İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERBİYUMA DAYALI BAZI İNTERMETALİK BİLEŞİKLERİN SENTEZLENMESİ, ELEKTRİK VE MAGNETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Görkem GÜVEN

Anabilim Dalı: FİZİK MÜHENDİSLİĞİ
Programı: FİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Ocak 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERBİYUMA DAYALI BAZI İNTERMETALİK BİLEŞİKLERİN SENTEZLENMESİ, ELEKTRİK VE MAGNETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Görkem GÜVEN

509041121

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Ocak 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yıldırhan ÖNER (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Orhan KAMER (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Bekir AKTAŞ (G.Y.T.E)

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı yaparken her konuda yardımını ve destediğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Yıldırhan ÖNER' e ve Doç. Dr. Orhan KAMER' e teşekkür ederim.

Aynı zamanda örneklerin GYTE de hem x-ışınları analizini hem de mıknatıslanma ölçümlerini yapan Ar. Gör. Ali Cemil BAŞARAN' a ve X-ışınları sonuçlarını bilgisayar programında değerlendiren Ceren KALAFATOĞLU' na da teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2007 Görkem GÜVEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
TABLO LİSTESİ v
ŞEKİL LİSTESİ vi
SEMBOL LİSTESİ ix
ÖZET x
SUMMARY xii

1. GİRİŞ 1

2. MALZEMELERİN SENTEZLENMESİ 3

2.1. Ark Eritmeli Fırın 3
2.2. Kullandığımız Ark Eritmeli Fırının Kısımları 4
2.1.1. Kaide 4
2.1.2. Cam Fanus 4
2.1.3. Elektrot Tutucu ve Tutma Sapı 4
2.1.4. Elektrot 5
2.1.5. Manometre 5
2.1.6. Akım Kaynağı 6
2.1.7. Vakum Pompası 6
2.3. İşlem (Proses) 6

3. ÖRNEKLERİN KRİSTAL YAPILARININ TAYİNİ 8

3.1. X Işınları 8
3.2. X-ışınlarının Kristal İçinde Kırınımı ve Bragg Yasası 9
3.3. Kristal Yapı Tayini 11
3.3.1. Kristal Yapı Analizi İçin Kullanılan Programlar 11
3.3.1.a. Philips X'pert Highscore 11
3.3.1.b. FullProf Suite 12
3.3.2. Hazırlanan Örneklerin Kristal Yapısı 13

4. ELEKTRİKSEL ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMLERİ 15

4.1. Nadir Toprak Elementlerinin Genel Özellikleri 15
4.1.1. Katılardaki Elektriksel İletkenlik Özellikleri 15
4.1.2. Nadir Toprak Elementi Tabanalı İntermetalik Bileşiklerin Elektriksel Direnci 16
4.1.3. Nadir Toprak Elementleri Tabanlı Nonmagnetik Bileşiklerin Özdirenci ve Matthiessen Kuralı 18

4.1.4. Magnetizmanın Özdirence Etkisi 20
4.1.5. Nadir Toprak Elementlerinin Co_2 İle Yaptıkları Bileşikler 20
4.2. Hazırlanan Örneklerin Özdirenç Ölçümleri 22
4.3. Deneysel Verilerden Yararlanarak Magnetik Katkının Hesaplanması 23
4.3.1. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi 23
4.3.1.a. Bloch-Grüneisen Eşitliğinin Uyarlanması 25
4.3.1.b. Özdirence Etkiyen Magnetik Katkının Kökeni 26

5. MAGNETİZASYON ÖLÇÜMLERİ 30

5.1. $ErCo_2$ Bileşiğinin Magnetik Özellikleri 30
5.2. Örneklerin Ölçüm Sonuçları 30
5.2.1. Alanlı ve Alansız Soğutma Ölçümleri (FC-ZFC) 31
5.2.2. Kritik Sıcaklık Altında Örneklerin Histerisis Ölçümleri 31
5.2.2.a. T=5 K daki ölçümler 31
5.2.2.b. T=10 K daki ölçümler 32
5.2.2.c. T=20 K daki ölçümler 33
5.2.3. Metamagnetizma 33
5.2.3.a. Metamagnetik Ölçümler 35
5.2.3. Kritik Sıcaklıkların Karşılaştırılması 35

6. TARTIŞMA VE SONUÇ 37

KAYNAKLAR 39

EKLER 41

ÖZGEÇMİŞ 73

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1	Bütün örneklerin kristalografik özellikleri..…….....	14
Tablo 4.1	Bütün örneklerin T_c sıcaklığı, mutlak sıfırda ve 0 ^oC'de ki özdirençleri	23
Tablo 4.2	Bütün örneklerin uyarlanmış Debye sıcakları.....	25
Tablo 4.3	Bütün örneklere ait uyarlanmış α, A, B, C sabitleri.....	28
Tablo 5.1	Örneklerin M-T grafiklerinden bulunan kritik sıcaklık ve doyum mıknatıslanma değerleri.....	31
Tablo 5.2	T=5 K daki bütün örneklerin H_c, M_s ve M_r değerleri.....	32
Tablo 5.3	T=10 K daki bütün örneklerin H_c, M_s ve M_r değerleri.....	32
Tablo 5.4	T=20 Kde bütün örneklerin H_c, M_s ve M_r değerleri.....	33
Tablo 5.5	Deney sonuçlarından elde edilen kritik sıcaklık değerleri.....	35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Vakumlu ark fırınının basit bir tasarım şeması..... 3
Şekil 2.2a : Pota, manometre ve elektrot..... 5
Şekil 2.2b : Cam fanus..... 5
Şekil 2.2c : Arka hazır fırın ve akım kaynağı..... 5
Şekil 2.2d : Ark sırasında fırının içi..... 5
Şekil 3.1 : Bir X ışını tüpünün şeması ve Siemens marka bir X-ışını tüpü..... 8
Şekil 3.2 : Birbirine paralel kristal düzlemleri..... 9
Şekil 3.3 : Eletromagnetik dalganın kristal düzlemlerinden yansıması..... 10
Şekil 3.4 : $ErCo_2$ bileşiğine ait X'pert HighScore penceresi ve masaüstü..... 12
Şekil 3.5 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ örneğinin FullProf Suite'teki kristal yapı düzeltmesi..... 13
Şekil 3.6 : Lattis parametresinin Titanyum katkısıyla değişimi..... 14
Şekil 4.1 : Metal, yarımetal ve yarı iletken malzemelerin elektronik bant yapıları..... 16
Şekil 4.2 : RCo_2 (R=nadir toprak elementi) bileşiklerinin özdirenç-sıcaklık eğrileri..... 21
Şekil 4.3 : $ErCo_2$'nin farklı basınç değerleri için ρ-T grafiği..... 22
Şekil 4.4 : Hazırlanan 6 örneğin 4.2-45 K arasındaki ρ-T grafiği..... 24
Şekil 4.5 : %3 Titanyum katkılı örnek için Bloch-Grüneisen ifadesinin deneysel veriye uyarlanması ve özdirence magnetik katkının bulunması..... 26
Şekil 4.6 : Bütün örneklerin üst üste çizilmiş ρ_{mag}/T-T grafiği..... 28
Şekil 4.7 : Bütün örneklerin üst üste çizilmiş ρ_{mag}/T-T^2 grafiği..... 29
Şekil 5.1 : $ErCo_2$, $HoCo_2$, $DyCo_2$ ve $TbCo_2$'nin kritik sıcaklığın hemen üstündeki bazı sıcaklık değerleri için deneysel M-H grafikleri..... 34
Şekil 5.2 : Deney sonuçlarından elde edilen kritik sıcaklıkların grafikleri..... 36
Şekil EkA.1 : $ErCo_2$ bileşiğinin X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri..... 41
Şekil EkA.2 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri..... 42
Şekil EkA.3 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri..... 42
Şekil EkA.4 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri..... 43
Şekil EkA.5 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri..... 43
Şekil EkA.6 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri..... 44
Şekil EkB.1 : $ErCo_2$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği..... 45
Şekil EkB.2 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği..... 46

Şekil EkB.3 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ örneğinin 4.2-250 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği..... 46
Şekil EkB.4 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği..... 47
Şekil EkB.5 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği..... 47
Şekil EkB.6 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği..... 48
Şekil EkC.1 : $ErCo_2$'nin Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi..... 49
Şekil EkC.2 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi..... 50
Şekil EkC.3 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ in Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi..... 50
Şekil EkC.4 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ in Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi..... 51
Şekil EkC.5 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ in Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi..... 51
Şekil EkC.6 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi..... 52
Şekil EkD.1 : $ErCo_2$ nin T=5 K daki histerisis eğrisi..... 53
Şekil EkD.2 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=5 K daki histerisis eğrisi..... 54
Şekil EkD.3 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ in T=5 K daki histerisis eğrisi..... 54
Şekil EkD.4 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ in T=5 K daki histerisis eğrisi..... 55
Şekil EkD.5 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ in T=5 K daki histerisis eğrisi..... 55
Şekil EkD.6 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=5 K daki histerisis eğrisi..... 56
Şekil EkE.1 : $ErCo_2$ nin T=10 K daki histerisis eğrisi..... 57
Şekil EkE.2 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=10 K daki histerisis eğrisi..... 58
Şekil EkE.3 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ in T=10 K daki histerisis eğrisi..... 58
Şekil EkE.4 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ in T=10 K daki histerisis eğrisi..... 59
Şekil EkE.5 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ in T=10 K daki histerisis eğrisi..... 59
Şekil EkE.6 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=10 K daki histerisis eğrisi..... 60
Şekil EkF.1 : $ErCo_2$ nin T=20 K daki histerisis eğrisi..... 61
Şekil EkF.2 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=20 K daki histerisis eğrisi..... 62
Şekil EkF.3 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ in T=20 K daki histerisis eğrisi..... 62
Şekil EkF.4 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ in T=20 K daki histerisis eğrisi..... 63
Şekil EkF.5 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ in T=20 K daki histerisis eğrisi..... 63
Şekil EkF.6 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=20 K daki histerisis eğrisi..... 64
Şekil EkG.1 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=30 K daki M-H grafiği..... 65
Şekil EkG.2 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=40 K daki M-H grafiği..... 66
Şekil EkG.3 : $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=300 K daki M-H grafiği..... 66
Şekil EkG.4 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=30 K daki M-H grafiği..... 67
Şekil EkG.5 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=40 K daki M-H grafiği..... 67
Şekil EkG.6 : $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=300 K daki M-H grafiği..... 68
Şekil EkG.7 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=30 K daki M-H grafiği..... 68
Şekil EkG.8 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=40 K daki M-H grafiği..... 69
Şekil EkG.9 : $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=300 K daki M-H grafiği..... 69
Şekil EkG.10 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=30 K daki M-H grafiği..... 70
Şekil EkG.11 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=40 K daki M-H grafiği..... 70
Şekil EkG.12 : $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=300 K daki M-H grafiği..... 71

Şekil EkG.13 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ ün T=30 K daki M-H grafiği..... 71
Şekil EkG.14 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ ün T=40 K daki M-H grafiği..... 72
Şekil EkG.15 : $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ ün T=300 K daki M-H grafiği..... 72

SEMBOL LİSTESİ

ρ	**:** Özdirenç
ρ_{lattis}	**:** Lattis direnci
ρ_o	**:** Artık direnç
θ_D	**:** Debye sıcaklığı
T	**:** Mutlak sıcaklık
K	**:** Kelvin
T_c	**:** Curie sıcaklığı (Kritik sıcaklık)
D (ε)	**:** Enerji seviyelerinin durum yoğunluğu
C	**:** Elektron-Fonon etkileşme parametresi
E_F	**:** Fermi enerji seviyesi
R	**:** Nadir toprak metalleri
DC	**:** Doğru akım
A	**:** Angström
ρ_{mag}	**:** özdirence etkiyen magnetik katı
ρ_{B-G}	**:** Bloch-Grüneisen bağıntısından özdirence gelen katkı
ρ_{sf}	**:** Spin dalgalanmalarının magnetik özdirence katkısı
ρ_{s-d}	**:** s-d saçılmasının magnetik özdirence katkısı
ρ_{deney}	**:** Deneysel özdireç sonuçları
α	**:** Spin dalgalanmaları sabiti
A,B,C	**:** s-d saçılması sabitleri
M	**:** Magnetizasyon
H	**:** Dış magnetik alan
H_c	**:** Mıknatıslanmayı giderici alan
M_r	**:** Kalıcı mıknatıslanma
M_s	**:** Doyum Mıknatıslanması

ERBİYUMA DAYALI BAZI İNTERMETALİK BİLEŞİKLERİN SENTEZLENMESİ, ELEKTRİK VE MAGNETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, $ErCo_2$, $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$, $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$, $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$, $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$, ve $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ intermetalik bileşikleri ark ergitme yöntemi ile hazırlanmıştır. Non-magnetik titanyum atomlarının katkılanmasıyla, örneklerin yapısal (kristal), elektriksel ve magnetik özelliklerinde meydana gelen değişikler araştırılmıştır.

Örneklerin kristal yapıları x-ışınları ile tayin edilmiştir. Kristalografik özellikler ve örgü parametreleri X'pert HighScore ve FullProff Suite bilgisayar programları ile bulunmuştur. Örneklerin tümü kübik yapıda kristalleştiği ve tek fazda olduğu bulunmuştur. Örneklerin örgü sabiti titantum konsantrasyonu ile düzgün olarak artmaktadır. Ölçmede kullanılacak örnekler on gün süreyle 900 ^oC de tavlanmıştır.

Örneklerin özdirenç ölçümleri 4.2-300 K sıcaklık aralığında DC dört nokta yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin tümü, özdirençlerinde belirli bir T_c kritik sıcalığında keskin bir düşüş sergilemiştir. Artan titanyum konsantrasyonu ile, kritik sıcaklık değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Deneysel veriler yüksek sıcaklık bölgesinde Bloch-Grüneisen fonksiyonuna uyarlanarak Debye sıcaklıkları bulunmuştur. Özdirenç değerlerinden elektron-fonon etkileşmelerinin ve sıcaklıktan bağımsız diğer etkileşmelerin etkisi çıkartılarak magnetik katkı ρ_{mag} sıcaklığın fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Magnetik katkı, kritik sıcaklığın üstündeki düşük sıcaklık ve ara sıcaklık bölgelerinde analiz edilmiştir. Bu sıcaklıklar aralığında, yerleşik f-elektronlarının spin dalgalanmalarının ve daha yukarı sıcaklıklarda ise s-d saçılmaların etkin olduğu varsayılmıştır.

Diğer taraftan, 4.2-100 K sıcaklık aralığında, 0-30 kOe magnetik alan bölgesinde, mıknatıslanma ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerde titreşen magnetometre kullanılmıştır. Her bir örnek üzerinde, H = 50 Oe 'lik bir ölçme alanında, alan soğutmalı ve alalansız soğutmalı haller için mıknatıslanmanın değerleri sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Örneklerin tümü, Curie sıcaklığı civarında karakteristik faz geçişi özellikleri sergilemiştir. Bu özellikler, alanlı soğutma değerlerinde ani bir yükselme, alansız mıknatıslanma değerlerinde ise bir maksimum vererek kendini göstermektedir. (Yani; alanlı ve alansız mıknatıslanma eğrileri birbirinden ayrılmaktadır; dönüsüzlük etkisi). Bunlara ilaveten, Curie sıcaklığının altında seçilen T= 5K, 10K, 20K ve 30K ve üstünde T =40K ve oda sıcaklığında -30 kOe- 30 kOe alan aralığında mıknatıslanmanın alana göre M-H histeresis döngüleri kaydedilmiştir. Bu eğrilerden yararlanılarak, koersivite ve kalıcı mıknatıslanma

değerleri tesbit edilmiştir. Koersivite artan Ti konsantrasyonu ile düzgün artmış, doyum mıknatıslanması %1 Ti içeren örnek için keskin bir düşüş gösterirken, daha yüksek artan Ti konsantrasyonuyla, düzgün ve yavaşça artmaktadır.

SYNTHESIS OF SOME INTERMETALLIC COMPOUNDS BASED ON ERBIUM, INVESTIGATION OF THEIR ELECTRIC AND MAGNETIC PROPERTIES

SUMMARY

Intermetallics $ErCo_2$, $ErCo_{1.99}Ti_{0.01,}$ $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$, $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$, $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$, and $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ samples were prepared for his study by arc melting. The structure was analyzed by X-ray diffraction using Cu K_α radiation. All samples were found to be single phase with the same RCo_2 cubic laves phase compounds (space groupe Fd3m structure). To ensure a homogeneous final materials, samples were annealed at 900 ^{0}C for ten days. Lattice parameters were found using X'pert HighScore and FullProff Suite software. Lattice parameters, a increases first almost linearly with titanium up to 4 at.% Ti and then stays nearly constant.

Electrical resistivity measurements were performed on these samples over the temperature range 4-300 K. All samples show a sharp drop in the resistivity at a certain temperature (which is called Curie temperature, T_c), indicating that samples undergo through a first order phase transition from paramagnetic state to ferrimagnetic one. High temperature electrical transport is dominated by electron-phonon scattering while at low temperatures above T_c and intermediate temperature range, a T^2-spin-fluctuation term and s-d scattering mechanism govern the resistivity. To analyze the resistivity data, and assuming that Matthiessen's rule holds, we Express the electrical resistivity in terms of the contributions mentioned above. For the phonon contribution, we used the Bloch-Grüneisen (BG) expression. We obtained the Debye temperature (θ_D) for each sample by fitting BG equation to the corresponding experimental data. It is found that θ_D increases smoothly from 263 K for $ErCo_2$ to 280 K for $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ with increasing titanium impurity atoms. The remaining part of the resistivity after subtracting the phonon contribution and temperature independent terms from the resistivity data , could be fit according to a model including s-d scattering plus a spin-fluctuation term (T^2-contribution). We have observed that the latter mechanism become more and more dominates with increasing titanium concentrations.

A vibrating sample magnetometer (VSM) was used to measure the DC magnetization in the temperature range 5-100 K. Magnetization measurements were carried out in the measuring field of 50 Oe in zero field case (ZFC) and field cooled case (FC) in this temperature range. First order phase transition reflects itself causing by a rapid increases in the FC-magnetization branch while a well defined maximum in ZFC-magnetization branch at T_c Additional information about the magnetic states of these samples are provided by M versus H hysteresis (within ±30 kOe) taken at some

selected temperatures below and above T_c for each sample. It is found that the coercivity increases with titanium impurity atom whereas the saturation magnetization first decreases with 1 at. % Ti and then increases gradually with titanium atoms.

1. GİRİŞ

Stokiyometriye dayalı örnek hazırlamak, bazı alaşım ve bileşiklerde gözlenen fiziksel olaylara açıklık getirebilmek için yapılan çalışmalardan biridir. Alaşımın veya bileşiğin sitokiyometrik oranını değiştirmek özısı, yoğunluk, elektriksel iletkenlik ve magnetizasyon gibi bazı belli başlı fiziksel özellikleri değiştirmektedir.

Çalışmamızda $ErCo_2$ bileşiğine düşük miktarlarda Titantum katkılayarak yeni bileşikler oluşturulmuştur ($ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$, $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$, $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$, $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$, $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$). Bu örnekler sanayide de kullanılan ark eritmeli fırın ile hazırlanmıştır. Ark eritmeli fırının en önemli özelliği, bileşiği veya alaşımı oluşturacak elementlerin uygun asal gaz (argon) atmosferinde, elementlere ark uygulanarak, çok hızlı bir şekilde eritilip istenilen örneğin oluşmasını sağlamaktır.

Ark eritme fırını kullanılarak hazırlanan bu altı adet intermetalik malzeme, moleküler yapılarının daha uygun hale gelmesi için ayrı ayrı kuartz tüp içine kapatılarak 10 gün boyunca 900 ^oC'de ısıl işleme tabi tutulmuştur.

Örneklerin tek bir faza sahip olup olmadığını anlamak için, her bir örnekten küçük bir parça alınmış ve alınan bu parçalar X ışınları analizi için öğütülerek toz haline getirilmiştir. Örneklerin X ışınlarından alınan sonuçları Fullproff ve Xpert programları kullanılarak malzemelerin kristal yapısı ve örgü parametreleri bulunmuştur. Her bir örneğe ait kalan diğer parçalardan ise magnetizasyon ve özdirenç ölçümleri için ölçüm aletlerinin, ölçüm standartlarına uygun parçalar ayarlanmıştır.

