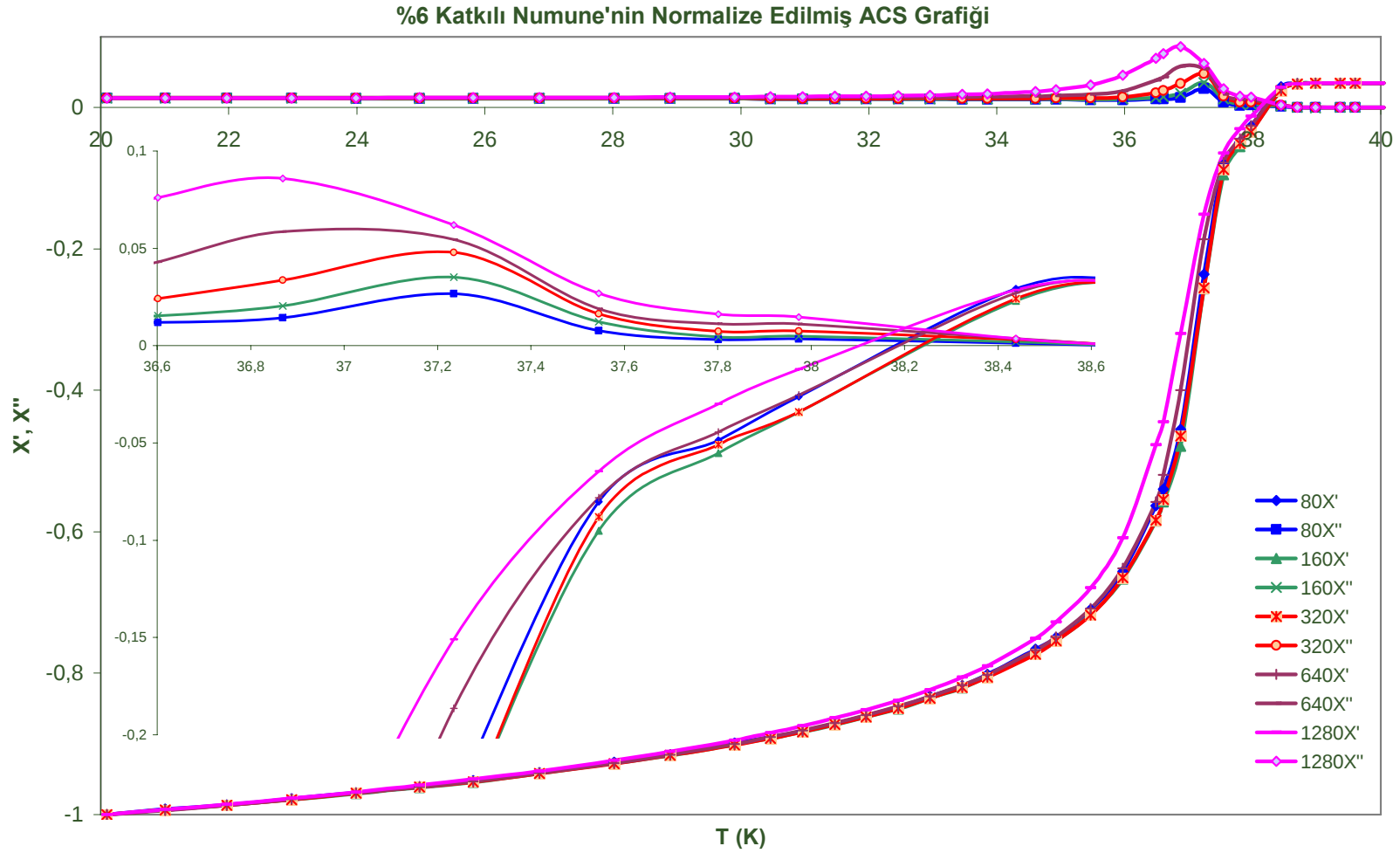
Şekil 4.5 MgB_2 'ye %1,5 oranında Fe_3O_4 katılmış numunenin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



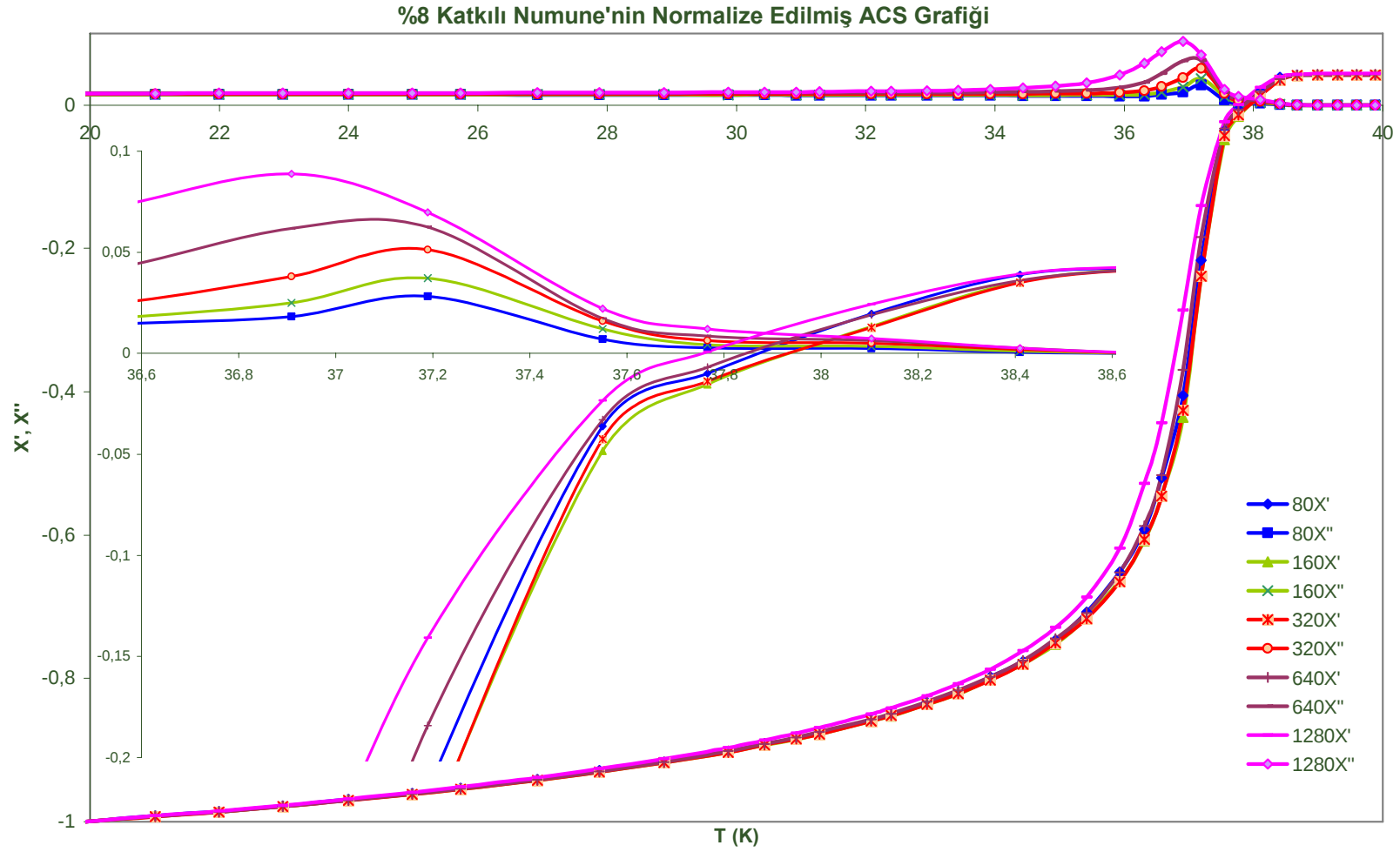
Şekil 4.6 MgB₂'ye %2 oranında Fe₃O₄ katılmış numunenin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