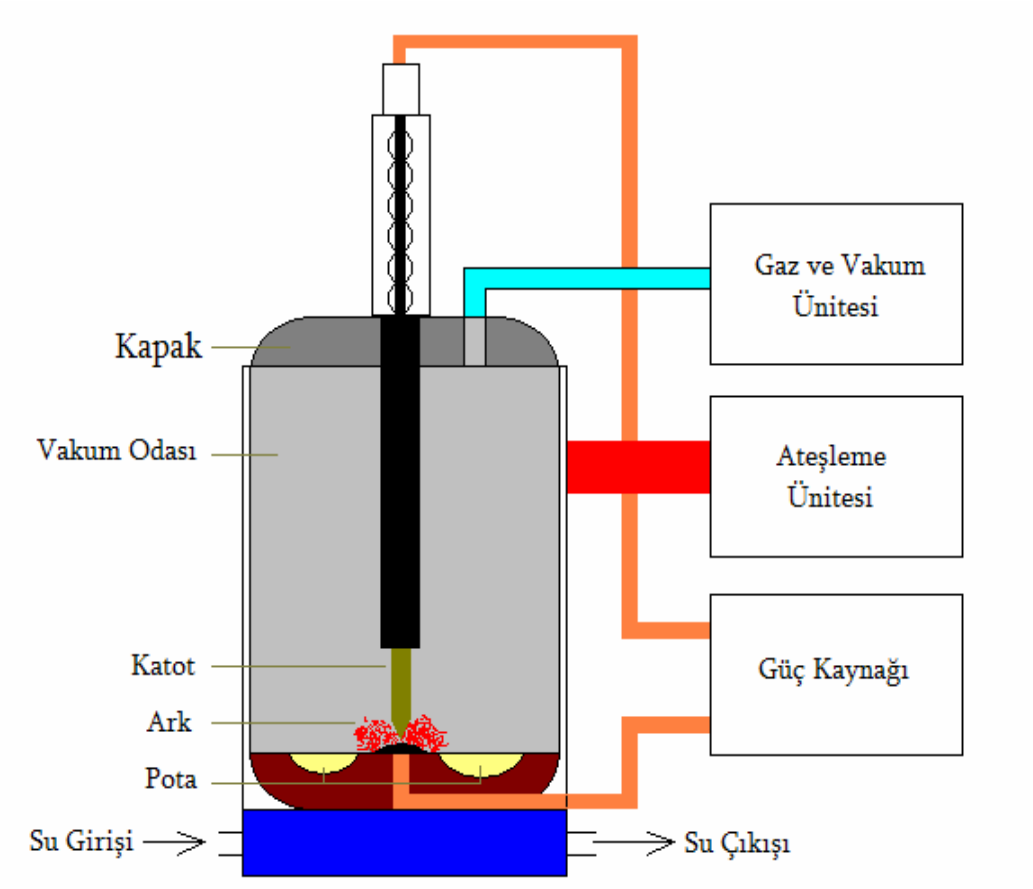
Hazırlanan örneklerin direnç ölçümleri DC dört nokta yöntemi ile 4.2-300 K arasında, magnetizasyon ölçümleri de 4.2-100 K arasında hem 50 Oe magnetik alan uygulanarak hem de alan uygulanmaksızın titreşimli örnek magnetometresi (VSM) kullanılarak yapılmıştır. Aynı zamanda, farklı sıcaklıklar için 0-30 KOe alan aralığında M-H grafikleri ölçülmüştür.

Bu çalışmadaki temel amacımız daha önce yapılmamış ve literatürde bulunmayan $ErCo_2$ bileşiğine nonmagnetik element olan titanyumu düşük yüzdelerde bu bileşiğe katkılayarak oluşturulan yeni malzemelerin özdirenç ve magnetizasyonunun nasıl değiştiğini araştırmak, titanyum katkısının $ErCo_2$'deki 1. dereceden magnetik faz geçişine nasıl bir etki yaptığını görmek ve bunlara ek olarak literatüre katkıda bulunmaktır.

2. MALZEMELERİN SENTEZLENMESİ

2.1. Ark Eritmeli Fırın

Adından da anlaşılacağı gibi ark eritmeli fırın vakum ortamında, malzemelere uygulanan ark ile eritilerek alaşım veya bileşik haline getirilmesini sağlayan bir sistemdir. Bu sistem tantalyumun yeniden eritilmesi amacıyla ilk olarak Almanya'da 1905 yılında geliştirilmiştir. Daha sonra erime sıcaklığı yüksek ve oksijen ilgisi fazla olan titanyum ve zirkonyum gibi metallerin üretilmesi içinde kullanılmıştır. Vakumlu bir ark fırınının basit şematik gösterimi aşağıdaki gibidir [1].



Şekil 2.1: Vakumlu ark fırınının basit bir tasarım şeması

Vakumlu ark eritmesinin üç çeşidi vardır. Bunlar;

1. Tükenir elektrotlu vakumlu ark eritmesi
2. Tükenmez elektrotlu vakumlu ark eritmesi
3. Skull heart casting

Biz çalışmamız süresince örneklerimizin tamamını tükenmez elektrotlu vakumlu ark eritmesi kullanarak hazırladık.

Vakumlu ark eritmesinin pek çok uygulama alanı vardır. Bunlar;

- Alaşım ve bileşik sentezlenmesi
- İstenilen şekillerin üretilmesi
- Kimyasal saflaştırma
-İstenilen Metalurjik yapıların üretilmesidir

2.2. Kullandığımız Ark Eritmeli Fırının Kısımları

2.2.1. Kaide

Bakır pota, soğutma sıvısı ceketi, ark starteri, eritilecek malzemenin konulduğu delikler, iki adet lastik conta ve iki adet civata-somundan oluşmaktadır.

Bakır potanın üzerinde farklı malzemenin eritmesinin yapılabileceği üç küçük delik vardır. Eritmek için hazırlanan malzemeler haznelerin içine dışarı çıkmayacak şekilde yerleştirilir. İçinden suyun geçeceği soğutma sıvısı ceketi potanın altındadır. Potanın tam ortasında, tungstenden yapılmış ilk arkın yapıldığı starter bulunmaktadır. Su giriş, çıkış yerleri, starter ve potanın tamamı aşağıdaki şekil 2.2a'da daha ayrıntılı olarak görülmektedir.

2.2.2. Cam Fanus

Yüksek sıcaklıklara dayanabilen camdan yapılmıştır. Arkı ve eritmenin yapılacağı deliklerin rahatça görülmesini sağlar. Cam fanus şekil 2.2b de görülmektedir.

2.2.3. Elektrot Tutucu ve Tutma Sapı

Bu bölüm, elektrotu tutmanın yanında sahip olduğu dairesel çerçeve ile cam fanusun üstüne konarak bir kapak vazifeside görür. Tutucu mekanizmanın en üstünde ilk arkı verebilmek için elektrodun ucunu aşağıya ve yukarıya oynamasını sağlayan yaylı ve

elle kontrol edilebilen tutma sapı bulunur. İlk arkı vermek için bu sapı sıkıca tutup potadaki startera değdirmek yeterlidir. Elektrot ucunda oluşan ark tutma sapı ile yönlendirilerek eritilecek malzemenin üzerine rahatlıkla getirilebilir. Ayrıca kapak vazifesi gören elektrot tutucunun üstünde iki tane delik bulunur. Bu deliklere, kapak kapatıldıktan sonra sistemin içindeki havayı almaya ve ortamdaki basıncın ne durumda olduğunu gösteren manometrenin uçları takılır.

2.2.4. Elektrot

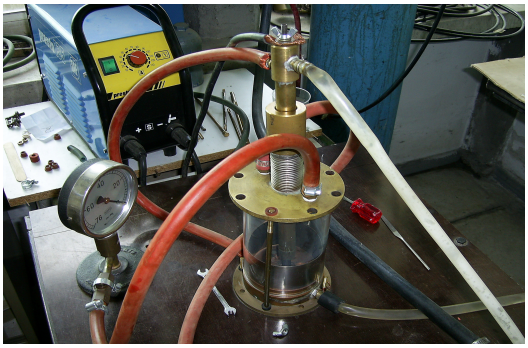
Kullanılan elektrot, tungstenden yapılmış ucu sivri bir çubuktur. Tungstenin erime sıcaklığı çok yüksek olduğu için ark eritme sistemi için seçilen en uygun malzemedir.



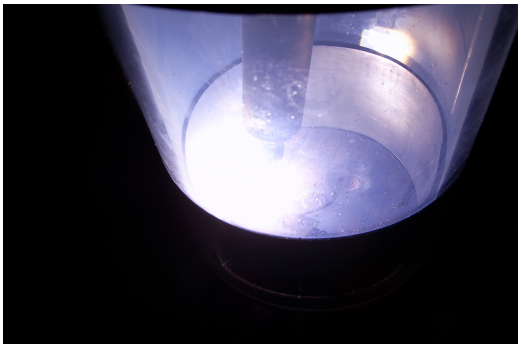
Şekil 2.2a: Pota, manometre ve elektrot



Şekil 2.2b: Cam fanus



Şekil 2.2c: Arka hazır fırın ve akım kaynağı



Şekil 2.2d: Ark sırasında fırının içi

2.2.5. Manometre

Elektrot tutucu fanus üstüne konup kapatıldıktan sonra üst kısımdaki deliklerden birine bağlanır. Fanus içindeki hava tamamen boşaldığını kontrol etmek ve yerine koyulan soy gazın basıncını ölçmek için kullanılır.

2.2.6. Akım Kaynağı

0 ile 110 amper arasında akım üreten bu kaynak arkın başlaması için gerekli olan gücü sağlar. Eritmenin olmadığı durumlarda akım seviyesi arttırılarak daha çabuk ve kolay bir eritme yapılabilir. Şekil 2.2c de akım kaynağı ve tüm sistem görülmektedir.

2.2.7. Vakum Pompası

Fanus içindeki havayı ve eritme işleminden sonra soygazı dışarı atmak için kullanlır.

2.3. İşlem (Proses)

Ark fırınındaki eritme sırasında, iyi ve kaliteli örnek hazırlamak için sırasıyla yapılması gereken bir takım işlemler vardır. Şimdi bu işlemleri sırasıyla açıklayalım.

İlk önce bakır pota alkol ile silinmeli ve üzerinde bir önceki arktan kalanlar temizlenmelidir. Sonra eritilecek malzeme büyük iki delikten birine ve küçük bir titanyum parçasıda pota üstündeki küçük deliğe, dışarı taşmayacak şekilde yerleştirilir. Cam fanus kaideye yerleştirilir. Elektrot tutucu ve tutma sapı fanusun üstüne yerleştirilir ve civatalar uygun deliklerden geçirilerek somunlar iyice sıkıştırılır. Sonra fanus içindeki hava pompa yardımı ile vakumlanır. Vakumlamadan sonra 0.5 atmosfer basınçlı soy gaz (argon) doldurulur. Bu işlem fanusun içindeki normal atmosfer şarlarının fanus içindeki kirliliği alması için üç veya dört kez tekrarlanır. Akım kaynağının ayar düğmesi, arkın başlatılacağı uygun akım seviyesine (30-60 Amper arasında) getirilir. Akım kaynağı açılır. Elektrot pota üstündeki tugsten startere değdirilerek ark başlatılır. Ark süresince katottan akan elektronlar ortamdaki argon atomlarını iyonlaştırır ve iyonlaşan argon atomları anot ile katot arasında bir plazma oluşturur. İyonlaşan negatif yüklü iyonlar anoda doğru yönelir ve kinetik enerji kazanır. Bu ark, eritilecek malzemeye yönlendirildiğinde enerjisini malzemeye aktarır ve malzemenin ısınarak erimeye başlamasını sağlar. Ark başlatıldıktan sonra ilk önce, yüksek sıcaklıkta oksijen ilgisi fazla olması sebebiyle titanyuma yönlendirilir ve titanyumun erimesi sağlanır. Daha sonra elde etmek istediğimiz malzemenin üstüne yönlendirilir. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta vardır. Bu, kullanacağımız soy gazın buhar basıncı eriteceğimiz metalin gazının buhar basıncından büyük olması gerçeğidir. Bu

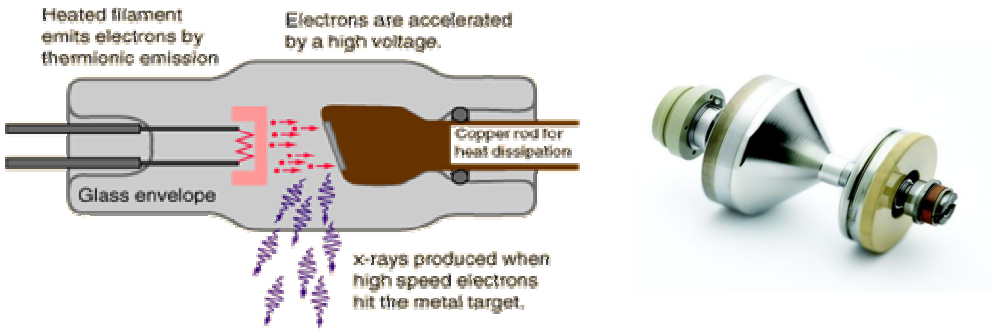
olmadığı taktirde malzeme eritme esnasında patlayarak fanusun iç yüzeyine yapışır. Yaptığımız çalışmada, argon gazı istediğimiz şartlara en uygun soygazdır. Eritme işlemi süresinde malzemenin bulunduğu bakır potanın altından su geçirilerek sürekli soğutulur. Bakır pota üstteki ısıyı çok hızlı bir şekilde suya ilettiği için üst tarafta çok yüksek ısı olsa bile erimez veya eriyen malzeme ile reaksiyona girmez. Bundan dolayı alaşımımız son derece temiz bir ortamda hazırlanmış olur. Hazırladığımız her örnek için aynı işlemler baştan sona tekrarlanmıştır. Hazırlanan örnekler, oksitlenmemesi için vakum ortamında muhafaza edilmiştir.

3. ÖRNEKLERİN KRİSTAL YAPILARININ TAYİNİ

3.1. X Işınları

X ışınları ilk olarak Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 1895 yılında keşfedilmiştir. Röntgen, yapısı hakkında yeterli biligiye sahip olmadığı için bu ışınlara x-ışını adını vermiştir. X-ışınlarıyla uzun bir süre çalışmış ve özelliklerinin ne olduğunu anlamaya çalışmıştır. Bu çalışmaları Röntgen'e 1901 yılında x-ışınlarını buluşundan ötürü Nobel Fizik ödülünü kazandırmıştır.

X-ışınları dalga boyu 10 ile 0.01 nm arasında olan ve radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar uzanan elektromagnetik spektrumun bir parçasıdır. Gözle görünmeyen bu ışınlar, görünen ışınlardan çok daha girginlerdir. Metal levha, insan vücudu ve tahta gibi opak maddelerden geçebilirler. Bu yüzden x-ışınları opak herhangi bir maddenin iç yapısını incelemek için son derece idealdir. Buna ek olarak Max Von Laue, 1912 yılında, X-ışınlarının kristalde kırınımını keşfederek önemli bir başarıya imza atmıştır ve bu başarısından ötürü kendisi 1914 yılında Nobel Fizik ödülü almıştır. X-ışınları kırınımı ile kristal yapı tayininin eriştiği çözünürlük atomik düzeyde olduğundan (10^{-8} mertebesinde) birçok malzemenin yapısı hakkında fikir sahip olmak için bu ışınlar kullanılmaktadır.

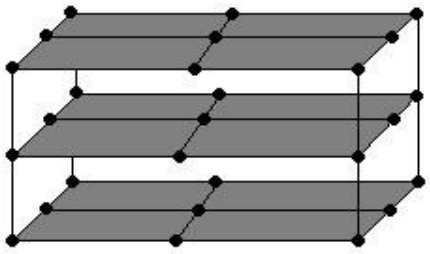


Şekil 3.1: Bir X ışını tüpünün şeması ve Siemens marka bir X-ışını tüpü [2]

Bir X-ışını tüpünün metal hedefine yüksek hızlı elektronlar çarptığında enerjisinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşürken (%98), geri kalanı ise X-ışınlarına dönüşür. Oluşan X-ışınları, bütün dalga boylarını içeren bir sürekli spektrum (beyaz ışık) ile tek dalga boyuna sahip şiddetli bir çizgi spektrumundan oluşur. Buradaki sürekli spektrum beyaz ışın olarak adlandırılır. Çizgi spektrumu ise, kendisini meydana getiren hedef metale özgü olan tek renkli (monokromatik) ışığa denk geldiği için karakteristik spektrum olarak adlandırlır. Düşük gerilimlerde çalıştırılan X-ışınları tüpü sadece beyaz ışın yayarken, yüksek gerilimlerde ise beyaz ışına ek olarak karakteristik spektrumuda yayınlar. X-ışını analizinde işte bu karakteristik spektrum kullanılır (K_α, K_β).

3.2. X-ışınlarının Kristal İçinde Kırınımı ve Bragg Yasası

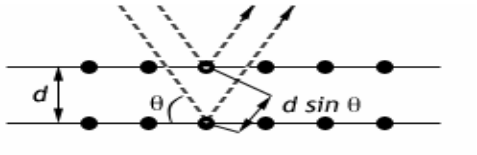
X-ışınları kırınımında kristallerin kullanımı İngiliz fizikçiler W.L. Bragg ve babası W.H. Bragg tarafından geliştirildi. Bu teknik, tarihsel olarak X-ışınlarının tanımlanmasında önemli olduğu kadar, günümüzde de kristal yapıların incelenmesinde önemli bir yer tutar. Bragg kırınımını anlamak için bir kristali, düzenli aralıklarla sıralanmış özdeş ve birbirine paralel düzlemler olarak, şekil 3.5'teki gibi düşünebiliriz.



Şekil 3.2: Birbirine paralel kristal düzlemleri

Düzlemlere belirli bir θ açısıyla yaklaşan bir elektromagnetik dalga (x-ışını) gözönüne alalım. Dalga kristale çarptığında her atomdan ışımanın bir bölümü saçılacak, saçılan dalgaların aynı fazda olduğu doğrultularda kırınım maksimumları gözlenecektir. İlk düzlemden saçılan dalgaları göz önüne aldığımızda, saçılan dalgaların aynı fazda olması en temel yansıma kuralı ile verilir.

$\theta = \theta'$ (3.1)



Şekil 3.3: Eletromagnetik dalganın kristal düzlemlerinden yansıması

Şimdi aralarında d uzaklığı olan ardışık iki düzlemdeki atomlardan saçılan dalgaları göz önüne alalım. İki dalga arasındaki yol farkı $2dsin\theta$ olur. Ardışık düzlemlerden kırınan dalgaların aynı fazda olabilmesi için yol farkı λ gönderilen dalga boyunun tam katı olmalıdır.

$$2dsin\theta = n\lambda \quad (3.2)$$

Yukarıda yazılan bu ifadeye Bragg Yasası denir. Burada n=1,2,3... tamsayısı dalganın kaçıncı kristal düzleminden yansıdığını belirtir. Bir çok deneyde n>1 olan maksimumlar çok zayıftır ve sadece n=1 önemli olur. Yani birinci düzlemden yansıyan dalgalar yapıcı girişime çok daha fazla katkı yapar. Ayrıca, Bragg kırımının seçici bir yansıma olduğunu ve $d \geq \lambda$ durumunda geçerli olduğunu belirtmekte fayda vardır.

Bragg eşitliğinden görüleceği gibi λ'nın bilinmesi halinde, Bragg açısı θ ölçülerek kristal içindeki düzlemler arası uzaklık d bulunabilir. Ayrıca, kiristal içindeki atom koordinatlarını veren Bragg yansımalarının şiddeti ölçülerek, kristal yapı analizi gerçekleştirilebilir. Buna X-ışınları kristal yapı analizi denir. Diğer taraftan Bragg eşitliğinde d'nin bilinmesi halinde, gelen ışınların dalga boyu yine θ ölçümü ile hesaplanabilir. Hesaplanan dalga boylarıda bize ışımayı yapan maddede hangi elementlerin bulunduğunu gösterir. Bu yöntemde X ışınları flüoresans analizi olarak bilinir.

3.3. Kristal Yapı Tayini

$ErCo_2$ bileşiği ile birlikte titanyum katkılanmış beş örneğimizin kristal yapılarını tayin etmek için X-ışını difraksiyonu kullanıldı. Her bir örnekten yeterli büyüklükte parçalar alınarak toz haline getirildi ve X-ışınları altında kristal analizi yapıldı.

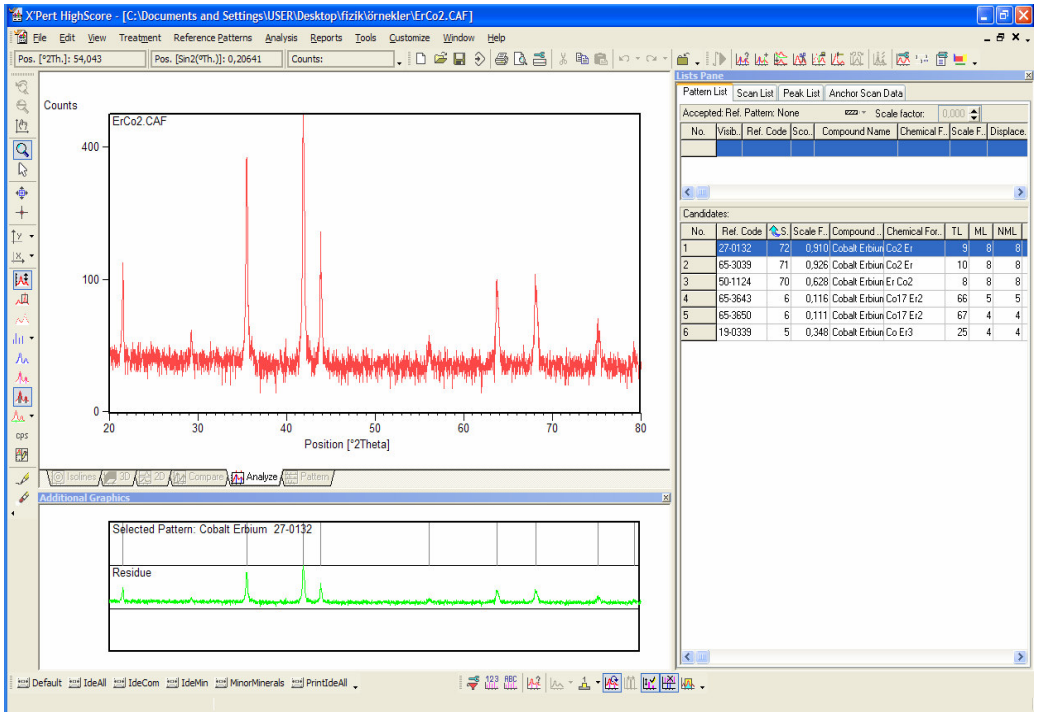
Bir örneğin X-ışınlarından faydalanarak o örneğe ait kristal yapı tayini yapılırken genellikle karşılaştırma yöntemi kullanılır. Bu yöntem, daha önceden kristal yapısı tam olarak belirlenmiş malzemelerin spektrumları ile elimizdeki örneklerin spektrumlarının karşılaştırılmasına dayanır. Böylelikle örneklerin kristal yapıları hakkında fikir yürütülebilir. Biz yaptığımız çalışmada örneklerimizin kristal yapılarını belirlemek için bu yöntemi kullandık.

X-ışınları çekilen örneklerin kristal yapısının ve örgü sabitinin tam olarak belirlenmesi için bilgisayar programlarından yararlanıldı. Bunlar; Philips X'pert Highscore ve Fullprof Suite adındaki bilgisayar programlarıdır.

3.3.1. Kristal Yapı Analizi İçin Kullanılan Programlar

3.3.1.a. Philips X'pert Highscore

Windows tabanlı bir paket programdır. Faz analizi yapmak için kullanılır. Programın çalışması için *.asc formatında bir dosya girilmelidir. Bunun için X-ışınlarından alınan *.txt uzantılı dosyalar *.asc formatına çevrilir. X-ışınları için kullanılan metal hedefin hangi atoma ait olduğu programın seçeneklerinden belirlenir. Ayrıca programın daha kolay çalışmasını ve kendi veri bankasındaki seçenekleri daha iyi değerlendirebilmesini sağlamak için analizi yapılmış malzemenin içinde hangi atomlar olduğunu bir girdi olarak programa verilir. Program bu veriler ışığı altında kendi veri bankasını inceler ve malzeme için en uygun kristallerin ne olabileceğinin bir listesini verir. Biz bu liste içinden örneğimize en uygun eşleştirmeyi kullanırız. X'pert Highscore, uygun eşleştirmeden sonra bize örnekle ilgili kristal yapı, uzay grubu, örgü sabitleri ve miller indislerinin ne olduğunu gösteren bir dosyaya yönlendirir. Bu dosyadan örneğimize ait istediğimiz bilgileri kullanırız.



Şekil 3.4: $ErCo_2$ bileşiğinine ait X'pert Highscore penceresi ve masaüstü

3.3.1.b. FullProf Suite

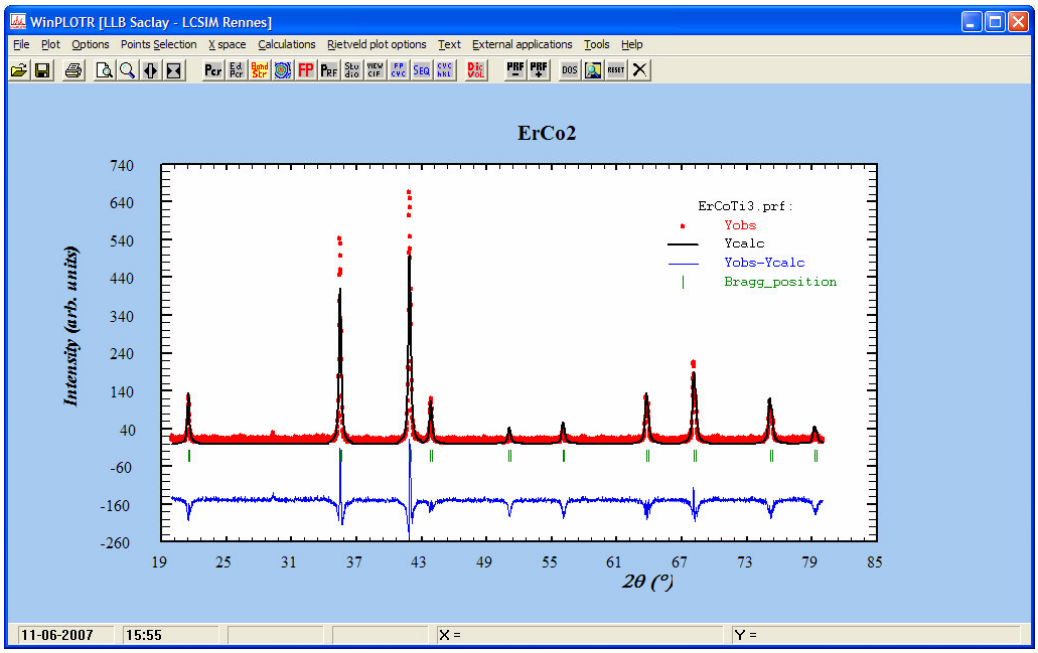
Bu da windows tabanlı bir programdır. Program profil iyileştirmesi için kullanılır. Veriler bu programa girilir, çalışması için bazı parametreler tayin edilir ve malzemeyle ilgili daha iyi bir profil oluşturmaya çalışılır.

Fullprof Suite, yapı profili iyileştirmesi için θ'ya bağlı saçılma değerleriyle çalışan bir program olarak geliştirilmiştir. FullProf'ta yapılabilen ve FullProf'un yapabildiği bazı işlemler şu şekilde sıralanabilir.

-Profil uydurma

- Her faz için çizgi şeklinin belirlenmesi.
- Nötron ve X-ışını saçılmaları.
- Bir yada iki dalga boyu için işlem ($K_\alpha 1$ ve $K_\alpha 2$).
- Çok fazlı durumlar (sekiz faza kadar) için işlemler.
- Otomatik hkl üretimi.
- Magnetik yapı iyileştirmesi.
- Yapı faktörü sabitine ihtiyaç duymadan sayısal analiz.

FullProf Suite *.pcr türünde, programın nasıl çalışacağını söyleyen bir dosya tanımlanmasına ihtiyaç duyar. Bu dosyanın içinde çeşitli parametreler belirtilmelidir. Parametrelerin özellikle veri dosyasıyla uyum içinde olmasına dikkat edilir. Herhangi bir uyumsuzluk karşısında program istediğimiz işlemi gerçekleştiremeyecek ve hata mesajı verecektir.



Şekil 3.5: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ örneğinin FullProf Suite'teki kristal yapı düzeltmesi

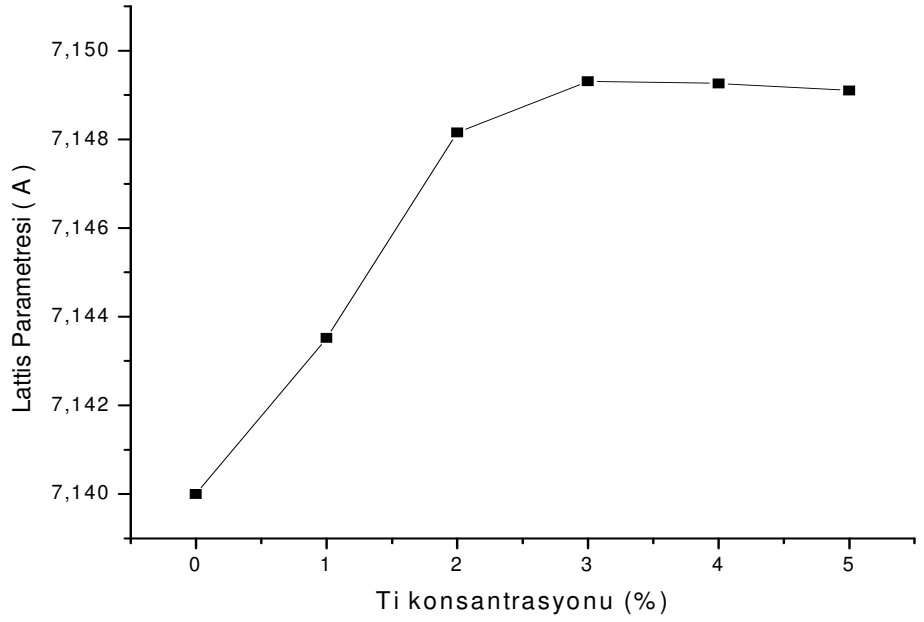
3.2.2. Hazırlanan Örneklerin Kristal Yapısı

Ark eritmeli fırında hazırlanan $ErCo_2$ ve titanyum katkılı $ErCo_{2-x}Ti_x$ (x=0.01, 0.02, 0.03, 0.04 ,0.05) örneklerinden uygun parçalar alınarak toz haline getirilmiş ve her bir örneğin X- ışınları spektrumu çekilmiştir. Örneklerin incelenmesine, bize diğer titanyum katkılı örneklere de ışık tutması açısından $ErCo_2$ örneğinden başlanmıştır. İlk önce bu örneğin X-ışınları sonuçları Philips X'pert Highscore'da incelenmiş ve örneğin hangi yapıda kristalleştiği, uzay grubu, örgü sabitleri ve miller indisleri bulunmuştur. Titanyum katkılı beş örneğin kristal yapıları FullProf Suite programıyla incelenmiş, programın çalışması ve uygun düzeltmelerin yapılması için gerekli olan başlangıç verileri olarak, $ErCo_2$'ye ait Philips X'pert Highscore'un verdiği veriler kullanılmıştır. Kullanılan bu verilerle titanyum katkılı beş örnek için ayrı ayrı örgü parametreleri bulunmuş ve titanyum katkısıyla lattisteki değişimin nasıl olduğu

incelenmiştir. Bu işlemlerin sonucunda örneklerin kristal yapıları ve lattis parametreleri aşağıdaki tablo 3.1 de, ayrıca X-ışınları sonuçlarına ait grafikler de EK A daki grafiklerde verilmiştir.

Tablo 3.1: Bütün örneklerin kristalografik özellikleri

Örnek	Kristal ailesi	Uzay grubu	Örgü sabiti (A)
$ErCo_2$	kübik	Fd3m	7.14000
$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	kübik	Fd3m	7.143522
$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	kübik	Fd3m	7.148158
$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	kübik	Fd3m	7.149317
$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	kübik	Fd3m	7.149267
$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$	kübik	Fd3m	7.149102



Şekil 3.6: Lattis parametresinin Titanyum katkısıyla değişimi

4. ELEKTRİKSEL ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMLERİ

4.1. Nadir Toprak Elementlerinin Genel Özellikleri

4.1.1. Katılardaki Elektriksel İletkenlik Özellikleri

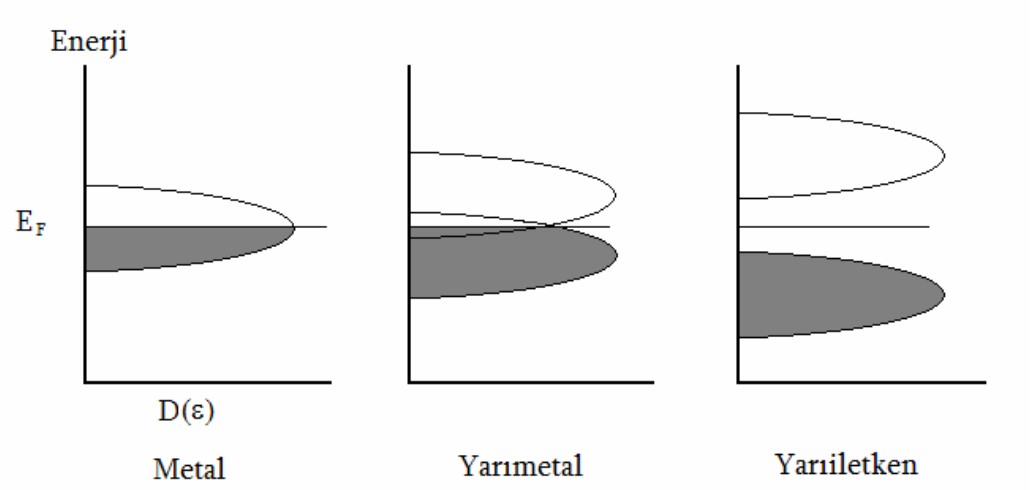
Kristal katıların elektriksel iletkenliği hazırlanan malzemeye bağlı olarak değişiklik gösterir. Düşük sıcaklıklarda iyi bir yalıtkanın iletkenliği 10^{-20} $(ohm\ cm)^{-1}$ mertebesinde iken, iyi bir metalin iletkenliği ise 10^{10} $(ohm\ cm)^{-1}$ mertebesindedir. Dolayısıyla kristal katıların iletkenliği 10^{-20}-10^{10} $(ohm\ cm)^{-1}$ arasındadır [3]. Ayrıca katkılı bazı malzemelerde de elekriksel iletkenliğin sıcaklıkla olan değişimi büyük farklılıklar göstermektedir .

Katılar için farklı iletkenlik tipleri vardır. Bunlar; metal, yalıtkan, yarımetal ve yarı iletkendir. Bu tip malzemelerin sıcaklıkla birlikte bazı özellikleri incelendiğinde anormallikler görülmektedir. Bu anormallikler, bir katıdaki elektronların davranışını açıklayan bant teorisi ile yapılamamaktadır.

Bant teorisi, katılardaki eklekronların enerji değerleri ve bu enerji değerlerine karşı gelen dalga fonksiyonlarıyla ilgilidir. Dalga fonksiyonlarının momentum uzayındaki izinli dağılımı bu uzaydaki durum yoğunluğu olarak tanımlanır (D(ε)). Şekil 4.1'de metal, yarımetal ve yarı iletken malzemelerin bant yapıları görülmektedir. Fermi enerji seviyesi (E_F) mutlak sıfır sıcaklığında elektronlar tarafından dolu olan en yüksek enerji seviyesidir.

Metallerde iletkenlik bandı mutlak sıfır sıcaklığında hemen hemen yarısına kadar doludur. Fermi enerjisinde girilebilir durumların sürekli olması elektriksel iletkenliğin olmasını sağlar. Elektriksel iletkenliğe katılan elektronların sayısı momentum uzayındaki durumların yoğunluğuna bağlıdır. Sıcaklık artmaya başladığında elektronlar artık bulundukları yerde durmazlar ve daha üst enerji seviyelerine hareket ederler.

Yarımetaller iletkenlik bandının ve valans bandının birbirleri ile kesiştiği bir bant yapısına sahiptirler. Fermi enerji seviyesi bu iki bandın kesiştiği yerden geçmektedir. Yarı iletkenlerde ise valans bandı ile iletkenlik bandı birbirinden uzaktadır. Fermi enerji seviyesi iletkenlik bandı ile valans bandı arasındaki bu yasak enerji bandından geçer. Mutlak sıfır sıcaklığında elektronlar valans bandında yer alır ve iletkenlik bandında elektron bulunmaz. Tamamen boş veya tamamen dolu bantlar elektriksel iletkenliğe katkıda bulunmaz. Sıcaklığın artmasıyla elektronların bulundukları yerler değişir ve elektronlar yasak enerji aralığından geçmeye zorlanırlar. Bu geçiş popülasyonu Fermi-Dirac dağılımı ile tanımlanır. İletim bu durumda her bantta oluşur. Elektriksel iletkenlik iletim bandıda elektronlar, valans bandında da ters tarafa giden deşikler (holler) tarafından sağlanır [4].



Şekil 4.1: Metal, yarımetal ve yarı iletken malzemelerin elektronik bant yapıları [4]

4.1.2. Nadir Toprak Elementleri Tabanlı İntermetalik Bileşiklerin Elektriksel Direnci

Nadir toprak elementleri periyodik tabloda Sc (Skandiyum), Y (İtriyum) ve La dan Lu ya kadar (Lantanitler) olan elementleri temsil eder. Bu elementlerden bazıları magnetik momente sahipken (Gd), bazıları bu özelliğe sahip değildir (Y, Er). Nadir toprak elementi kullanılarak elde edilen bileşiklerin özellikleri pek çok araştırmacı tarafından incelenmektedir. Bunun sebebi, nadir toprak elementi içeren bir bileşiğin kristal yapı, magnetik davranış ve elektriksel direnç gibi pek çok özelliğin ilginç davranışlar gösteriyor olmasıdır. K.H.J. Buschow tarafından düzenlenmiş Magnetik

Malzemelerin El Kitabı (Handbook of Magnetic Materials), nadir toprak elementli tabanlı intermetalik bileşiklerle ilgili yayınlanan 200'den fazla makalenin özetini içeren ve hazırlanan 800'den fazla malzemenin özelliklerini yapılan deneylerle gösteren, bu konuda kaynak niteliğinde bir kitaptır. Ayrıca bu kitaba girmemiş çok sayıda yeni makale ve deneysel sonuç vardır.

Nadir toprak elementine dayalı intermetalik bileşiklerin bir başka özelliğide gösterdikleri ilginç magnetik yapılardır. Magnetik özellik örneklerin hazırlandığı stokiyometrik orana ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir [5].

Malzemeye ait magnetik yapı ve magnetik özellikler, elektriksel direnç ile ilişkilidir. Bundan dolayı, malzemeye ait uygun elektriksel direnç verilerinin incelenmesiyle değişik magnetik durumlarda, direncin nasıl etkilendiğine ilişkin uyumlu bilgiler elde edilebilir. Bir başka deyişle, iletim olayları, özellikle elektriksel direnç, nadir toprak elementi tabanlı intermetalik bileşiklerin magnetik özellikleri kadar önemlidir.

Nadir toprak elenmenti tabanlı intermetalik bileşiklerde magnetik yapı önemli olduğu için hazırlanan bir bileşiği, içindeki atomların sahip olduğu magnetik özelliğe göre dört şekilde sınıflandırmak uygun olur.

1. Her iki elementin de magnetik momentinin olmadığı bileşikler (YaI_2).

2. Nadir toprak elementinin magnetik momentinin olduğu, partner elementinin magnetik momentinin olmadığı bileşikler ($GdAl_2$).

3. Nadir toprak elementinin magnetik momentinin olmadığı, partner elementinin magnetik momentinin olduğu bileşikler ($ErCo_2$).