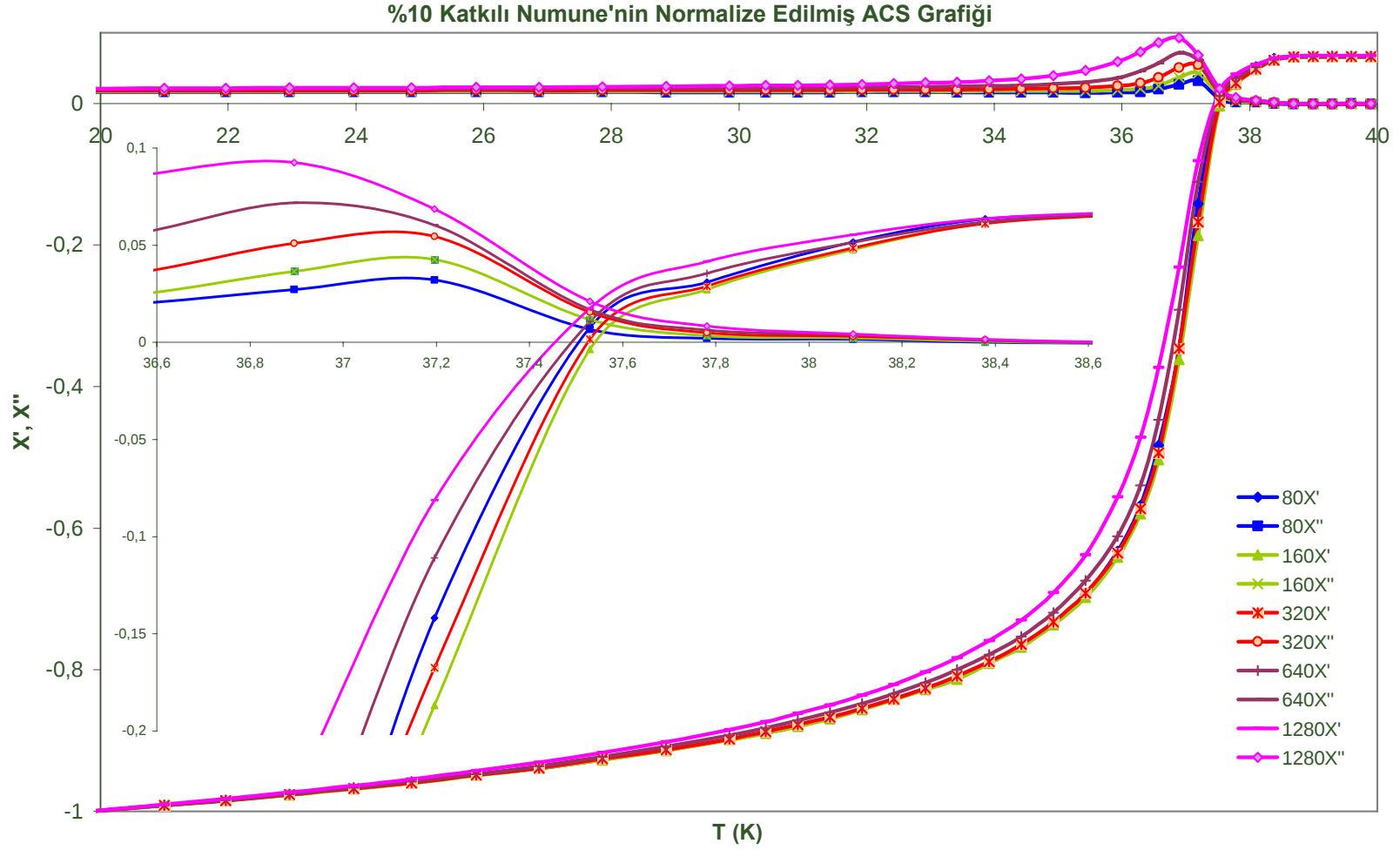
Şekil 4.7 MgB₂'ye %4 oranında Fe₃O₄ katılmış numunenin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



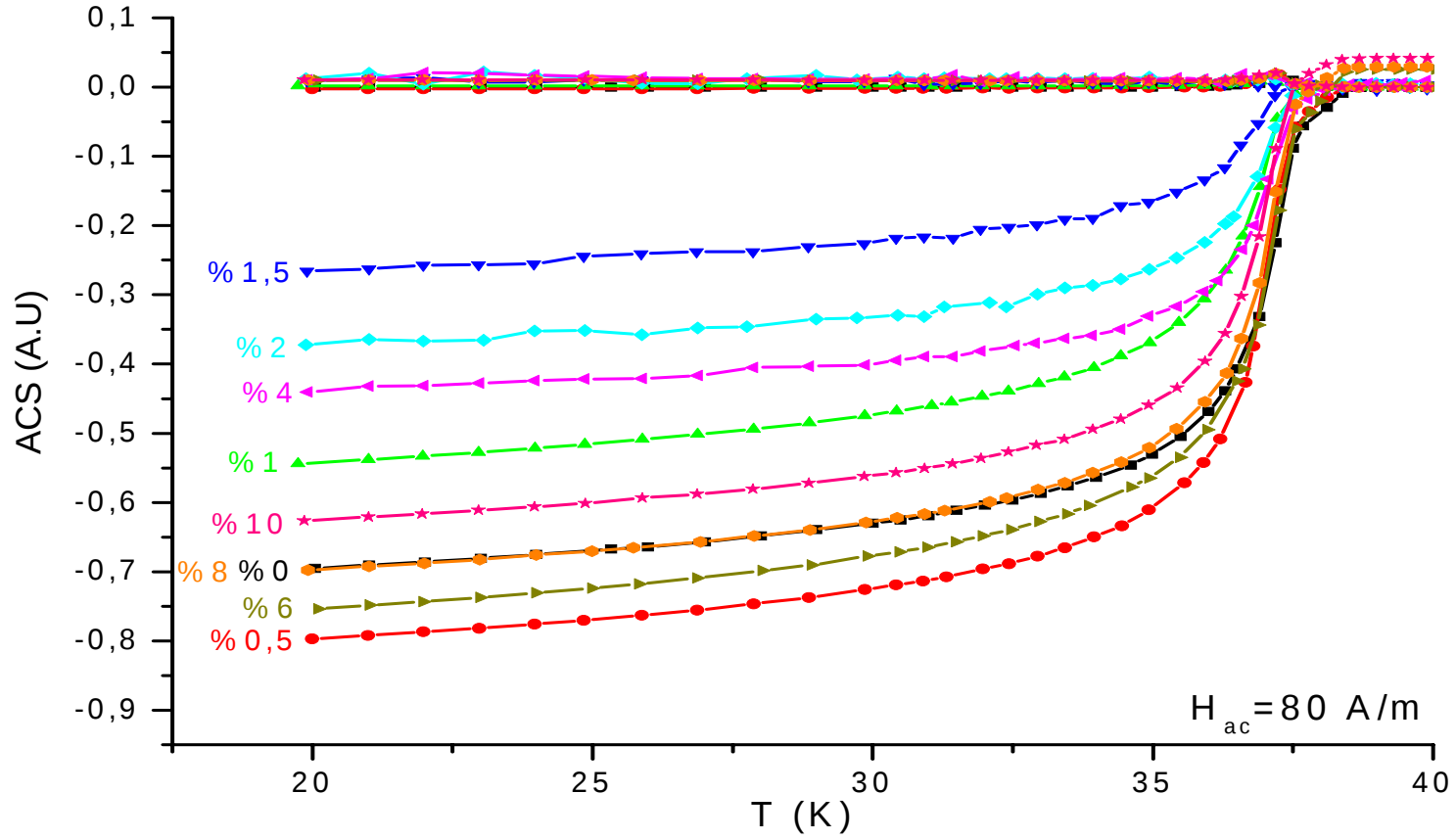
Şekil 4.8 MgB_2 'ye %6 oranında Fe_3O_4 katılmış numunenin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



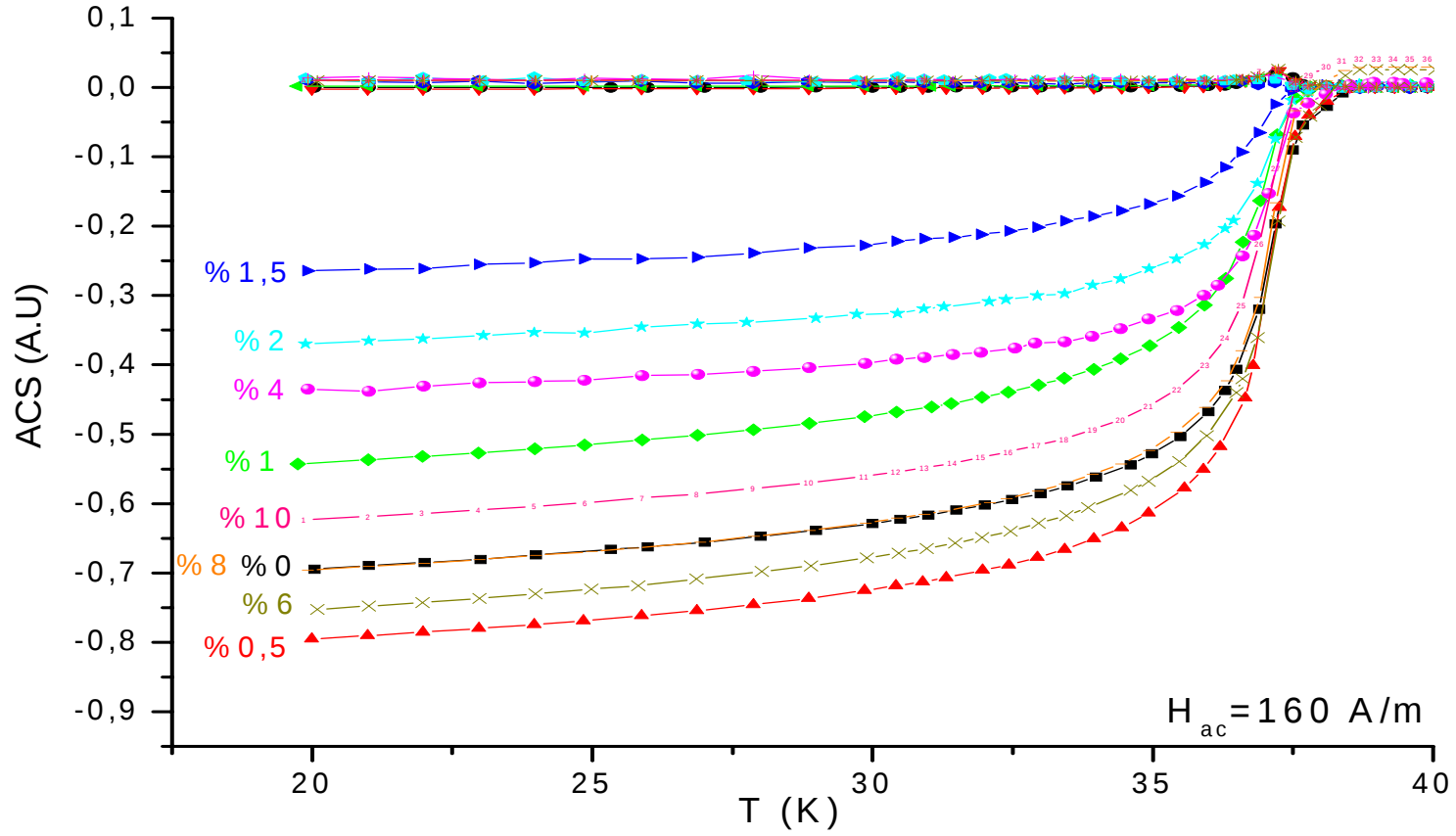
Şekil 4.9 MgB₂'ye %8 oranında Fe₃O₄ katılmış numunenin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