4. Her iki elementinde magnetik momente sahip olduğu bileşikler ($GdCo_2$).

Böyle bir sınıflandırma yaparak, öncelikle hazırlanması istenen malzemeyle ilgili olarak nasıl bir magnetik yapının oluşturulacağı ve direnç ölçümleriyle nasıl sonuçlar elde edilebileceği gibi bir takım öngörüler yapılabilir. Biz çalışmamızda temel olarak Erbiyum ve Kobalt atomlarını kullandığımız için, $ErCo_2$ yaptığımız bu sınıflandırmaya göre üçüncü sırada yer almaktadır. Çünkü saf Erbiyum atomları magnetik momente sahip değildir, fakat Kobalt atomları magnetik momente sahiptir.

Ayrıca hazırladığımız $ErCo_2$ ve diğer Titanyum katkılı beş örnek oda sıcaklığında paramagnetiktir.

4.1.3. Nadir Toprak Elementleri Tabanlı Nonmagnetik Bileşiklerin Özdirenci ve Matthiessen Kuralı

Nadir toprak elementleri tabanlı nonmagnetik ve paramagnetik bileşiklerde direncin sıcaklığa bağımlılığı temel olarak Matthiessen kuralına uymaktadır. Bu kuralı şu şekilde açıklayabiliriz. Bir malzemedeki net özdirenç

$$\rho(T) = \rho_0 + \rho_{Lattis}(T) \tag{4.1}$$

olarak yazılırsa, ρ_0 elektronun örgü düzenini bozan statik kusurlardan, ρ_{Lattis} ise ısısal fononların saçılmasının neden olduğu özdirençtir. Kristal içerisinde örgü kusurları az ise, ρ_{Lattis} sıcaklık değişimi ile özdirence en önemli katkıyı yapar ve ρ_0 sıcaklıktan bağımsız olur. ρ_0'a artık özdirençte denir. İşte bu deneysel gözleme Matthiessen kuralı denir [4] ve deneysel verileri analiz ederken kolaylıklar sağlar.

Toplam özderencin sıcaklık ile değişimi ölçülürken ρ_0'ın bulunması sıcaklıktan bağımsız olduğu için kolaydır. Mutlak sıfırda ρ_{Lattis} ten öz dirence bir katkı gelmeyeceği için helyum sıcaklığına kadar ölçüm yapıldığı takdirde değeri, o malzeme için deneysel grafikte sıcaklık sıfıra uzatılarak bulunabilir. Malzemenin sıcaklığı arttığında ρ_0 da bir değişme olmaz fakat ρ_{Lattis} hızlı bir şekilde artar. Bunun nedeni elektron-fonon saçılmasıdır. Bu elektron-fonon saçılmasında ρ_{Lattis} için sıcaklığa bağlı genel bir bağıntı Bloch-Grüneisen eşitliği ile verilir [6].

$$\rho_{lattls}(T) = 4C\left(\frac{T}{\theta_D}\right)^5 \int_0^{\frac{\theta_D}{T}} \frac{x^5\,dx}{(1-e^{-x})(e^{x}-1)} \tag{4.2}$$

Yukarıda belirttiğimiz bağıntıda C sabiti elektron-fonon etkileşim parametresini temsil eder. θ_D karakteristik Debye sıcaklığıdır. Bu integralin sınırları kullanılarak düşük sıcaklıklar için $\rho_{Lattis} \sim T^5$ ile orantılı hale gelirken, yüksek sıcaklıklar için $\rho_{Lattis} \sim T$ ile orantılı (yani lineer) hale gelir.

Bloch-Grüneisen eşitliği aşağıdaki dört kabülden ortaya çıkmıştır.

1. Elektrik alan ve akım yoğunlu yarı klasik bir teori olarak tanımlanır. Bunun anlamı elektrik alanın elektronları $\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{e\vec{E}}{m}$ ile ivmelendirmesidir ve akım yoğunluğu iletim bandı elektronlarının $\vec{V} = \frac{\vec{\nabla}_{\vec{k}} E(k)}{h}$ hızı ile hareketlenmesine sebep olmasıdır.

2. Saçılma olayları dalga boyunun uygun olduğu zamanlarda oluşur. Yani elektron bir sonraki çarpışmaya kadar yeniden ilk halini kazanır.

3. Etkin kütle yaklaşımı uygulanır.

4. Fononlar ısıl dengededir ve Debye modeli ile tanımlanabilirler [6].

İçinde nadir toprak elementi barındıran intermetalik bileşiklerin deneysel olarak ρ-T grafiğini incelediğimizde birbirine benzer bazı davranışlar görülmektedir. En belirgin davranış yüksek sıcaklıklarda ρ nin değişimi T ile lineer olarak değişir. Bu değişim örnekte elektron-fonon etkileşmesinin ρ toplam özdirenç üzerinde daha etkin olduğunu göstermektedir ve yüksek sıcaklıklarda Bloch-Grüneisen eşitliğine uyarlanabilir. Diğer önemli bir davranışta, düşük sıcaklıklarda Bloch-Grüneisen yasasında T^5 yerine T^2 davranışı vardır. Bu davranış direncin sıcaklık bağımlılığına d elektronlarının etki etmesi ile ilişkilidir. Bazı nadir toprak elementi (nonenhanced) bileşiklerinde s bandındaki elektronlar, fononlar tarafından saçılarak aynı bantta daha yüksek enerjili bir seviyeye geçerler. Bazı nadir toprak elementi (enhanced) bileşiklerinde de s elektronu bunlara ek olarak d bandındaki bir boşluğa da saçılabilir. Bu d bandındaki durumların yüksek yoğunluklu olması sebebiyle bu saçılmadan gelen katkı önem kazanabilir. Yapılan birçok çalışmada bu saçılma daha etkin kabul edilmiş ve düşük sıcaklıklar bölgesinde spin dalgalanmalarının dirence bir katkı getirmediği varsayımında bulunulmuştur. Spin dalgalanmaları düşük sıcaklıklarda T^2 ile değişir, yüksek sıcaklıklara doğru eğrilik artar ve belirli bir bölgeden sonra elektronlar arasındaki mesafe uzadığı için spin dalgalanmalarının etkisi kaybolur.

4.1.4. Magnetizmanın Özdirence Etkisi

Nonmagnetik nadir toprak elementlerinin oluşturdukarı bileşiklerin özdirençlerinin sıcaklığa bağımlılığı Matthiessen kuralına göre ρ_0 artık özdirenç ile ρ_{Lattis} lattis özdirencinin toplamına eşittir. Nadir toprak elementlerinin oluşturdukları bileşikler magnetik düzen göstermektedir. Bu yüzden toplam özdirence bir katkıda bu özellikten gelmektedir. Bu katkı ρ_{mag} olarak isimlendirilir. Bu magnetik katkı iletkenlik elektronlarının magnetik momentin düzenindeki düzensizliklerden saçılmasından kaynaklanmaktadır. Şimdi Matthiessen kuralının doğru olduğunu kabul edersek toplam direncin sıcaklığa bağımlılığını aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

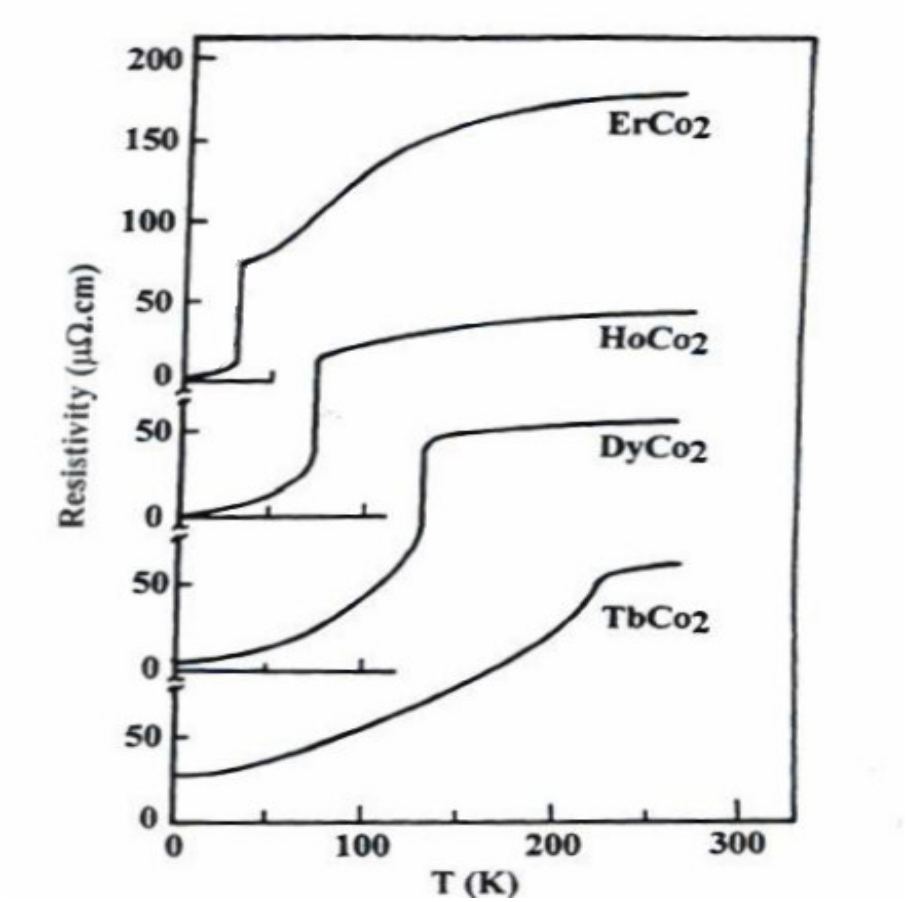
$$\rho(T) = \rho_0 + \rho_{Lattis}(T) + \rho_{mag}(T) \tag{4.3}$$

4.1.5. Nadir Toprak Elementlerinin Co_2 İle Yaptıkları Bileşikler

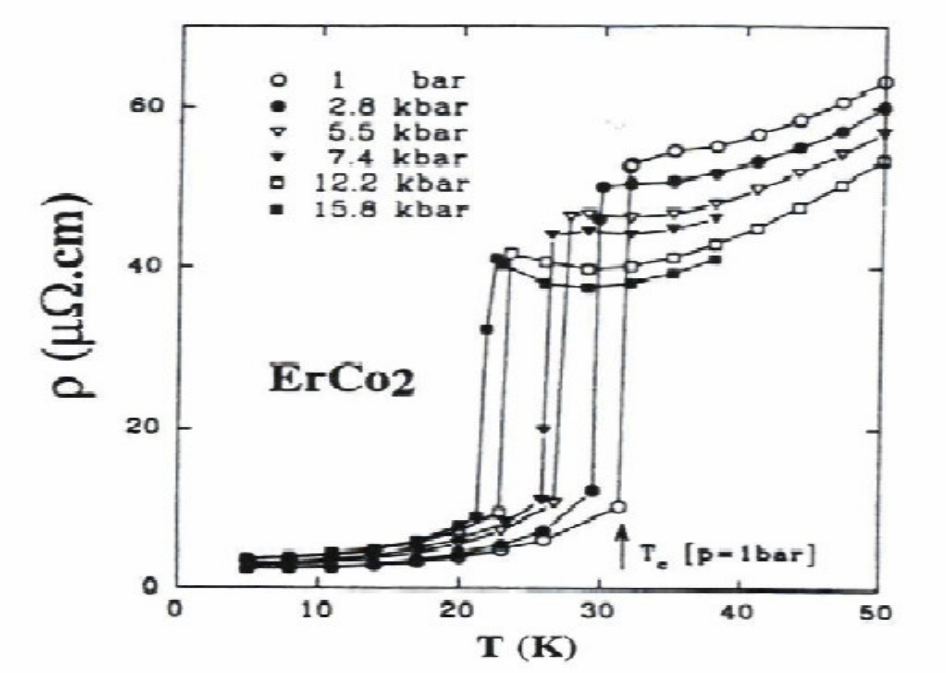
Bu bileşiklerle ilgili olarak yapılan araştırmaların çoğunda birinci dereceden magnetik faz geçişi gözlenirken ($ErCo_2$, $HoCo_2$) bazılarında ikinci derece magnetik faz geçişi gözlenmiştir. 1. dereceden magnetik faz geçişi esnasında bu bileşiklerin bazılarında mıknatıslanma, özdirenç ve lattis parametresi gibi fiziksel büyüklüklerin çoğu büyük bir değişim gösterir. Bu fiziksel büyüklüklerdeki değişim belirli bir T_c sıcaklığında başlar ve sıcaklığın değişim yönüne göre artar veya azalır. Şekil 4.2'de bu bileşiklerden bazılarının ρ-T grafiği verilmiştir [7] ve özdirencin her bir bileşik için hangi sıcaklıklarda keskin bir değişim gösterdiği görülmektedir. Bu geçiş sıcaklık değerleri; $ErCo_2$ için T_c=33 K, $HoCo_2$ için T_c=78 K ve $DyCo_2$ için T_c=135 K dır. Bu malzemelerin T_c sıcaklığında özdirenç değerlerindeki ani değişimin sebebi şu şekilde açıklanabilir. Yüksek sıcaklıklardan T_c sıcaklığına gelindiğinde nadir toprak elementinin elektronlarının momentleri aniden magnetik düzene girer. Nadir toprak elementlerinde meydana gelen bu düzen kobalt atomunun 3d bandının yarılmasına sebep olur ve sonuçta 1 μ_B civarında 3d momentlerinin indüklenmesi gözlenir. İletkenlik elektronları da yarılan bu 3d bandındaki boşluklara yerleşir. İşte bu yerleşeme T_c'nin altında malzemenin özdirencinde keskin bir düşüşe ve buna ek olarak 1. dereceden magnetik faz geçişine sebep olur [6].

Herhangi bir malzemenin magnetik alan ve sıcaklık gibi temel büyüklüklerinin değişimiyle fiziksel özelliklerini incelemek, bizim o malzeme hakkında bilgi sahibi

olmamızı sağlar. Ortamdaki basıncı istenilen şartlarda kontrol ederek fiziksel özellikleri araştırmak da farklı bir yöntemdir. Ortamda artan basınç kristal birim hücresini küçültür. Bu da fiziksel özelliklerde değişime sebep olur. Şekil 4.3'te $ErCo_2$ bileşiği için ρ-T grafiklerinde keskin düşüşün başladığı T_c kritik sıcaklık değerleri artan ortam basıncıyla birlikte düşmeye başlamıştır [8,9]. Bir başka değişle aynı örnek için, faz geçişi sıcaklığı, artan basınç ile düşmektedir.



Şekil 4.2: RCo_2 (R=nadir toprak elementi) bileşiklerinin özdirenç-sıcaklık eğrileri [7]



Şekil 4.3: $ErCo_2$'nin farklı basınç değerleri için ρ-T grafiği [8]

4.2. Hazırlanan Örneklerin Özdirenç Ölçümleri

Hazırladığımız altı örnekten direnç ölçümü için uygun boyutlarda parçalar kesilmiştir. Direnç ölçümüne başlanmadan önce ölçümü yapılacak örneğe ait parçanın uzunluk, genişlik ve kalınlık gibi geometrik boyutları ölçülmüştür. Bu geometrik veriler deneylerden sonra özdirencin hesaplanmasında yardımcı olmuştur. Direnç ölçümleri DC 4 nokta yöntemi ile ölçülmüştür. Deneysel ölçümlerde örneklere sabit bir akım uygulanarak sıcaklık değişimi ile örnekler üzerindeki potansiyel fark ölçülmüştür. Sıcaklık değişimi sırasında örnekler üzerinde sıcaklık gradyentinden dolayı bir termodinamik güç oluşmaktadır. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için aynı sıcaklıkta sırasıyla her iki yönde ve eş büyüklükte sabit bir akım uygulanarak ölçülen potansiyel farkların ortalaması alınmıştır. EK B de verilen grafikler örneklerin 4.2-300 K arsındaki deneysel ρ-T grafikleridir.

4.3. Deneysel Verilerden Yararlanarak Magnetik Katkının Hesaplanması

Daha önceki bölümlerde Matthiessen kuralından ve mıknatıslanmanın toplam özdirenç üzerine nasıl bir etki yaptığından söz etmiştik. Burada ise ölçüm sunuçlarından yola çıkarak her bir örnek için kritik sıcaklık (T_c) ve üzerindeki bölgelerde, örneklere ait magnetik katkıları kuramsal veriler ışığında değerlendireceğiz.

4.3.1. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Bölüm 4.2'de direnç ölçümlerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu ölçümlerden faydalanarak örneklere ait bazı veriler bulunabilir. Bunlar 273 K (0 ^oC) sıcaklığındaki özdirenç ve artık direnç ρ_o dır. Artık direnç sıcaklıktan bağımsız olduğu için 4.2 K'ya kadar yapılan ölçüm T=0'a kadar uzatılarak ρ_o direnç değerleri bulunabilir. Bu değerler Şekil 4.4'dan yararlanarak bulunmuş ve tablo 4.1'de gösterilmiştir.

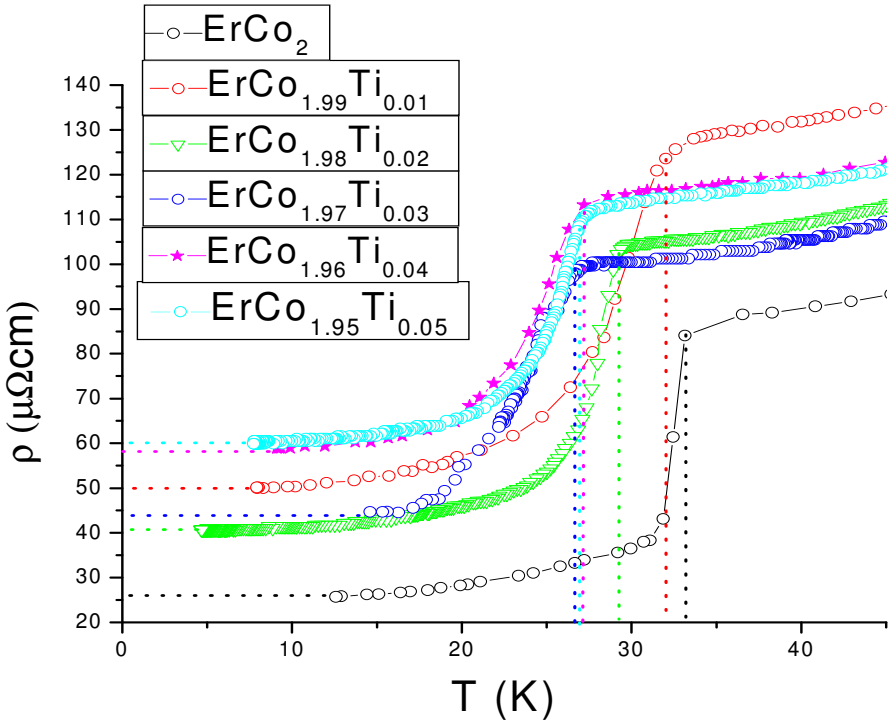
Ölçülen özdirenç değerini ρ_{deney} ile gösterirsek bir örnek için yaptığımız deneyi Matthiessen kuralıyla şu şekilde verebiliriz.

$$\rho_{deney}(T) = \rho_0 + \rho_{B-G}(T) + \rho_{mag}(T) \qquad (4.4)$$

Bu ifadede, magnetik katkının ne olduğunu bulmak için, yüksek sıcaklıklarda doğrusal davranış gösteren Bloch-Grüneisen bağıntısının ne olduğunu bulmak gerekir. Bu bağıntının hesaplanmasındaki ana neden, yüksek sıcaklıklarda elektron fonon etkileşmesinin daha etkin olduğunu kabul etmemizden kaynaklanır. Bu bağıntı, yüksek sıcaklıklar bölgesinde (150-200 K ve yukarısı) deneysel sonuçlardan

Tablo 4.1: Bütün örneklerin T_c sıcaklığı, mutlak sıfırda ve 0 ^oC'de ki özdirençleri

	$ErCo_2$	$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$
ρ_o ($\mu\Omega$cm)	26.1	49.9	40.8	43.8	58.3	60
ρ_{273}($\mu\Omega$cm)	180	262	201	180	185	200
T_c^{ρ} (K)	33	31.8	29	26.5	26,7	26.7



Şekil 4.4: Hazırlanan 6 örneğin 4.2-45 K arasındaki ρ-T grafiği

faydalanarak bir uyarlamayla (fitting) bulunabilir. Biz bu uyarlamayı Matlab ve Microcal Orijin isimli iki tane farklı bilgisayar programı kullanarak gerçekleştirdik.