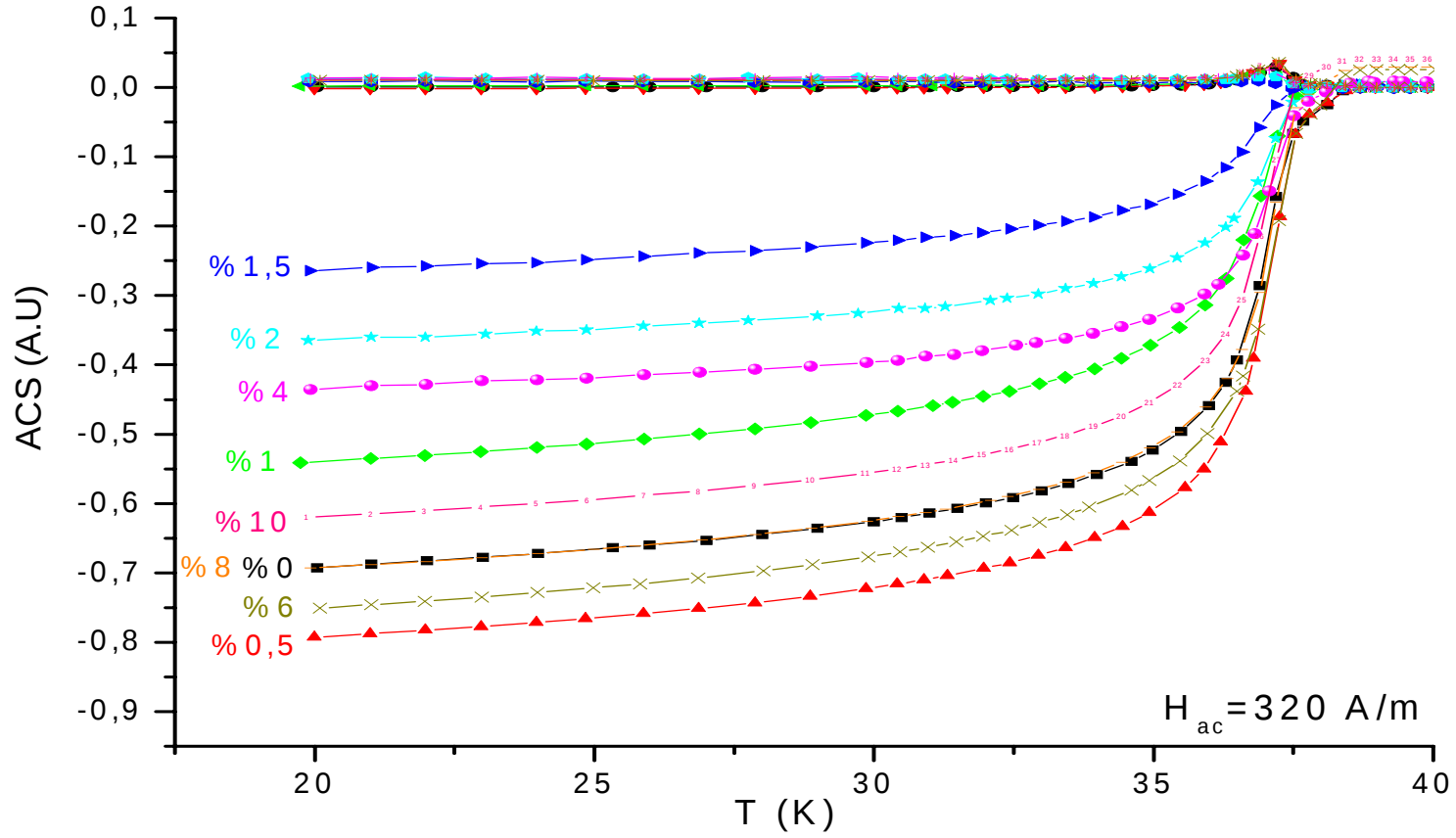
Şekil 4.10 MgB₂'ye %10 oranında Fe₃O₄ katılmış numunenin ac alınganlık ölçümünden elde edilen grafiği



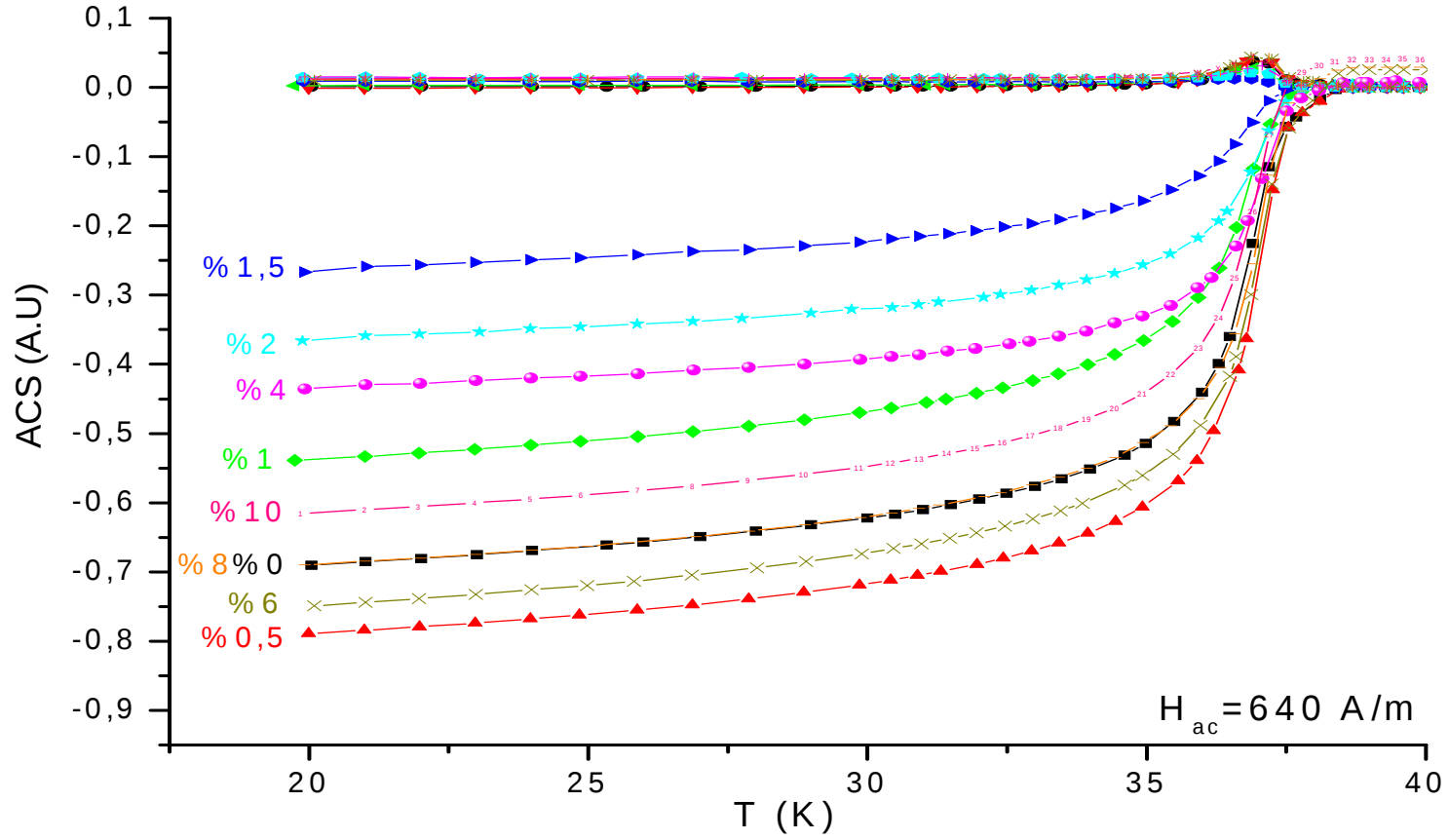
Şekil 4.11 Numuneye uygulanan $H_{ac}=80 \text{ A/m}$ manyetik alanı için tüm MgB_2 numunelerinin ac alınganlık grafiği



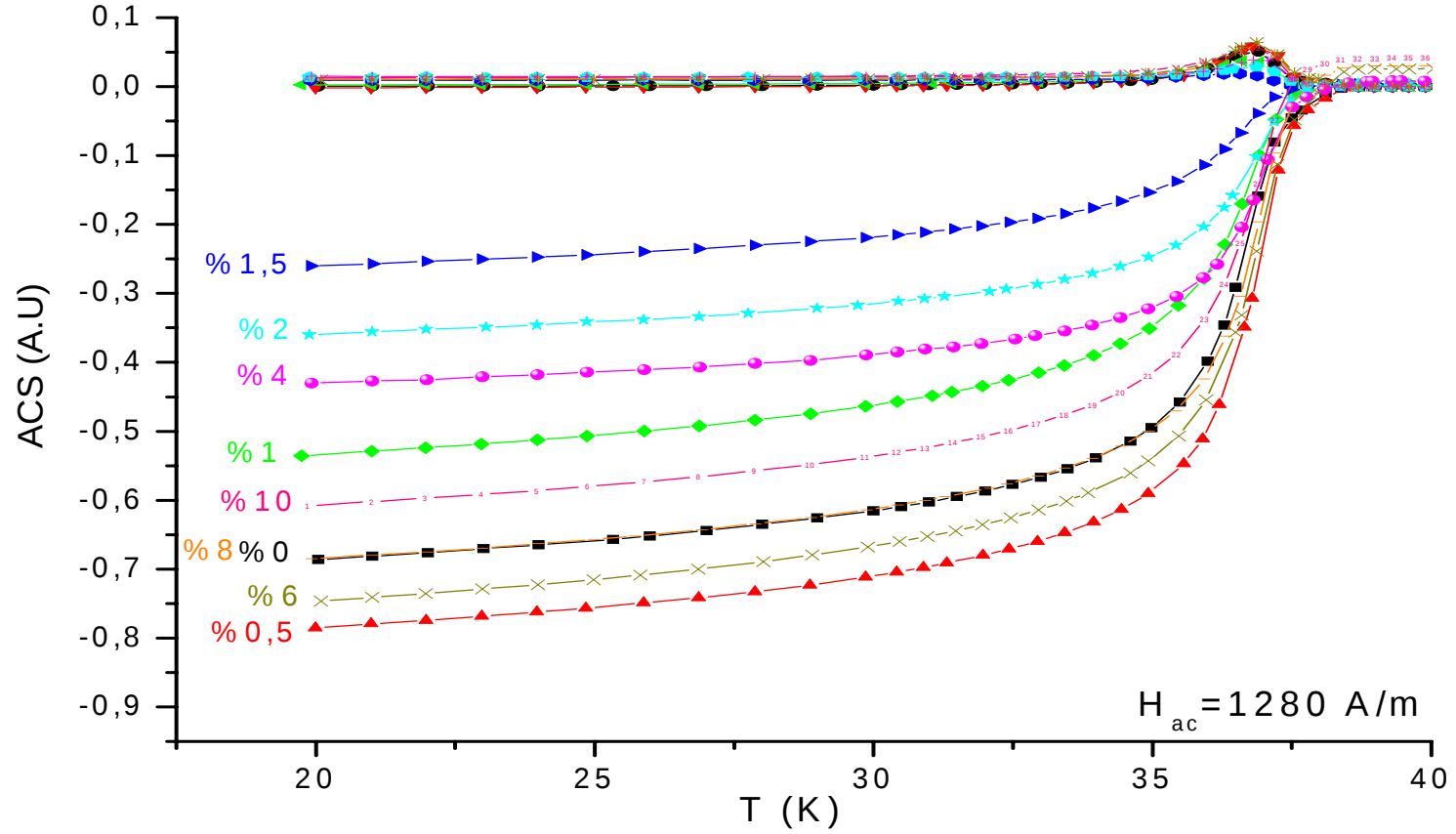
Şekil 4.12 Numuneye uygulanan $H_{ac}=160$ A/m manyetik alanı için tüm MgB₂ numunelerinin ac alınganlık grafiği



Şekil 4.13 Numuneye uygulanan $H_{ac}=320 \text{ A/m}$ manyetik alanı için tüm MgB_2 numunelerinin ac alınganlık grafiği



Şekil 4.14 Numuneye uygulanan $H_{ac}=640 \text{ A/m}$ manyetik alanı için tüm MgB_2 numunelerinin ac alınganlık grafiği



Şekil 4.15 Numuneye uygulanan $H_{ac}=1280 \text{ A/m}$ manyetik alanı için tüm MgB_2 numunelerinin ac alınganlık grafiği

5. SONUÇ

Süperiletkenlik Onnes'un keşfinden beri araştırılan ve her yeni gün geliştirilen bir konu. Bizde son zamanların gözdesi olan MgB_2 'nin süperiletkenlik özelliklerini geliştirebilmek için ferromanyetik bir malzeme olan Fe_3O_4 ekledik. Bu çalışmanın başındaki amacımız; Fe_3O_4 eklenmesiyle akı perçinlenmesini sağlamak ve MgB_2 'nin taşıyabileceği kritik akımın miktarını arttırmaktı.