Bu iki bilgisayar programı deneysel verilerin analizi için son derece uygun programlar olmakla birlikte doğrusal, parabolik ve üstel uyarlamada oldukça verimlidirler. Bunlara ek olarak hem Matlab hem de Microcal Orijin kendi içinde program yazmayı gerektirmeyen birçok algoritmayı barındırdığı için çok bilinmeyenli ve diferansiyel denklem çözme gibi birçok karışık hesabı yapabilir. Şimdi deneysel sonuçların yüksek sıcaklıklar bölgesinde gösterdiği doğrusal davranışın Bloch-Grüneisen eşitliğine nasıl uyarladığımızı ve buradan her bir örnek için magnetik katkının ne olduğunu araştıralım.

4.3.1.a. Bloch-Grüneisen Eşitliğinin Uyarlanması

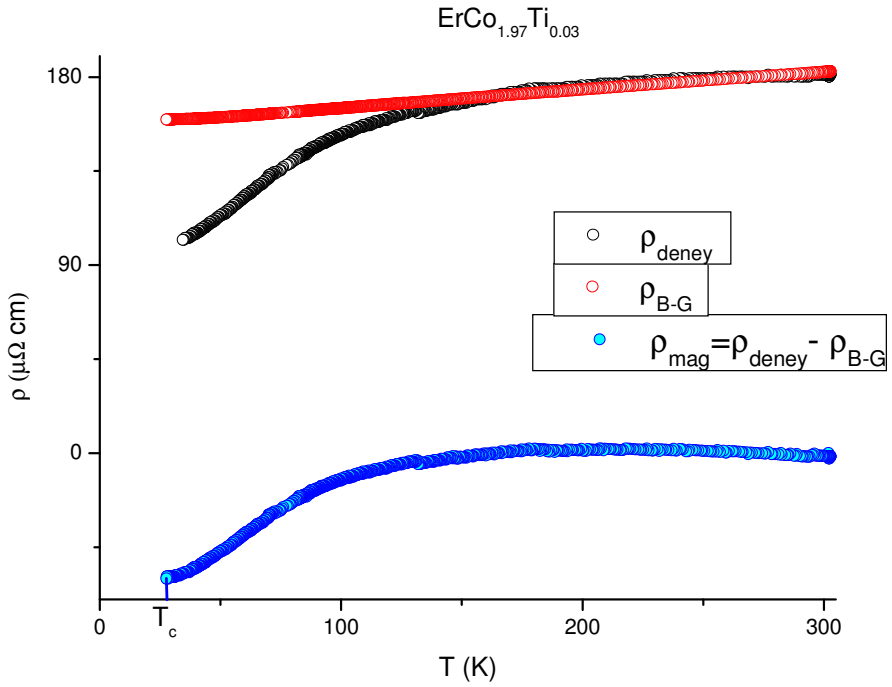
$$\rho_{B-G}(T) = 4C\left(\frac{T}{\theta_D}\right)^5 \int_0^{\frac{\theta_D}{T}} \frac{x^5\,dx}{(1-e^{-x})(e^x-1)} \tag{4.5}$$

4.5. eşitliği Bloch-Grüneisen bağıntısı olup [6], deneysel sonuçları uyarlamak için, θ_D Debye sıcaklığı, C elektron fonon etkileşme terimlerinin ne olduğu sorusuna cevap veren bir uyarlama gerekmektedir. Bu uyarlamalar Matlab'da ve Orijin'de ayrı ayrı yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Matlab'da bu uyarlama yapılırken deneysel sıcaklık verileri girdi olarak kullanılmış, θ_D Debye sıcaklığı dışarıdan girilmiş ve bu veriler için en küçük kareler (least square) yöntemi kullanılarak en iyi uyarlama yapılmıştır.

Şekil 4.5'te %3 Ti katkılı örnek için bu uyarlamanın deneysel sonuçlarla nasıl örtüştüğü ve magnetik katkının ne olduğu tek bir grafikte verilmiştir. Yalnız bu grafiklerde kritik sıcaklığın üzerinde (T_c) magnetik katkının hesabı yapılacağı için bu sıcaklıktan 4.2 K'ya kadar olan sıcaklık bölgesi hesaba katılmamıştır. Bu uyarlama diğer örnekler içinde aynen yapılmıştır. Tablo 4.2'de de bütün örneklerin bilgisayar programı ile uyarlanmış Debye sıcaklıkları verilmiştir. Tablo 4.2'de Debye sıcaklığının titanyum katkısıyla arttığı net bir şekilde görülmektedir.

Tablo 4.2: Bütün örneklerin uyarlanmış Debye sıcakları

	$ErCo_2$	$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$
θ_D (K)	260	261	262.5	264	277	280



Şekil 4.5: %3 Titanyum katkılı örnek için Bloch-Grüneisen ifadesinin deneysel veriye uyarlanması ve özdirence magnetik katkının bulunması

4.3.1.b. Özdirence Etkiyen Magnetik Katkının Kökeni

Magnetik katkının özdirence etkisini araştıran pek çok bilim adamı bu konuyla iligili olarak farklı öneriler ileri sürmüşlerdir. Fakat araştırmalar iki tane önemli olayın özdirence etkisinin ön planda olduğunu göstermiştir.

Bunlardan birincisi spin dalgalanmalarıdır (spin fluctuations). Spin dalgalanmaları paramagnetik bölgenin başladığı T_c kritik sıcaklığı ve bu sıcaklığın hemen üstündeki bölgeler için daha etkindir. Deneysel sonuçlar spin dalgalanmalarının özdirence etkisinin sıcaklığın karesiyle doğru orantılı (αT^2) olarak değiştiğini göstermiştir [9,10,12].

Diğer önemli katkı ise madde içindeki s ve d bandında bulunan elektronların birbirinden saçılmasıdır. Buna s-d saçılması denir ve özdirence katkısı ρ_{s-d} olarak gösterilir. s-d saçılması paramagnetik bölgenin daha yüksek sıcaklıklarında daha baskındır. s-d saçılmasının dirence katkısı hem T hem de T^3 ile orantılıdır [11].

Bu iki etkin ifadeyi göz önünde bulundurarak magnetik katkı için Matthiessen kuralını aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\rho_{mag}(T) = \rho_{sf}(T) + \rho_{s-d}(T) \tag{4.6}$$

Spin dalgalanmalarının ve s-d saçılmasının genel ifadeleri ise şu şekilde yazılabilir.

$$\rho_{sf}(T) = \alpha T^2 \tag{4.7}$$

$$\rho_{s-d}(T) = A + BT - CT^3 \tag{4.8}$$

Yukarıdaki bu ifadeler ışığında magnetik özdirenç, yeni şekli ile şu şekilde olur.

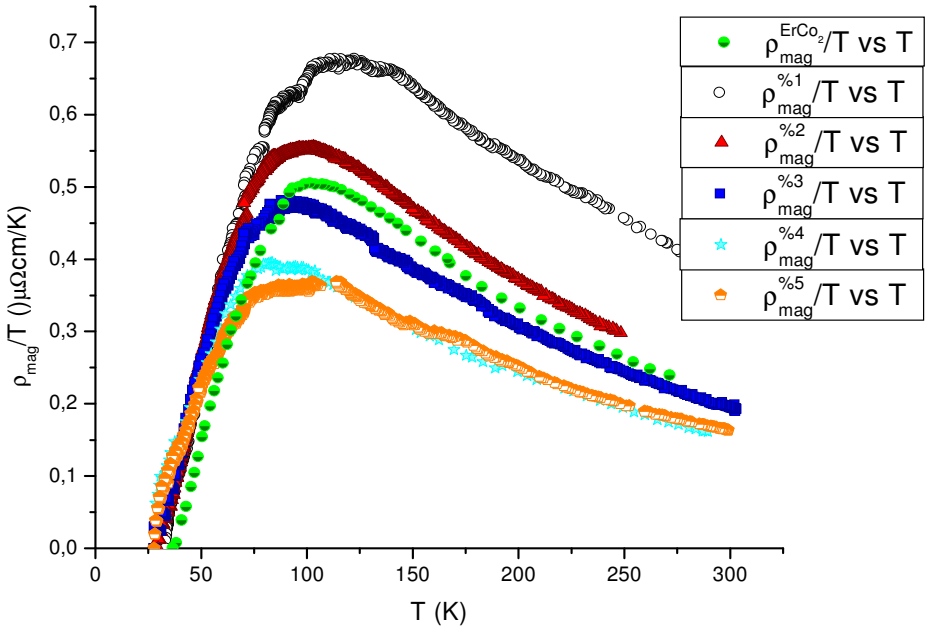
$$\rho_{mag}(T) = \alpha T^2 + A + BT - CT^3 \tag{4.9}$$

Yaptığımız ölçümler 4,2-300 K arasında olsa da magnetik katkının etkilerini her bir örnek için o örneğe ait kritik sıcaklık ve üst sıcaklık bölgeleri için incelenmiştir. α, A, B ve C katsayılarıda en iyi uyarlamalar yapılarak bulunmuştur. Bunun için hesaplamaların ilk adımı $\rho_{mag}(T=T_c)=0$ durumundan başlayarak A sabitini bulmak olmuştur. Daha sonra ρ_{mag}/T hesaplanmış ve ρ_{mag}/T nin T ve T^2 ile değişimini gösteren grafiklerden α, B ve C hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların sonucu tablo 4.3'te verilmiştir.

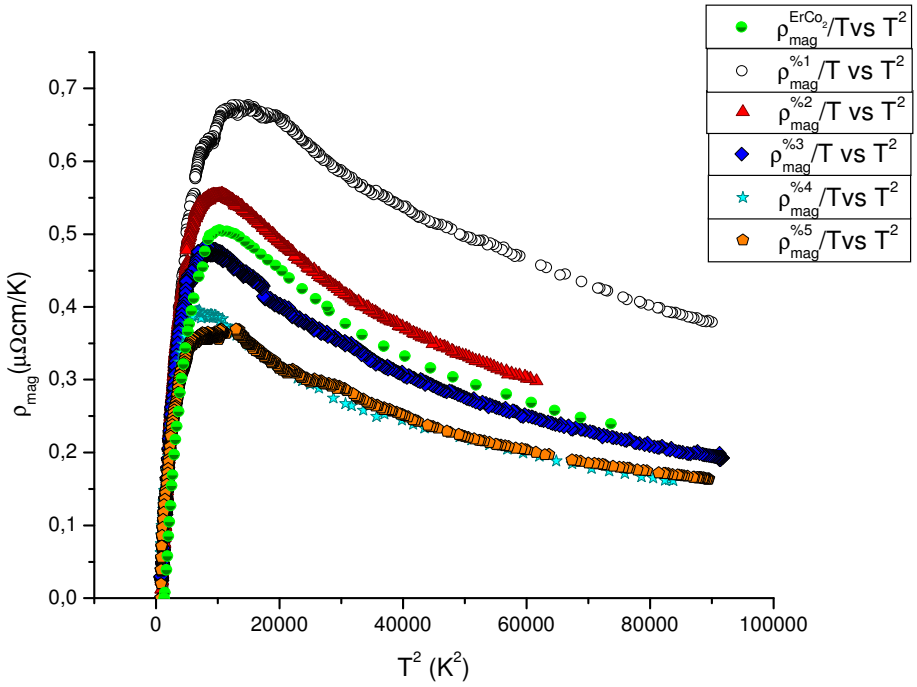
$$\frac{\rho_{mag}(T)}{T} = \alpha T + B - CT^2 \tag{4.10}$$

Tablo 4.3: Bütün örneklere ait uyarlanmış α, A, B, C sabitleri

	α (μΩcm/K^2)	A (μΩcm)	B (μΩcm/K)	C (μΩcm/K^3)
$ErCo_2$	11,3 x 10^{-3}	65,88	594 x 10^{-3}	2,76 x 10^{-6}
$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	12,53 x 10^{-3}	113,69	860 x 10^{-3}	3,07 x 10^{-6}
$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	12,32 x 10^{-3}	74,08	698 x 10^{-3}	3,29 x 10^{-6}
$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	10,62 x 10^{-3}	60,02	517 x 10^{-3}	1,74 x 10^{-6}
$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	7,6 x 10^{-3}	45,66	418 x 10^{-3}	1,50 x 10^{-6}
$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$	7,2 x 10^{-3}	49,31	375 x 10^{-3}	1,28 x 10^{-6}



Şekil 4.6: Bütün örneklerin üst üste çizilmiş ρ_{mag}/T-T grafiği



Şekil 4.7: Bütün örneklerin üst üste çizilmiş ρ_{mag}/T-T^2 grafiği

5. MAGNETİZASYON ÖLÇÜMLERİ

5.1. $ErCo_2$ Bileşiğinin Magnetik Özellikleri

Nadir toprak elementleri ile kobaltın yaptığı bileşikler (RCo_2) ilginç magnetik özellikler gösterir. Bu tür intermetalik bileşiklerde nadir toprak elementinin alt örgüsü kobaltın momentini tetikleyici bir etki yaratır. Bu etki bazı bileşiklerde 1. dereceden faz geçişine sebep olur.

$ErCo_2$'deki erbiyumun 4f bandının magnetik momenti T_c=33 K'nin altında ferromagnetiktir. Kobaltın 3d bandı ise T_c=33 K da magnetik momente sahip değildir. $ErCo_2$ bileşiği T_c sıcaklığa kadar soğutulduğunda, erbiyumda ferromagnetik olan 4f momentleri kobaltın 3d bandına dış bir magnetik alan uygulamaktadır. Bu alan kobaltın 3d bandını yarmaya başladığı zaman, kobalttaki spinler aynı yöne doğru sıralanarak bir düzen oluştururlar ve dış etki ile moment kazanan kobaltta 1. dereceden faz geçişi görülür. Sonuç olarak kobalttaki spinlerin düzenlenmesi indüklenerek ortaya çıkmış olur. Bu geçiş süreci $T \leq T_c$ ve dış bir magnetik alan yokken gerçekleşir [5,13].

$ErCo_2$'ye ek olarak $HoCo_2$'de T=75 K ve $DyCo_2$'de T=140 K'de buna benzer bir magnetik faz geçişi vardır [14]. Ayrıca bu malzemeler kritik sıcaklığın üzerinde, belirli bir magnetik alan altında metamagnetik bir faz geçişi gösterir. Metamagnetik geçişi ilerleyen bölümlerde daha ayrıntılı olarak inceliyeceğiz

5.2. Örneklerin Ölçüm Sonuçları

Çalışmamızda bu faz geçişinin kökenini anlamak için her örnekte faz geçişinin başladığı T_c sıcaklığı 50 Oe alanlı ve alansız soğutma ile bulunmuş, bu sıcaklık altındaki ferrimagnetik durumlar için 5,10, 20 K'de histerisis ölçümleri yapılmıştır ve bütün örneklerin M_s doyum mıknatıslanması, M_r kalıcı mıknatıslanması ve H_c

mıknatıslanmayı engelleyici alan verileri hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak bazı örneklerde T_c'nin hemen üstündeki metamagnetik durum için bazı sıcaklık değerlerinde M-H grafiğinin ölçümleride yapılmıştır.

5.2.1. Alanlı ve Alansız Soğutma Ölçümleri (FC-ZFC)

50 Oe'lik alan altında ve alansız olarak mıknatıslanması ölçülen örneklerin grafikleri EK C deki grafiklerde verilmiştir. Bu grafiklerden yararlanarak faz geçişinin gözlemlendiği sıcaklıklar ve doyum mıknatıslanma değerleri tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Örneklerin M-T grafiklerinden bulunan kritik sıcaklık ve doyum mıknatıslanma değerleri

	$ErCo_2$	$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$
T_c^{mag} (K)	33	31.5	27	25	24.5	25.4
M_r (emu/gr)	1.95	1.78	2	2.04	1.63	1.99

5.2.2. Kritik Sıcaklık Altında Örneklerin Histerisis Ölçümleri

5.2.2.a. T=5 K daki ölçümler

T=5 K'deki ölçümler EK D deki grafiklerdeki verilmiştir. Her örneğe ait T=5 K'deki doyum mıknatıslanması M_s, kalıcı mıknatıslanması M_r ve mıknatıslanmayı engelleyici alan H_c'de tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: T=5 K daki bütün örneklerin H_c, M_s ve M_r değerleri

	H_c (Oe)	M_s (emu/gr)	M_r (emu/gr)
$ErCo_2$	1033	118,6	35,7
$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	1300	99,5	48,2
$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	1400	101,7	37,3
$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	1600	105	65,6
$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	2000	113	59,1
$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$	2100	113,1	69,1

5.2.2.b. T=10 K daki ölçümler

T=10 K'deki ölçümler EK E deki grafiklerde verilmiştir. Her örneğe ait T=10 K'deki doyum mıknatıslanması M_s, kalıcı mıknatıslanması M_r ve mıknatıslanmayı engelleyici alan H_c'de tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3: T=10 K daki bütün örneklerin H_c, M_s ve M_r değerleri

	H_c (Oe)	M_s (emu/gr)	M_r (emu/gr)
$ErCo_2$	770	118	27,5
$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	960	99,3	37,6
$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	980	102	43,9
$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	1150	106,7	52,8
$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	1380	113	43,4
$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$	1420	113,3	53,1

5.2.2.c. T=20 K daki ölçümler

T=20 K'deki ölçümler EK F deki grafiklerde verilmişitr. Her örneğe ait T=10 K'deki doyum mıknatıslanması M_s, kalıcı mıknatıslanması M_r ve mıknatıslanmayı engelleyici alan H_c'de tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4: T=20 Kde bütün örneklerin H_c, M_s ve M_r değerleri

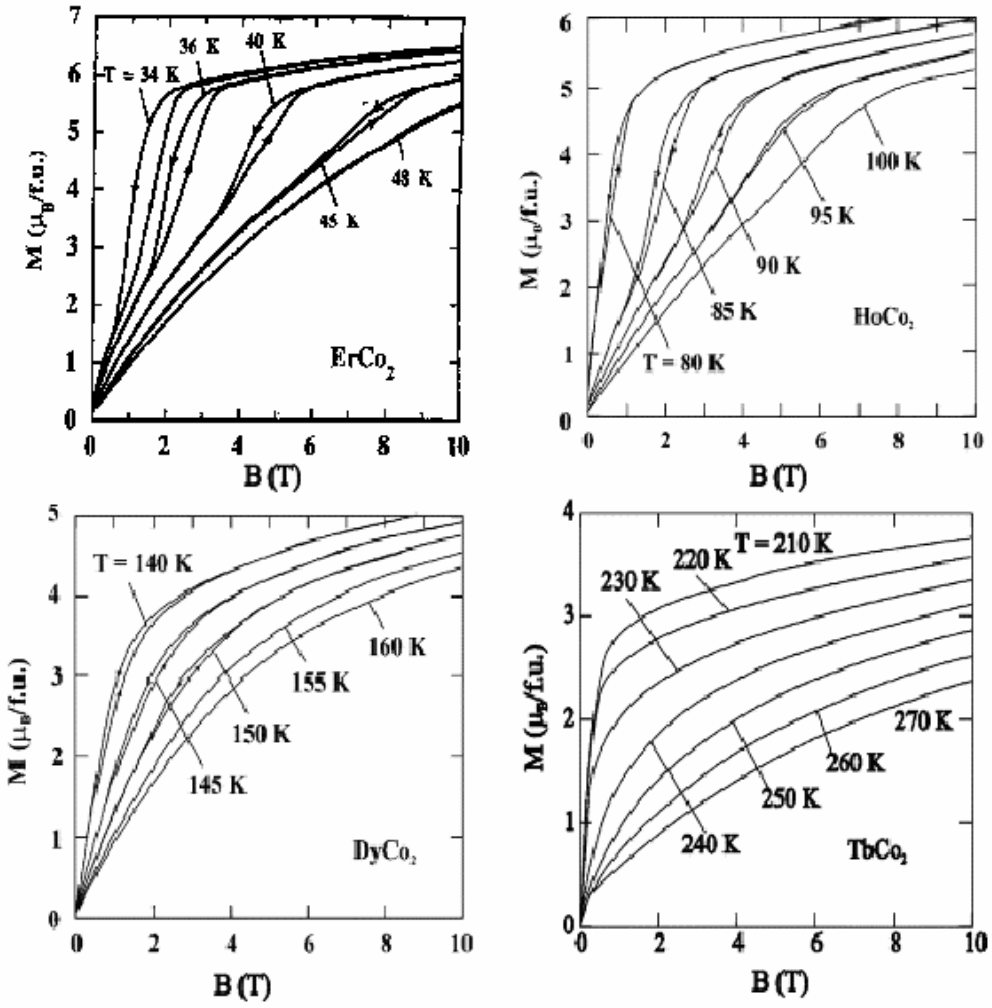
	H_c (Oe)	M_s (emu/gr)	M_r (emu/gr)
$ErCo_2$	581	117,6	20,6
$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	650	98,2	27,2
$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	620	102,2	29,1
$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	670	106,5	34,5
$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	815	111	26,3
$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$	805	111,2	32,6

5.2.3. Metamagnetizma

Metamagnetizma, T_c kritik sıcaklığın hemen üstünde paramagnetik durumda sabit bir sıcaklıkta ve belirli bir dış magnetik alanda, maddenin ferrimagnetik bir davranış sergilemesidir. Ama bu davranış dış magnetik alan ne kadar büyük olursa olsun T_c'nin üstünde her sıcaklık değeri için gözlenmez. T_c'nin en fazla 20 K yukarısındaki bir sıcaklık değeri için metamagnetizma gözlenmektedir. Belirli bir sıcaklıktan sonra magnetik alan ne kadar arttırılsa da metamagnetik geçiş gözlemlenmemektedir. Metamagnetizmanın başlayabilmesi için belirli bir kritik dış magnetik alan (B_c) değeri vardır. Deneysel sonuçlar, metamagnetizmanın başladığı B_c ile ölçüm yapılan sıcaklık değerinin doğrusal olarak değiştiğini göstermiştir [15]. Ayrıca şekil 5.1'de $ErCo_2$, $HoCo_2$, $DyCo_2$ ve $TbCo_2$'nin kritik sıcaklığın hemen üstündeki bazı sıcaklık değerleri için deneysel M-H grafikleri verilmiştir [14]. Şekil 5.1'de $ErCo_2$'ye ait T=34, 36, 40, 45 ve 48 K daki M-H eğrilerinde değişimin nasıl olduğu net bir şekilde

görülmektedir. T=34 K'da daha geniş M-H eğrisi varken T=48 K'da metamagnetik geçiş yok olmaktadır.