Katkılamalar sonucu XRD de tepe değerlerinde katkılandırmaya bağlı hiçbir kayma gözlenmezken katkı arttıkça XRD de $2\theta=35,420$ ve $44,521$ değerlerinde sırası ile MgO ve Fe'ye ait tepeler belirmeye başlamıştır.

Katkılama sonucunda AC alınganlıklarına bakarak sunu söyleyebiliriz: katkı arttıkça normal durumdaki numuneler için ferromanyetiklik artmıştır. Grafiklere göre %0,5, %6 ve %8 oranındaki katkılamalar süperiletkenlik özelliklerini geliştirmiş olabilir. Ama bunu kesin olarak anlaşılması için farklı ölçümlerde yapılmalıdır. Diğerlerinde ise süperiletkenlik özelliklerinin zayıfladığı söylenebilir.

Fe_3O_4 , maalesef amaçlandığı gibi MgB_2 'nin tane içlerine homojen bir şekilde dağılmadı ve hatta hiç girmedeği söylenebilir, daha çok tane sınırlarında bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu özelliğinden dolayı süperiletkenlik özelliklerde sistematik bir iyileşme gözlenmedi. Bunu gidermek için standart MgB_2 ile başlamak yerine saf element Mg ve B ile nano parçacık ile numune hazırlamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abrikosov, A.A. 1957. On the Magnetic Properties of Superconductors of the Second Group. Soviet Physics JETP. 9,1174.
- Akimitsu, J. 2001. Symposium on Transition Metal Oxides, Sendai, Japan.
- Aksan, M.A., Yakıncı, M.E. and Güldeste, A. 2006. Co-addition into MgB_2 : The structural and electronic properties of $(\text{MgB}_2)_{2-x}\text{Co}_x$. Journal of Alloys and Compounds, Volume 424, Issues 1-2; 33-40.
- Anderson, N.E., Straszheim, W.E., Bud'ko, S.L., Canfield, P.C., Finnemore, D.K. and Suplinskas, R.J. 2003. Titanium additions to MgB_2 conductors. Physica C: Superconductivity, Volume 390, Issue 1; 11-15.
- Bardeen, J., Cooper, L.N. and Schrieffer, J.R. 1957. Theory of Superconductivity. Physical Review. 108,1175.
- Bednorz, J.G. and Müller, K.A. 1986. Possible High-Tc Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System. Z. Phys. B. 64, 189.
- Bud'ko, S.L., Kogan, V.G. and Canfield, P.C. 2001. Preprint, Determination of superconducting anisotropy from magnetization data on random powders as applied to $\text{LuNi}_2\text{B}_2\text{C}$, $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ and MgB_2 . cond-mat/0106577, to appear in Phys. Rev. B.
- Buzea, C. and Yamashita, T. 2001. Review of superconducting properties of MgB_2 . Superconductors, Science & Technology
- Cheng, C.H., Zhao, Y., Wang, L. and Zhang, H. 2002. Preparation, structure and superconductivity of $\text{Mg}_{1-x}\text{Ag}_x\text{B}_2$. Physica C: Superconductivity, Volumes 378-381, Part 1; 244-248.
- da Silva R, Torres, J.H.S. and Kopelevich, Y. 2001. Preprint, Superconductivity at 35 K in Graphite-Sulfur Composites, cond-mat/0105329.

- de Lima, O.F., Ribeiro, R.A., Avila, M.A., Cardoso, C.A. and Coelho, A.A. 2001a. Anisotropic superconducting properties of aligned MgB₂ crystallites. *Phys. Rev. Lett.* **86** 5974.
- de Lima, O.F., Cardoso, C.A., Ribeiro, R.A., Avila, M.A. and Coelho, A.A. 2001b. Preprint, Angular dependence of the bulk nucleation field H_{c2} of aligned MgB₂ crystallites. cond-mat/0105332, to appear in *Phys. Rev. B*.
- Elsabawy, K.M. and Kandyel, E.E. 2007. Lead substitutions for promoted critical current density J_c and mechanical properties of Mg_{1-x}Pb_xB₂ regime. *Materials Research Bulletin*, Volume 42, Issue 6; 1051-1060.
- Ferdeghini, C., Ferrando, V., Grassano, G., Ramadan, W., Bellingeri, E., Braccini, V., Marre, D., Manfrinetti, P., Palenzona, A., Borgatti, F., Felici, R. and Lee, T.L. 2001. Preprint, Growth of c-oriented MgB₂ thin films by Pulsed Laser Deposition: structural characterization and electronic anisotropy. cond-mat/0107031.
- Ginzburg, V.L. and Landau, D.L. 1950. *Zh. Exsp. Theor. Fiz.* 20, 10064.
- Gor'kov, L.P. 1959. *Sov. Phys. JETP* 9, 1364.
- Goto, D., Machi, T., Zhao, Y., Koshizuka, N., Murakami, M. and Arai, S. 2003. Improvement of critical current density in MgB₂ by Ti, Zr and Hf doping. *Physica C: Superconductivity*, Volumes 392-396; 272-275.
- Gozzelino, L., Minetti, B., Gerbaldo, R., Ghigo, G., Laviano, F., Lopardo, G., Giunchi, G., Perini, E., Cavallin, T. and Mezzetti, E. 2007. Pinning properties in pure and SiC doped MgB₂ bulk obtained by reactive Mg liquid infiltration technique. *Physica C: Superconductivity*, Available online.
- Gu, D.W., Cai, Y.M., Yau, J.K.F., Cui, Y.G., Wu, T., Yuan, G.Q., Shen, L.J. and Jin, X. 2003. Effect of Pb substitution in bulk superconducting MgB₂. *Physica C: Superconductivity*, Volume 386; 643-647.