$ErCo_2$'de metamagnetik durumun gözlenmesinin sebebi şudur; Kritik T_c sıcaklığının üstünde erbiyumun alt örgüsünde bulunan elektronların kobaltın alt örgüsündeki elektronlar üzerinde oluşturduğu etkin magnetik alan kobalttaki elektronları magnetik düzene sokacak büyüklükte değildir. Sisteme bir dış magnetik alan uygulandığında kobalt alt örgüsündeki elektronlar manetik düzen gösterir ve bu da T_c



Şekil 5.1: $ErCo_2$, $HoCo_2$, $DyCo_2$ ve $TbCo_2$'nin kritik sıcaklığın hemen üstündeki bazı sıcaklık değerleri için deneysel M-H grafikleri [14]

üstünde bir faz geçişi yaratır. Bu geçiş metamagnetik durum olarak adlandırılır ve M-H grafiği (S şekline benzeyen) farklı bir histerisis eğrisi gösterir.

5.2.3.a. Metamagnetik Ölçümler

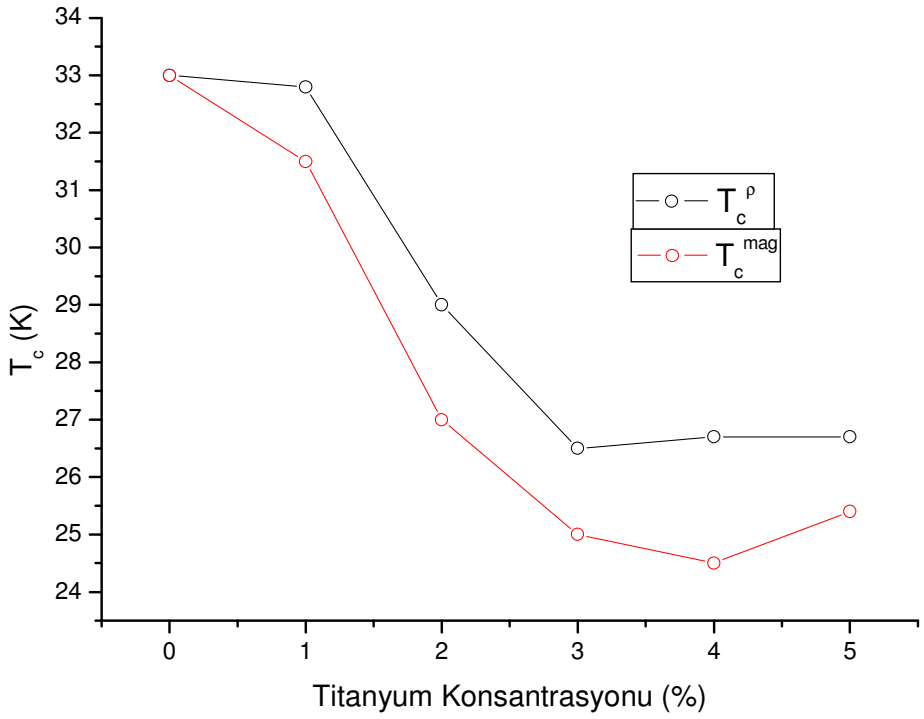
Metamagnetik ölçümler titanyum katkılı örnekler için T=30, 40 ve 300 K da yapılmıştır. Ölçüm sonuçları EK G deki grafiklerde verilmiştir. Bu grafiklerde %1 titanyum katkılı örnek için T=30 K da histerisis gözlenirken, diğer titanyum katkılı örnek aynı sıcaklıkta metamagnetik durum sergilemektedirler. Bu da bize titanyum katkısıyla faz geçişinin düşük sıcaklıklara kaydığını ve özdirenç ölçümleriyle bulunan T_c^{ρ} nin, mıknatıslanma ölçümleriyle bulunan T_c^{mag} ın uyum içinde olduğunu gösterir.

5.2.4. Kritik Sıcaklıkların Karşılaştırılması

Çalışmamızla ilgili olarak, örneklerin özdirenç ölçümlerinden elde edilen kritik sıcaklık değerleri ile, mıknatıslanma ölçümlerinden elde edilen kritik sıcaklık değerlerinin bir değerlendirmesini yapmamız gerekirse, bu iki sıcaklık değerinin örneklerle uyum içinde olduğu söylenebilir. Tablo 5.5'te bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 5.5: Deney sonuçlarından elde edilen kritik sıcaklık değerleri

	$ErCo_2$	$ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$	$ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$	$ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$	$ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$	$ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$
T_c^{ρ} (K)	33	32.8	29	26.5	26,7	26.7
T_c^{mag} (K)	33	31.5	27	25	24.5	25.4



Şekil 5.2: Deney sonuçlarından elde edilen kritik sıcaklıkların grafikleri

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ark eritmeli fırını kullanılarak intermetalik $ErCo_{(2-x)}Ti_x$ (x= 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, ve 0.05) bileşikleri hazırlanmıştır. Katkılanan non-magnetik Titanium safsızlık atomlarının örneklerin elektriksel özdirenç ve mıknatıslanmaları üzerindeki etkileri araştırılmıştır . Elde edilen sonuçlar şunlardır:

1. Örneklerin X-ışını spektrumları alınmış ve X'pert ve FullProf programları kullanılarak, kristal yapıları ve uzay simetri grupları belirlenmiştir. Örneklerin tümünün kübik yapıda ve (fd3m) uzay simetri grubunda kristalleştiği görülmüştür. $ErCo_2$ nin örgü parametresi a=7.14 A olarak saptanmıştır. Örgü sabiti a'nın %4 titanyum katkılı örneğe kadar düzgün olarak arttığı ve %4 ve %5 titanyum katkılı örneklerde fazla bir değişimin olmadığı gözlenmiştir.

2. Özdirenç ölçümleri 4-300 K sıcaklık aralığında DC dört nokta yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Örneklerin tümü metalik davranış göstermiştir. Yüksek sıcaklıklarda elektriksel direnç sıcaklıkla hemen hemen lineer olarak artmaktadır. Bu davranış, elektriksel dirençte elektron-fonon etkileşmelerinin başat olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Bu etkileşmeler için iyi bilinen Bloch-Grüneissen fonksiyonu kullanılmıştır. Bu ifade deneysel verilere uyarlanarak Debye sıcaklıklarının değerleri elde edilmiştir. Debye sıcaklığının titanyum konsantrasyonuyla, $ErCo_2$ için 260 K den başlayarak, %5 katkılı örnek için 280 K ye kadar arttığı gözlemlenmiştir. Titanium atomları kobalt atomlarından daha hafif olduğundan, Debye sıcaklıklarının titanium konsantrasyonu ile artması beklenen bir sonuçtur.

3. Bütün örneklerin özdirenç ölçümlerinde belli bir sıcaklıkta keskin bir düşüş yaparak faz geçişleri sergilemiştir. Bu sıcaklık değerlerinde, örnekler paramagnetik fazdan ferrimagnetik faza birinci mertebeden faz geçişi yapmaktadır. Bu kritik sıcaklık Curie sıcaklığı olarak bilinmektedir. T_c sıcaklığı $ErCo_2$ için 33 K iken titanyum katkısındaki artışla bu sıcaklık değerleri azalmaktadır. Titanyum katkısındaki artışın örğü parametresini arttırmasıyla birlikte bu geçiş

sıcaklıklarındaki değerlerinde de bir artma beklenirken, bu örneklerde aksi bir davranış gözlenmiştir. Bu farklı davranış, spin dalgalanmalarının faz geçişleri üzerinde daha etkin rol oynadığını işaret etmektedir.

4. Özdirenç ölçümlerinden, ara sıcaklık bölgesinde s-d elektron saçılmalarının önemli bir katkı getirdiği varsayılmıştır. Düşük sıcaklıklarda ise yerlelik f-elektronlarının spin dalgalanmalarının etkin olduğu öngörülmüştür. Bu nedenle, elektriksel iletkenliğe magnetik katkının sıcaklıkla değişimini ortaya koymak için, deneysel ölçülen elektrisel özdirenç değerlerinden elektron-fonon katkısı ve artık özdirenç değerleri arındırılarak ρ_{mag} hesaplanmıştır. ρ_{mag} ın T'ye ve T^2 'ye göre grafikleri çizdirilerek ara sıcaklık ve kritik sıcaklığın üstündeki düşük sıcaklık bölgelerinde spin dalgalanmalarının ve s-d saçılmalarının başat olduğu sıcaklık aralıkları tesbit edilmiştir. Spin dalgalanma etkilerinin artan titanyum konsantrasyonu dar bir sıcaklık bölgesine sıkıştığı ve s-d saçılma mekanizmalarının daha geniş bir sıcaklık aralığına yayıldığı görülmüştür.

5. Bütün örneklerin 4-100 K sıcaklık aralığında 50 Oe alanlı ve alansız soğutma halleri için mıknatıslanma değerleri sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Mıknatıslanma eğrilerinde, özdirenç ölçümlerine benzer şekilde, Curie sıcaklığında bir özellik vermiştir: alanlı soğutma mıknatıslanma eğrisinde hızlı bir artış, alansız soğutma eğrisinde ise keskin bir maksimum gözlenmiştir. Bu verilerden yararlanarak $ErCo_2$ nin 33 K de 1. dereceden magnetik fazgeçişi yaptığı gözlemlenmiştir. Titanyum katkılı diğer örnekelerde sırasıyla 31.5 K, 27 K, 25 K, 24.5 K ve 25.4 K sıcaklıklarında 1. dereceden faz geçişi göstermiştir. Titanyum katkısıyla örneklerdeki magnetik faz geçiş sıcaklığının düşüşü özdirenç ölçümleri ile uyuşmaktadır.

6. Örneklerin 5, 10 ve 20 K da 0- 30 kOe magnetik alan aralığında M-H ölçümleri yapılmıştır. Titantum katkısı koersivitenin ve kalıcı mıknatıslanmanın arttığı gözlenmiştir. Doyum mıknatıslanma değerlerinde ise; %1 lik örnek için sert düşüş yaparen, daha yüksek Ti konsantrasyon değerlerinde (%2, %3, %4 ve %5 Ti konsantrasyonlarında) yavaşça bir artma gözlenmiştir.

7. Ayrıca, bazı örneklerin kritik sıcaklık bölgesinin hemen üstündeki sıcaklık değerleri için M-H eğrileri ölçülmüş ve burada metamagnetik bir davranış göze çarpmıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Wiley, J.,** 1985. Electric Furnace Steel Production, Etterich, Pöckinger, New York

[2] http://www.impactscan.org/images/straton.jpg

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity

[4] **Kittel, C.,** 1996. Introduction to Solid State Physics, 6th edition, John Wiley & Sons, Inc.

[5] **Wada, H., Tomekawa, S., Shinga, M.,** 1999. Magnetocaloric properties of a first order magnetic transition system $ErCo_2$, *Cryogenis,* **39**, 915-919

[6] **Gratz, E.,** 1980. The electrical resistivity of rare earth intermetallic compounds.

[7] **Buschow, K.H.J.,** 1999. Handbook of Magnetic Materials, Elsevier, Amsterdam.

[8] **Hauser, R., Bauer, E., Gratz, E., Müller, H., Rotter, M., Hilsher, G., Markosyan, A.S., Kamishima, K., and Goto, T.,** 2000. Decoupling of magnetic ordering of the rare-earth and Co sublattice in $Er_{1-x}Y_xCo_2$ compounds driven by substition or presure, *Physical Review B*, 61, 2.

[9] **Markosyan, A.S., Hauser, R., Galli, M., Bauer, E., Gratz, E., Hilscher, G., Kamishima, K., Goto, T.,** 1998. Field and pressure dependence of itinerant electrons metamagnetism in $Er_{1-x}Y_xCo_2$, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **185,** 235-237

[10] **Oner, Y., Kamer, O., Alveroglu, O.,** 2006. Low field magnetic-properties of $ErCo_2$ intermetallic compound, *Journal of Alloy and Compounds* **424**, 60-66

[11] **Suresh, K.G., Rama Rao, K.V.S.,** 1996. Electrical resistivity studies on $(Er_{1-x}Pr_x)_2Fe_{17}$, *Journal of Alloys and Compounds*, **238**, 90-94

[12] **Oner, Y., Kamer, O.,** 2007. Magnetic phase transition in Ti-doped $ErCo_2$ alloys, *Journal of Alloys and Compounds.*

[13] **Alveroğlu, E.,** 2003. Ark melting yöntemi ile intermetalik alaşımların hazırlanması ve sentezlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimlei Enstitüsü, İstanbul.

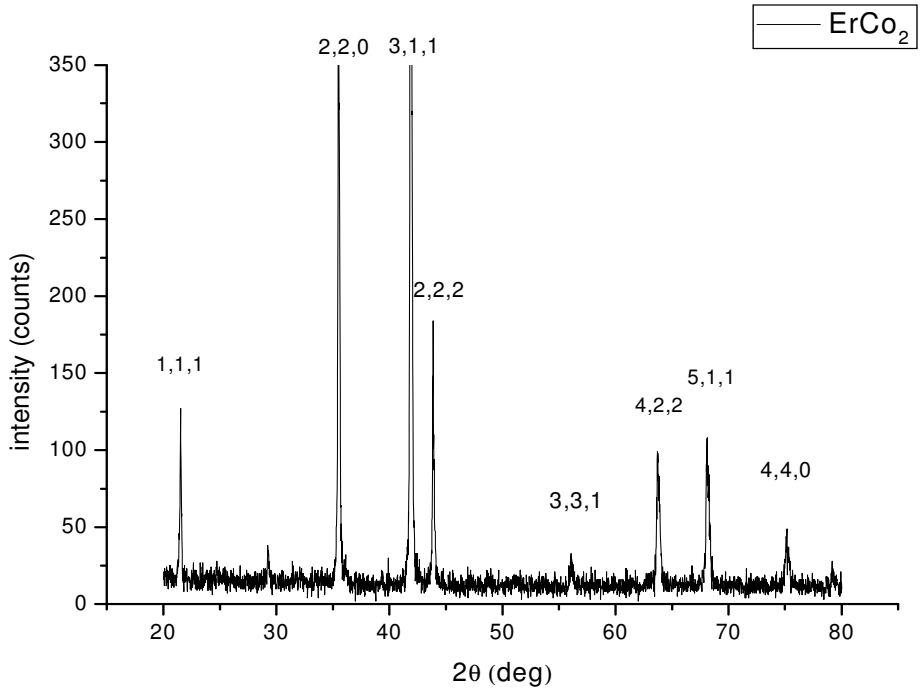
[14] **Duc, N.H., Kim Anh, D. T., Brommer, P.H.,** 2002. Metamagnetizm, giant magnetoresistance and magnetocaloric effects in RCo_2 based compounds in the vicinity of the Curie temparature, *Physica B,* 1-8

[15] **Baranov, N. V., Kozlov, A. I.,** *1992*. Magnetoresistance in $ErCo_2$ and $HoCo_2$ single crystals, *Journal of Alloys and Compounds* **190**, 3-86

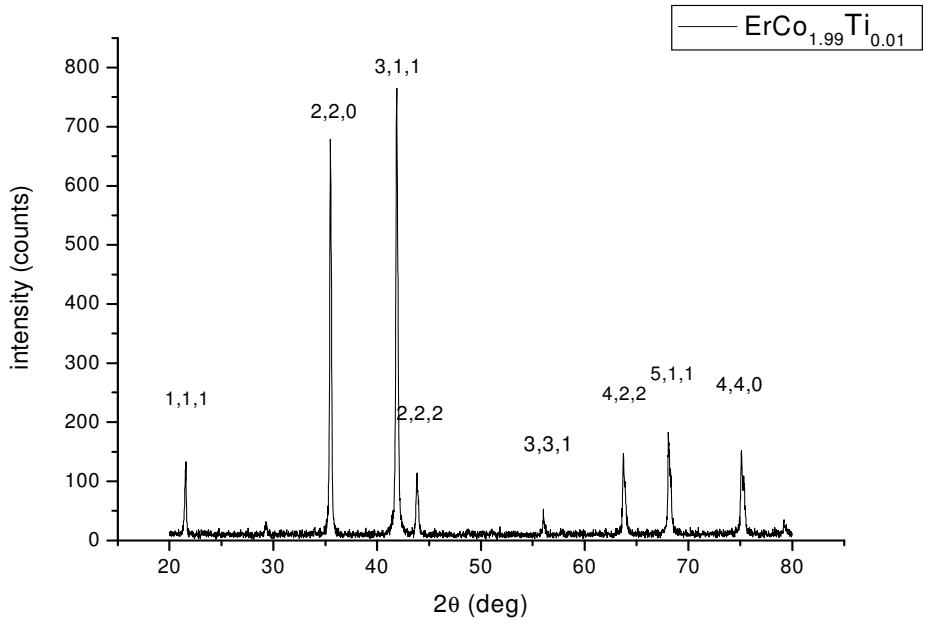
[16] **Wada, H., Tomekawa, S.,Shinga, M.,**1999. Magnetocaloric effect of $ErCo_2$, Journal of magnetism and magnetic materials, 196-197, 689-690

EKLER

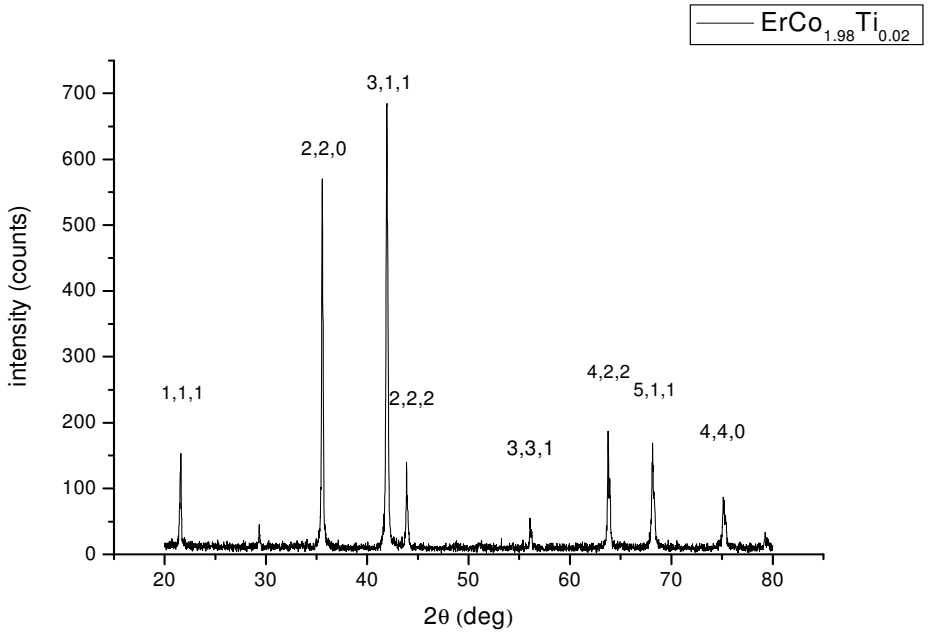
EK A. Bütün Örneklerin X-ışınları Analizi