- Guo, J.D., Xu, X.L., Wang, Y.Z., Shi, L. and Liu, D.Y. 2004. Preparation of Ag-doped $\text{Mg}_{1-x}\text{Ag}_x\text{B}_2$ superconductors. *Materials Letters*, Volume 58, Issue 29; 3707-3709.
- Handstein, A., Hinz, D., Fuchs, G., Muller, K.H., Nenkov, K., Gutfleisch, O., Narozhnyi, V.N. and Schultz, L. 2001. Preprint, Fully dense MgB_2 superconductor textured by hot deformation, cond-mat/0103408.
- He, T., Huang, Q., Ramirez, A.P., Wang, Y., Regan, K.A., Rogado, N., Hayward, M. A., Haas, M.K., Slusky, J.S., Inumaru, K., Zandbergen, H.W., Ong, N.P. and Cava, R.J. 2001. Preprint, Superconductivity in the non-oxide perovskite MgCNi_3 , cond-mat/0103296.
- Hinks, D.G., Claus, H. and Jorgensen, J.D. 2001. The complex nature of superconductivity in MgB_2 as revealed by the reduced total isotope effect, *Nature* **411** 457.
- Hol'ánová, Z., Kamarík, J., Szabó, P., Samuely, P., Sheikin, I., Ribeiro, R.A., Bud'ko, S.L. and Canfield, P.C. 2004. Critical fluctuations in the carbon-doped magnesium diboride. *Physica C: Superconductivity*, Volume 404, Issues 1-4; 195-199.
- Huang, X., Mickelson, W., Regan, B.C. and Zettl, A. 2005. Enhancement of the upper critical field of MgB_2 by carbon-doping. *Solid State Communications*, Volume 136, Issue 5; 278-282.
- Jung, M.H., Jaime, M., Lacerda, A.H., Boebinger, G.S., Kang, W.N., Kim, H.J., Choi, E.M. and Lee, S.I. 2001. Anisotropic Superconductivity in Epitaxial MgB_2 Films. *Chem. Phys. Lett.* **343** 447.
- Kaczorowski D, Klamut, J. and Zaleski, A.J. 2001. Preprint, Some comments on superconductivity in diborides, condmat/0104479.
- Katsura, Y., Yamamoto, A., Ueda, S., Iwayama, I., Horii, S., Shimoyama, J. and Kishio, K. 2007. Flux pinning properties of undoped and C-doped MgB_2 bulks with controlled grain sizes. *Physica C: Superconductivity*, Available online .

- Kazakov, S.M., Angst, M., Karpinski, J., Fita I.M. and Puzniak, R. 2001. Substitution effect of Zn and Cu in MgB_2 on T_c and structure. Solid State Communications, Volume 119, Issue 1; 1-5.
- Kimishima, Y., Takami, S., Uehara, M. and Kuramoto T. 2006. Pinning property of Cu/ MgB_2 system. Physica C: Superconductivity, Volumes 445-448; 224-227.
- Kühberger, M. and Gritzner, G. 2002. Effects of Sn, Co and Fe on MgB_2 . Physica C: Superconductivity, Volume 370, Issue 1; 39-43.
- Lee, S., Mori, H., Masui, T., Eltsev, Y., Yamamoto, A. and Tajima, S. 2001. Preprint, Growth, structure analysis and anisotropic superconducting properties of MgB_2 single crystals. cond-mat/0105545.
- Li, H.L., Ruan, K.Q., Li, S.Y., Yu, Y., Wang, C.Y. and Cao, L.Z. 2003. Upper critical field and the effect of Li doping on the activation energy in MgB_2 . Physica C: Superconductivity, Volume 386; 560-564.
- Li, W.X., Li, Y., Zhu, M.Y., Chen, R.H., Dou, S.X., Qin, M.J., Xu, X. and Yao, P. 2007. Effect of magnetic field processing on the microstructure of micronsize Zn doped MgB_2 . Physica C: Superconductivity, Available online.
- London, H. and London, F. 1935. The electromagnetic equations of the Superconductors. Proceeding of Royal Society. A149, 71.
- Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutomi, M. and Asano, T. 1988. Physical properties of an 80K Superconductors: Bi-Sr-Ca-Cu-O Ceramics. Jpn. J. Appl. Phys. Lett. 27, L 209.
- M'chirgui, A., Azzouz, F.B., Annabi, M., Zouaoui, M. and Salem, M.B. 2005. Structure and superconductivity of $\text{Mg}_{1-x}\text{Pb}_x\text{B}_2$. Solid State Communications, Volume 133, Issue 5; 321-325.
- Meissner, W. and Ochsenfeld, R. 1933. Superconductivity Naturwiss. 11, 219.

- Onnes, H.K. 1911. Disappearance of The Electrical Resistance of Mercury of Helium Temperature. Akad. Van Wetenschappen (Amsterdam). 14,113.
- Paranthaman, M., Thompson, J.R. and Christen, D.K. 2001. Effect of carbon-doping in bulk superconducting MgB_2 samples. *Physica C: Superconductivity*, Volume 355, Issues 1-2; 1-5.
- Patnaik, S., Cooley, L.D., Gurevich, A., Polyanskii, A.A., Jiang, J., Cai, X.Y., Squitieri, A.A., Naus, M.T., Lee, M.K., Choi, J.H., Belenky, L., Bu, S.D., Letteri, J., Song, X., Schlom, D.G., Babcock, S.E., Eom, C.B., Hellstrom, E.E. and Larbalestier, D.C. 2001. Electronic anisotropy, magnetic fieldtemperature phase diagram and their dependence on resistivity in c-axis oriented MgB_2 thin films. *Supercond. Sci. Technol.* **14** 315.
- Prikhna, T.A., Gawalek, W., Surzhenko, A.B., Moshchil, V.E., Sergienko, N.V., Savchuk, M., Melnikov, V.S., Nagorny, P.A., Habisreuther, T. and Dub, S.N. 2002.High-pressure synthesis of MgB_2 with and without tantalum additions. *Physica C: Superconductivity*, Volumes 372-376, Part 3; 1543-1545.
- Ribeiro, R.A., Bud'ko, S.L., Petrovic, C. and Canfield, P.C. 2003. Carbon doping of superconducting magnesium diboride. *Physica C: Superconductivity*, Volume 384, Issue 3; 227-236.
- Rui, X.F., Chen, J., Chen, X., Guo, W. and Zhang, H. 2004. Doping effect of nano-alumina on MgB_2 . *Physica C: Superconductivity*, Volumes 412-414, Part 1; 312-315.
- Sekkina, M.M.A. and Elsabawy, K.M. 2003. Narrow range of iridium-substitution on $\text{Mg}_{1-x}\text{Ir}_x\text{B}_2$ superconductor. *Physica C: Superconductivity*, Volume 391, Issue 3; 217-222.
- Shcherbakova, O.V., Pan, A.V., Soltanian, S. and Dou, S.X. 2007. Cooling rate effect on microstructure and superconducting properties of pure and SiC doped MgB_2 superconductors. *Physica C: Superconductivity*, Available online.

- Shinohara, K., Ikeda H. and Yoshizaki R. 2007. Al addition effect of bulk MgB_2 superconductor. *Physica C: Superconductivity*, Available online.
- Simon, F., Janossy, A., Feher, T., Muranyi, F., Garaj, S., Forro, L., Petrovic, C., Bud'ko, S.L., Lapertot, G., Kogan, V.G. and Canfield, P.C. 2001. Anisotropy of superconducting MgB_2 as seen in electron spin resonance and magnetization data. *Phys. Rev. Lett.* **87** 047002.
- Soltanian, S., Horvat, J., Wang, X.L., Munroe, P. and Dou, S.X. 2003. Effect of nano-carbon particle doping on the flux pinning properties of MgB_2 superconductor. *Physica C: Superconductivity*, Volume 390, Issue 3; 185-190.
- Suemitsu, N., Masui, T., Lee, S. and Tajima, S. 2006. Mn substitution effect on superconducting properties of MgB_2 single crystals. *Physica C: Superconductivity*, Volumes 445-448; 39-41.
- Tampieri, A., Celotti, G., Sprio, S., Rinaldi, D., Barucca, G. and Cacuuffo, R. 2002. Effects of copper doping in MgB_2 superconductor. *Solid State Communications*, Volume 121, Issues 9-10; 497-500.
- Tinkham, M. 1996. *Introduction to Superconductivity*, Second edition, McGraw-Hill, Singapore.
- Wang, X.L., Soltanian, S., James, M., Qin, M.J., Horvat, J., Yao, Q.W., Liu H.K. and Dou, S.X. 2004. Significant enhancement of critical current density and flux pinning in MgB_2 with nano-SiC, Si, and C doping. *Physica C: Superconductivity*, Volumes 408-410; 63-67.
- Wang, X.L., Zhou, S.H., Qin, M.J., Munroe, P.R., Soltanian, S., Liu, H.K. and Dou, S.X. 2003. Significant enhancement of flux pinning in MgB_2 superconductor through nano-Si addition. *Physica C: Superconductivity*, Volume 385, Issue 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.V. and Hannahs S.T. 2005. *Superconductivity*

- in MgB_2 doped with Ti and C. *Physica C: Superconductivity*, Volume 418, Issues 3-4; 160-167.
- Wu, M.K., Ashburn, J.R., Torng, C.J., Hor P., Meng, R.L., Gao, L., Huang, Z.J., Wang, Y.Q. and Cu, C.W. 1987. Superconducting at 93 K in New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure. *Phys. Rev. Lett.* 48, 908.
- Xiang, J.Y., Zheng, D.N., Li, J.Q., Li, S.L., Wen, H.H. and Zhao, Z.X. 2003. Effects of Al doping on the superconducting and structural properties of MgB_2 *Physica C: Superconductivity*, Volume 386; 611-615.
- Xu, M., Kitazawa, H., Takano, Y., Ye, J., Nishida, K., Abe, H., Matsushita, A. and Kido, G. 2001 *Preprint, Single crystal MgB_2 with anisotropic superconducting properties*, condmat/ 0105271.
- Xu, H.L., Feng, Y., Zhao, Y., Yan, G., Pu, M.H., Lu, H.X., Zhang R. and Xu, Z. 2006. Investigation on MgB_2 superconductor doped by nano-Al powder. *Physica C: Superconductivity*, Volume 449, Issue 1; 53-56.
- Yeoh, W.K. and Dou, S.X. 2007. Enhancement of H_{c2} and J_c by carbon-based chemical doping. *Physica C: Superconductivity*, Volume 456, Issues 1-2; 170-179.
- Yeoh, W.K., Kim, J.H., Horvat, J., Xu, X. and Dou, S.X. 2007. Enhancement of critical current density and irreversibility field by nano-carbon substitution in MgB_2 . *Physica C: Superconductivity*, Available online.
- Young, D.P., Adams, P.W., Chan, J.Y. and Fronczek, F.R. 2001. Preprint, Structure and Superconducting Properties of BeB_2 , cond-mat/0104063.
- Zhang, H., Zhao, J. and Shi, L. 2005. The charge transfer induced by Cr doping in MgB_2 . *Physica C: Superconductivity*, Volume 424, Issues 1-2; 79-84.
- Zhao, Y., Zhang, X.P., Qiao, P.T., Zhang, H.T., Jia, S.L., Cao, B.S., Zhu, M.H., Han, Z.H., Wang, X.L. and Gu, B.L. 2001. Effect of Li doping on structure and superconducting transition temperature of $\text{Mg}_{1-x}\text{Li}_x\text{B}_2$. *Physica C: Superconductivity*, Volume 361, Issue 2; 91-94.

- Zhao, Y., Cheng, C.H., Feng, Y., Machi, T., Huang, D.X., Zhou, L., Koshizuka, N. and Murakami, M. 2003. Ti doping on the flux pinning and chemical stability against water of MgB₂ bulk material. *Physica C: Superconductivity*, Volume 386; 581-587.
- Zhao, Y., Feng, Y., Huang, D.X., Machi, T., Cheng, C.H., Nakao, K., Chikumoto, N., Fudamoto, Y., Koshizuka, N. and Murakami, M. 2002. Doping effect of Zr and Ti on the critical current density of MgB₂ bulk superconductors prepared under ambient pressure. *Physica C: Superconductivity*, Volumes 378-381, Part 1; 122-126.
- 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. and Zhao, Z.X. 2004. Structural and critical current properties in Al-doped MgB₂. *Physica C: Superconductivity*, Volumes 408-410; 136-137.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem ÇİÇEK
Doğum Yeri : BALIKESİR
Doğum Tarihi : 25/05/1980
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce(İleri düzeyde), Japonca (Başlangıç seviyesi)

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Şehit Mehmet Gönenç Lisesi Bandırma/BALIKESİR (1996)

Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi Eğitim Fak. Fizik Öğr.
Bölümü(2003)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı
(Eylül 2004- Ağustos 2007)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Renko LTD. ŞTİ., 2006-...

Yayınları (SCI ve diğer)

2006 “The Magnetic Characterization of Manyetic Nano particle addition in MgB₂ Superconductors” *MEM06- An International Workshop on the Mechanical and Electromagnetic properties of Superconductors*, 02-05 Temmuz, Durham, İngiltere.

2006 “Ferromanyetik Nano Fe₃O₄’ün MgB₂’de Süperiletken Özelliklere Etkisi” *III. Uluslar arası Bor Sempozyumu*, 02-04 Kasım, Ankara, Türkiye.