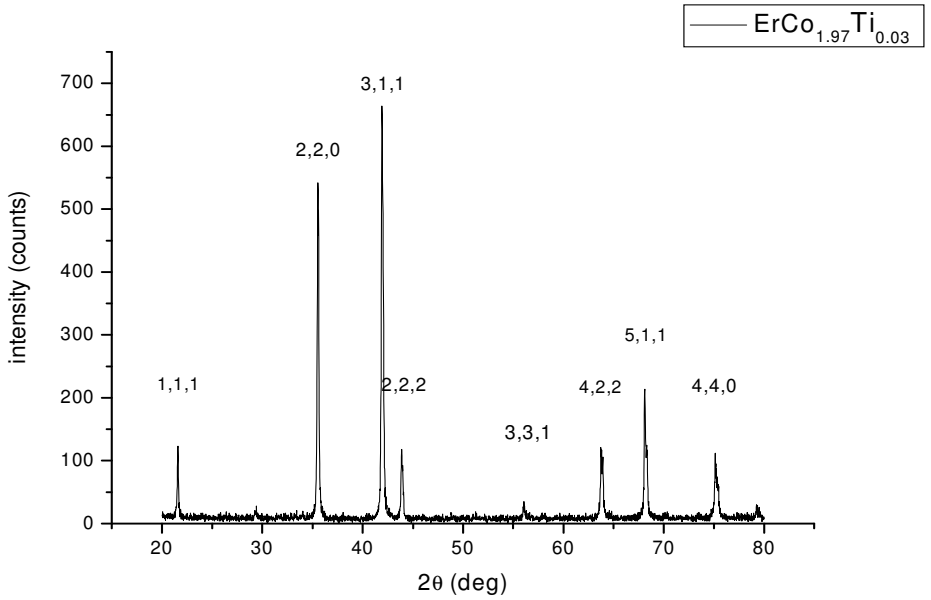
Şekil EkA.1: $ErCo_2$ bileşiğinin X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri



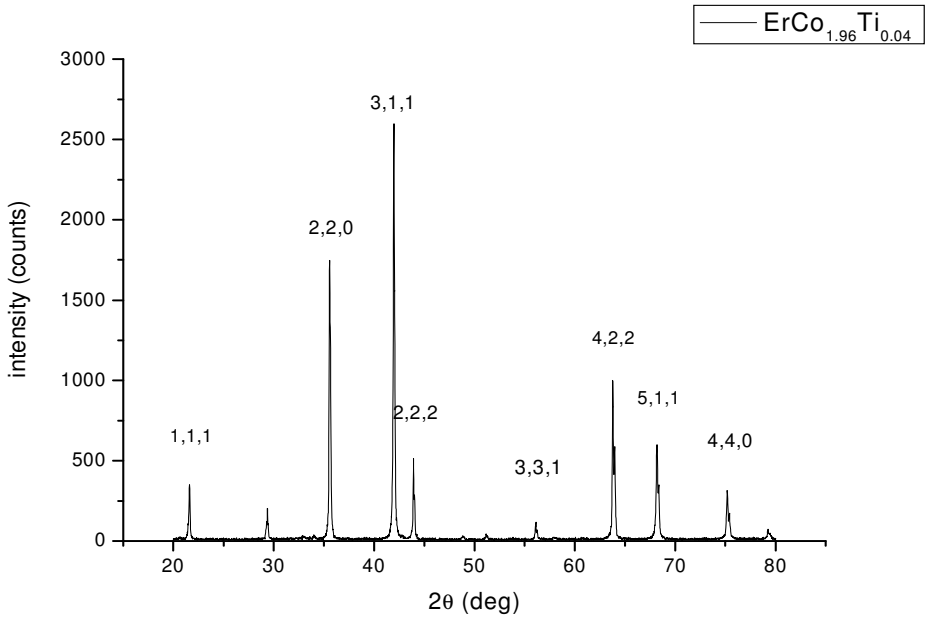
Şekil EkA.2: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri



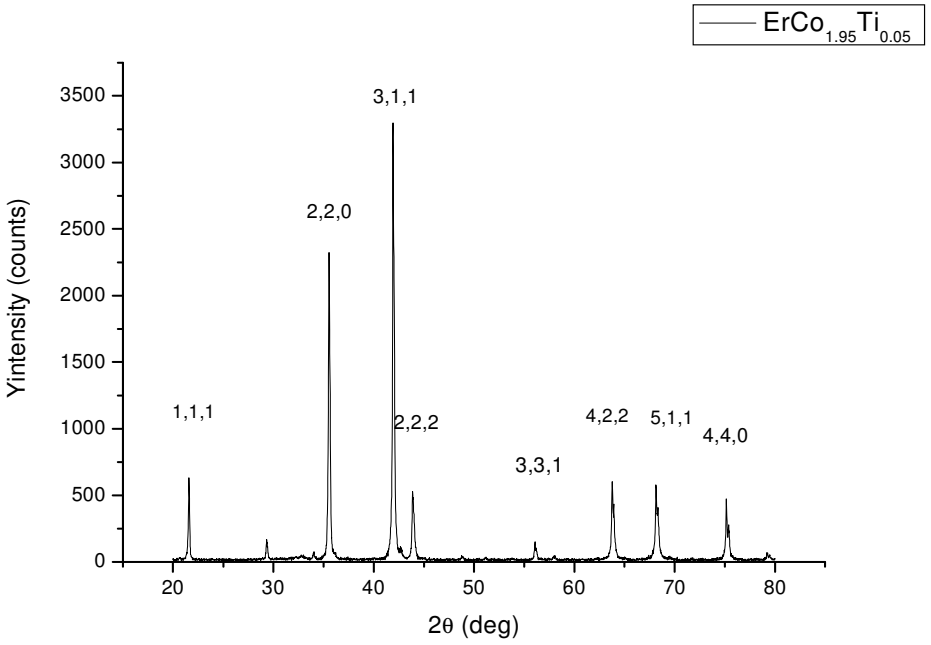
Şekil EkA.3: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri



Şekil EkA.4: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri

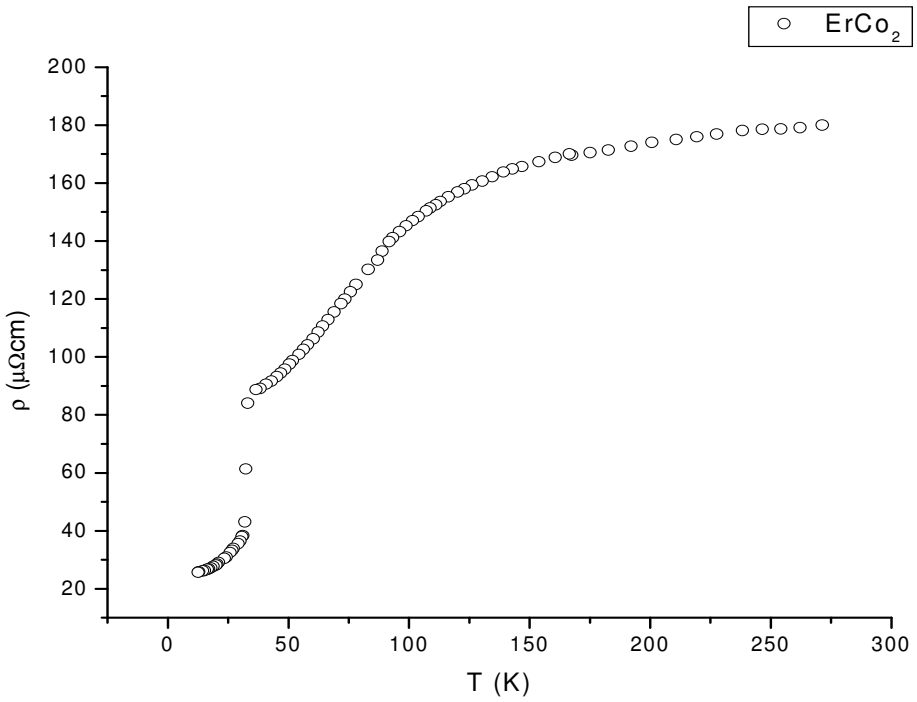


Şekil EkA.5: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri

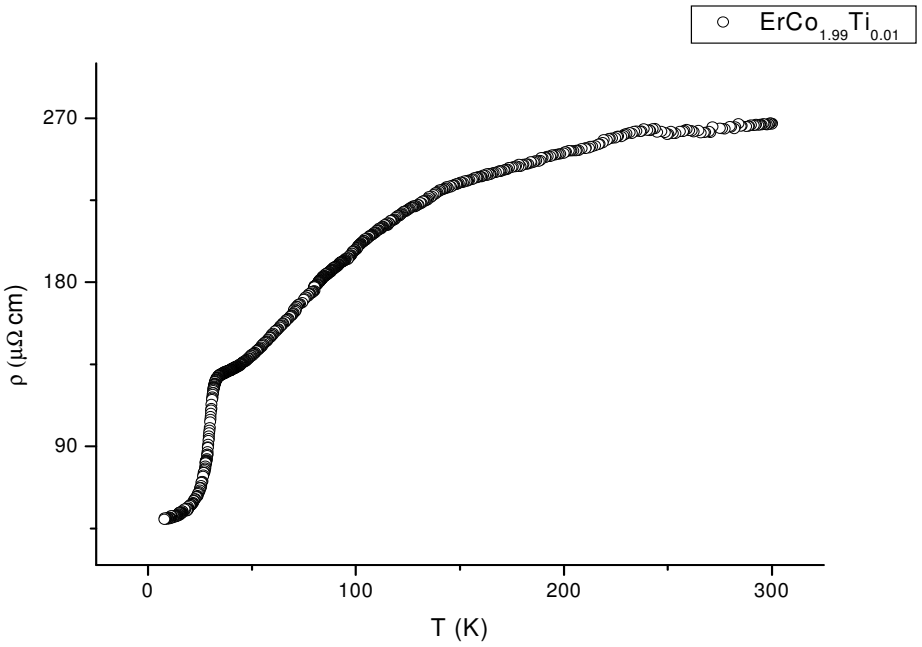


Şekil EkA.6: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in X-ışınları analizi ve ışınların hangi düzlemlerden saçıldıklarını gösteren miller indisleri

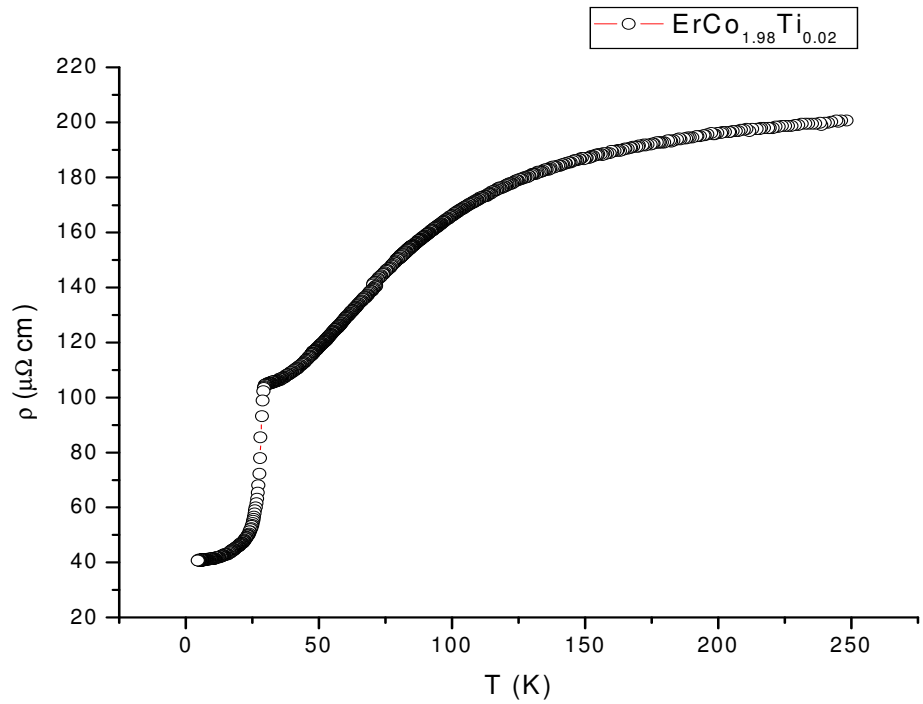
EK B. Örneklerin Özdirenç Ölçümünden Elde Edilen Sonuçlar



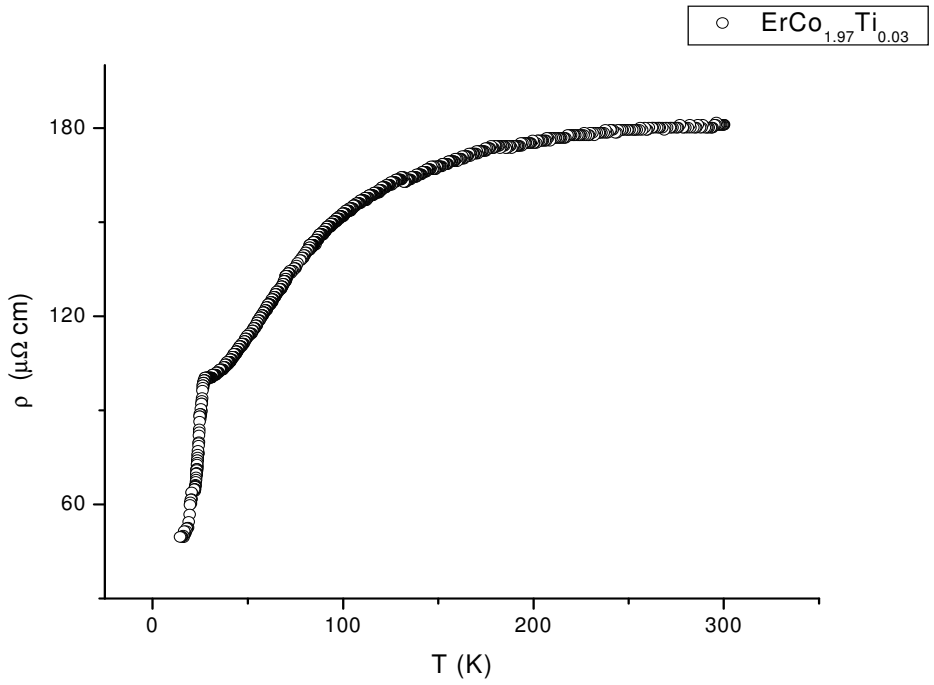
Şekil EkB.1: $ErCo_2$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği



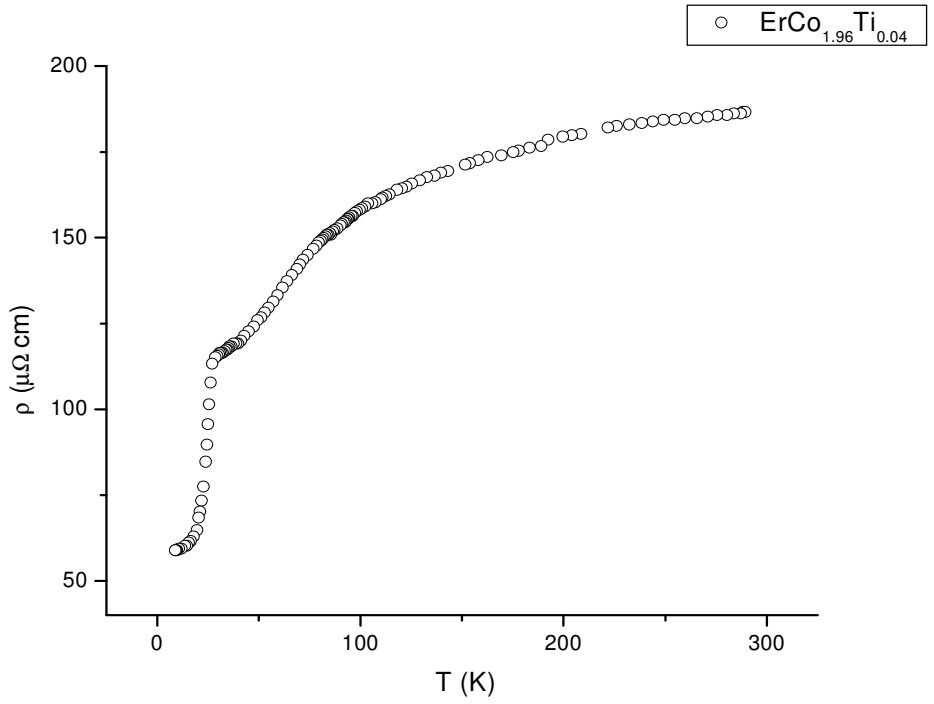
Şekil EkB.2: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği



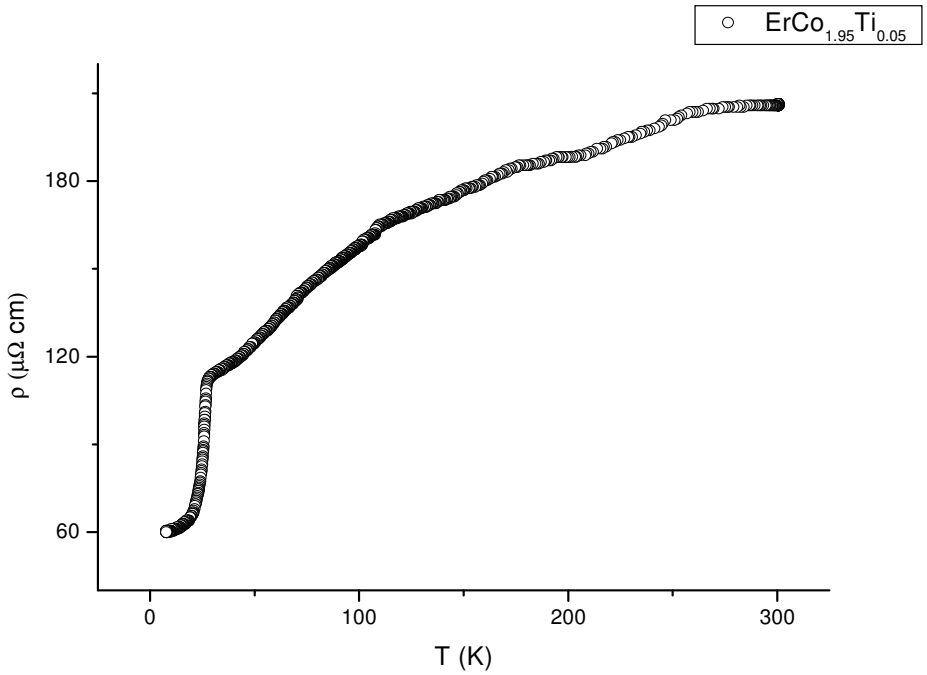
Şekil EkB.3: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ örneğinin 4.2-250 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği



Şekil EkB.4: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği

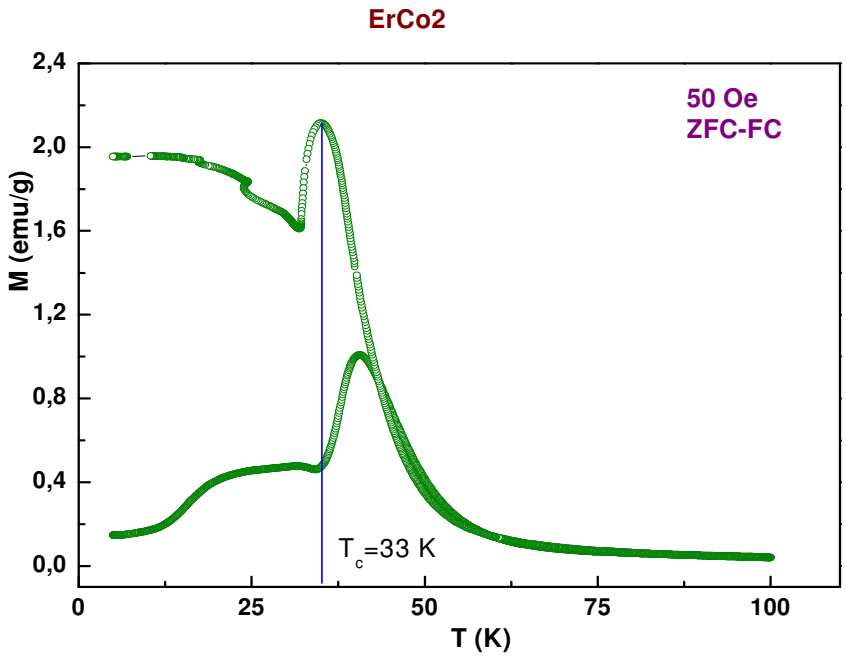


Şekil EkB.5: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği

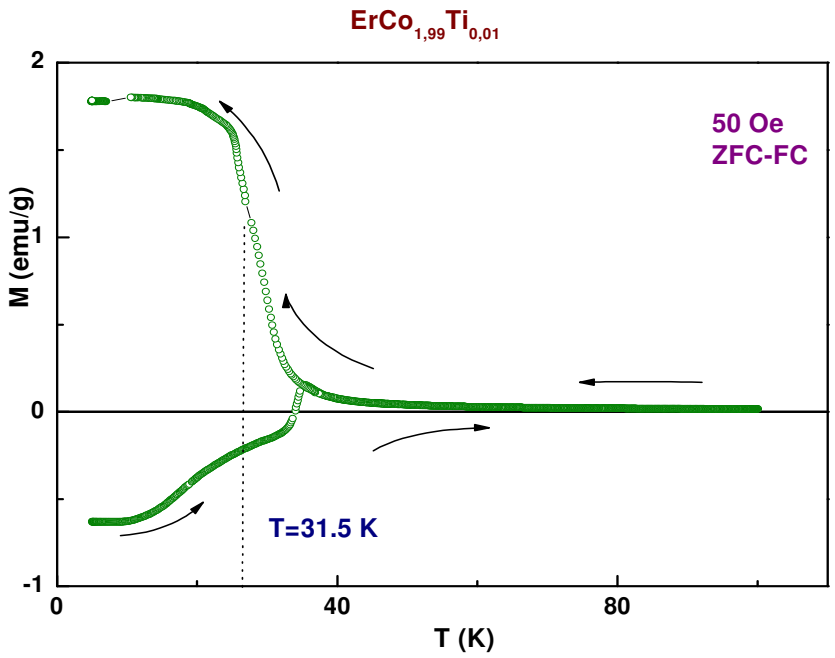


Şekil EkB.6: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ örneğinin 4.2-300 K arasındaki deneysel ρ-T grafiği

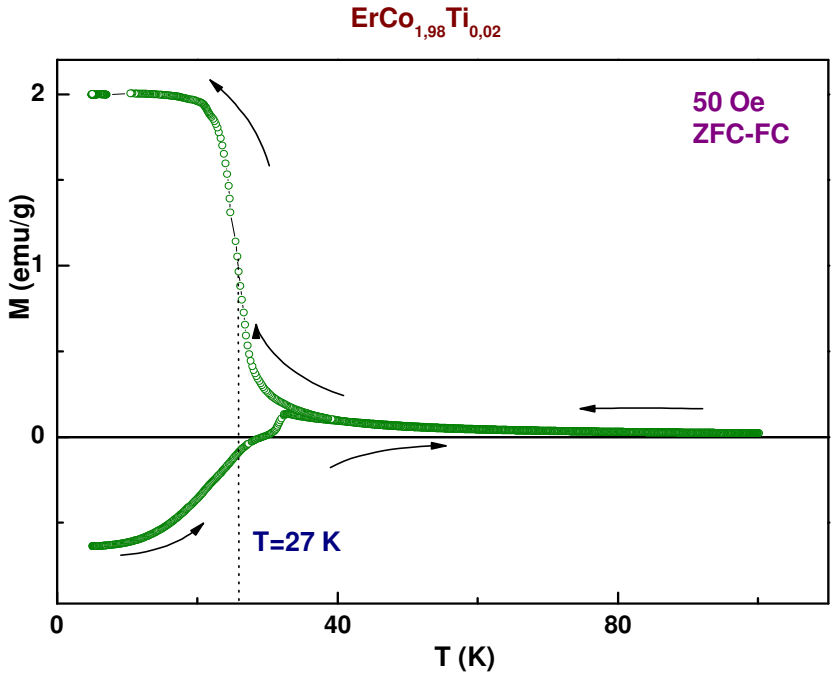
EK C. Örneklerin 4.2-100 K arasında 50 Oe Alanlı (FC) ve Alansız (ZFC) Soğutma Halleri İçin M-T Grafiklari



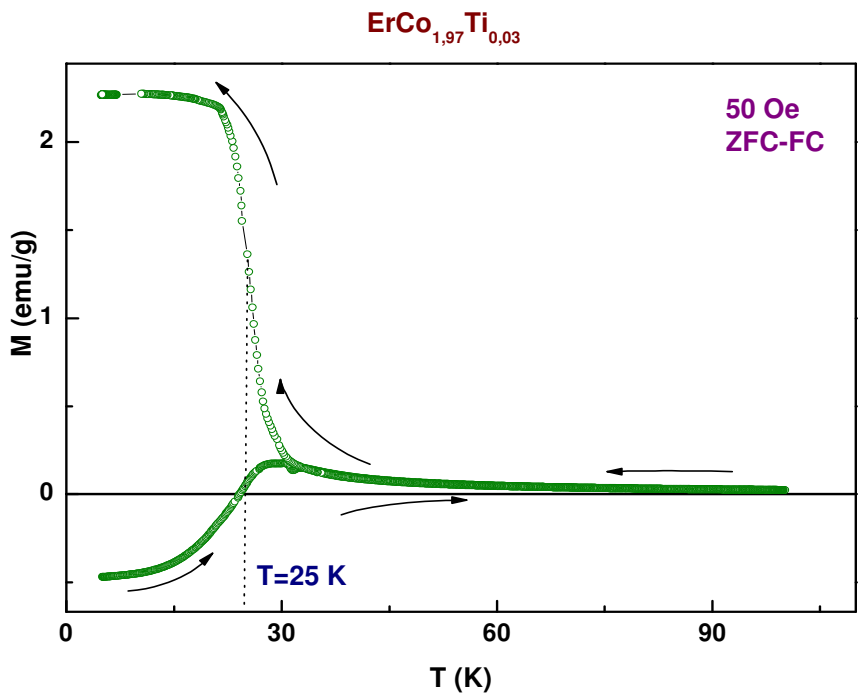
Şekil EkC.1: $ErCo_2$ nin Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi



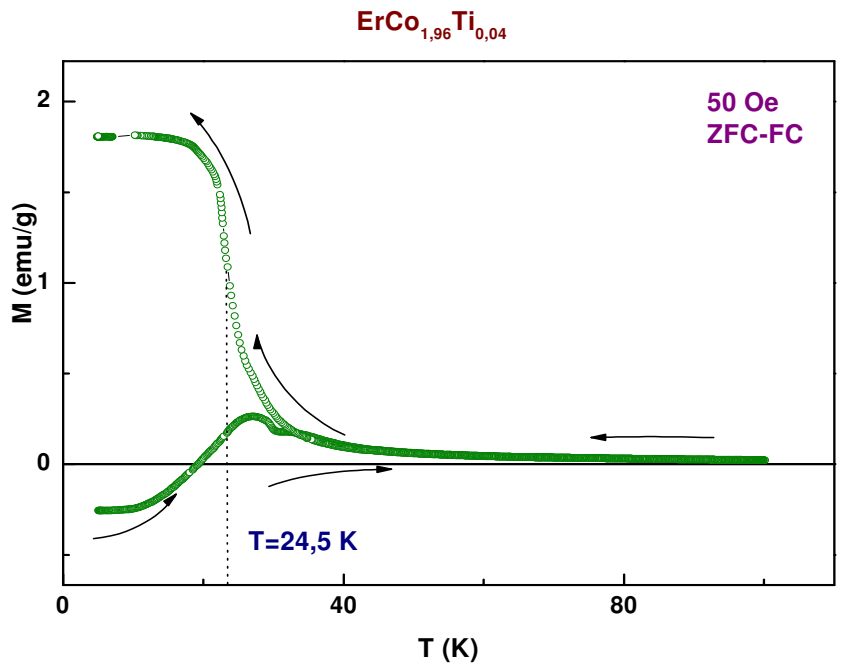
Şekil EkC.2: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi



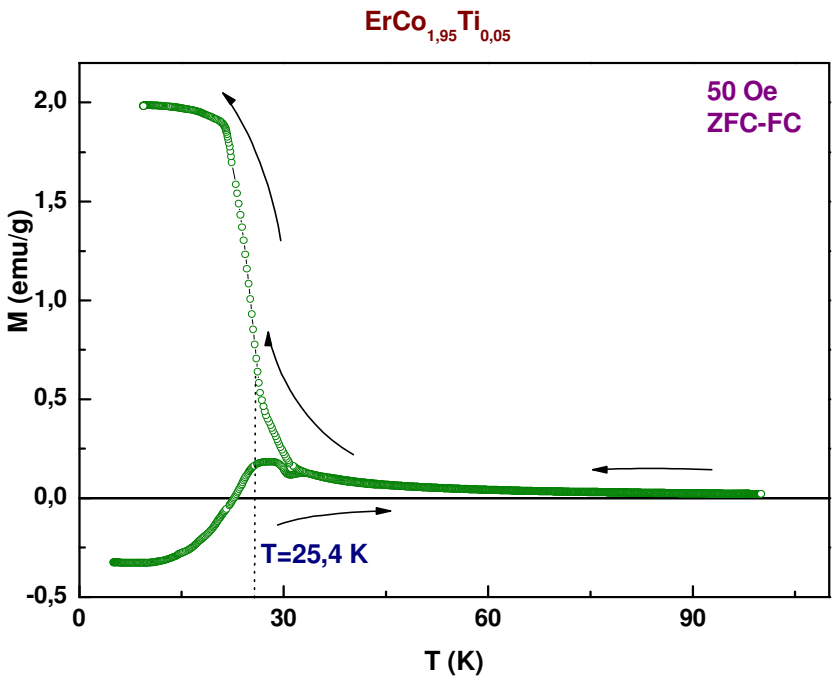
Şekil EkC.3: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi



Şekil EkC.4: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi

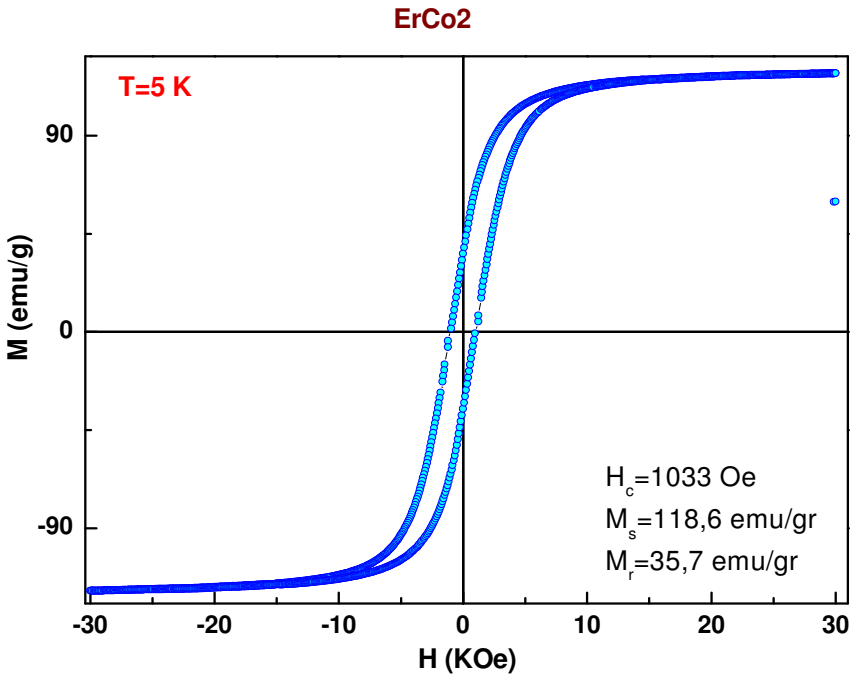


Şekil EkC.5: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi

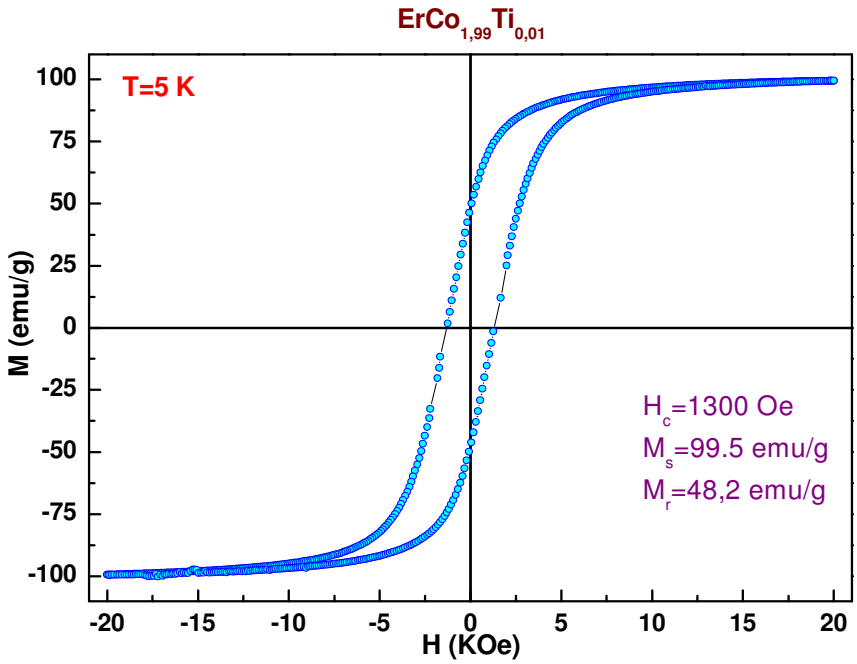


Şekil EkC.6: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in Mıknatıslanmasının 50 Oe alanda ve alansız sıcaklıkla değişimi

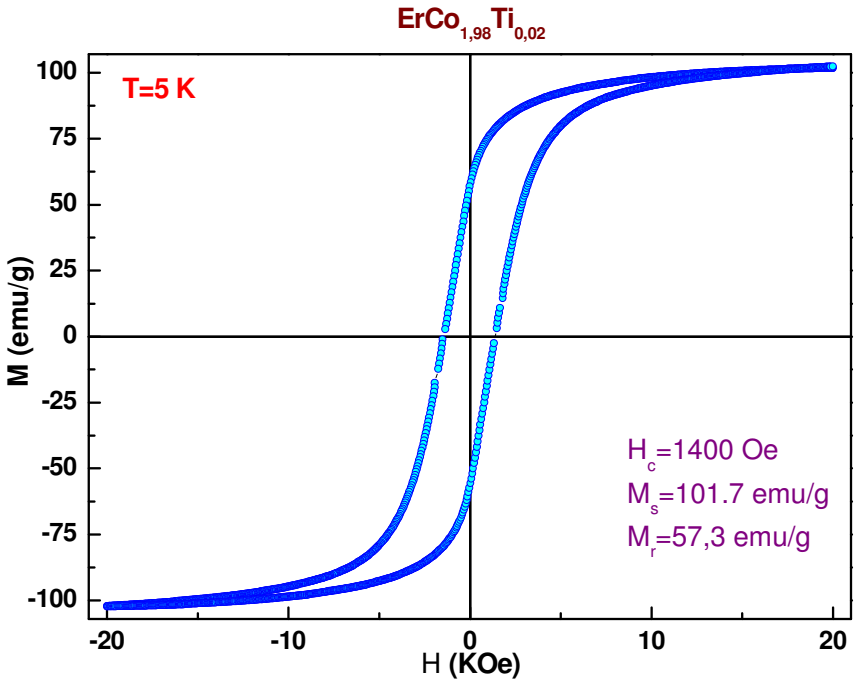
EK D. Örneklerin T=5 K daki Histerisis Eğrileri



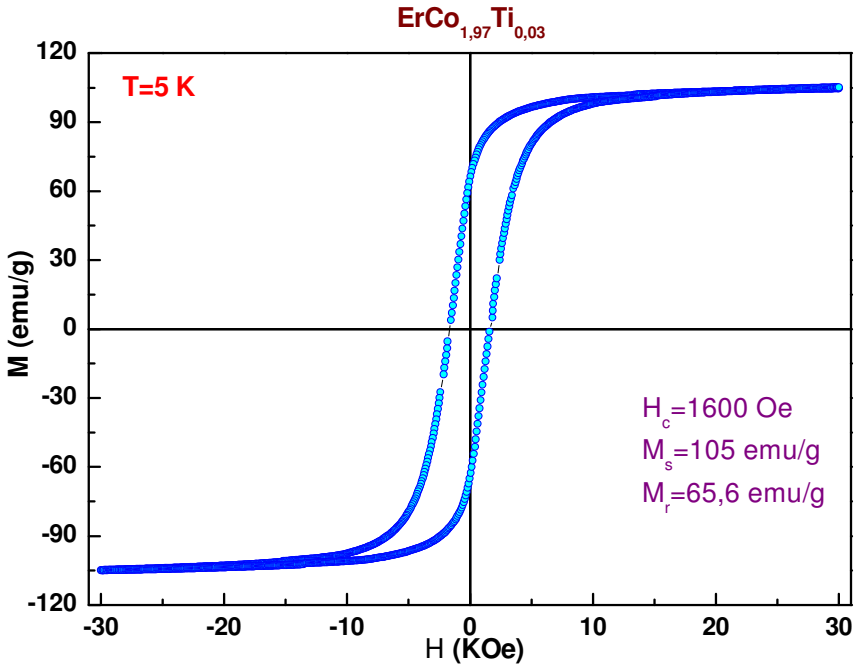
Şekil EkD.1: $ErCo_2$ nin T=5 K daki histerisis eğrisi



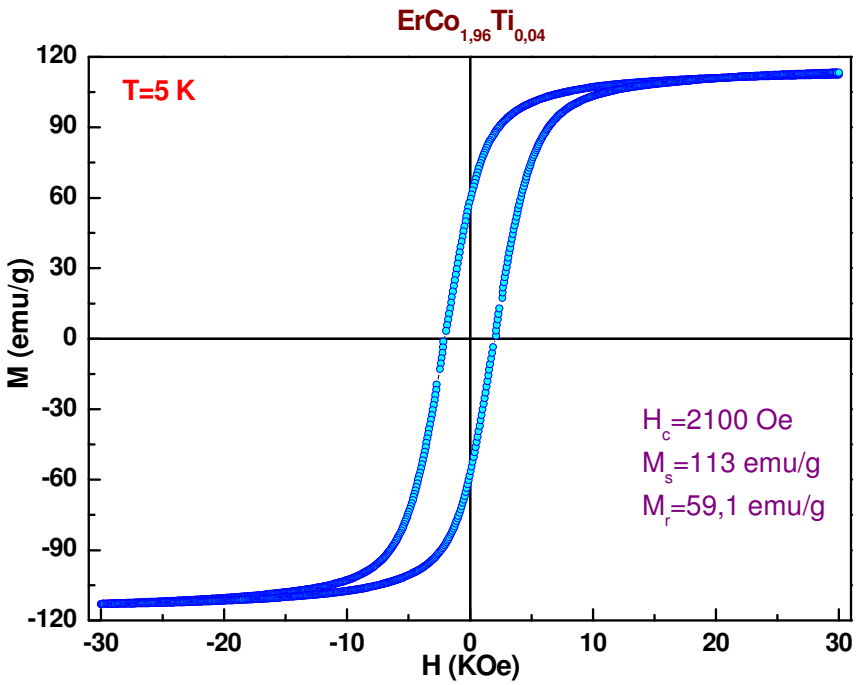
Şekil EkD.2: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=5 K daki histerisis eğrisi



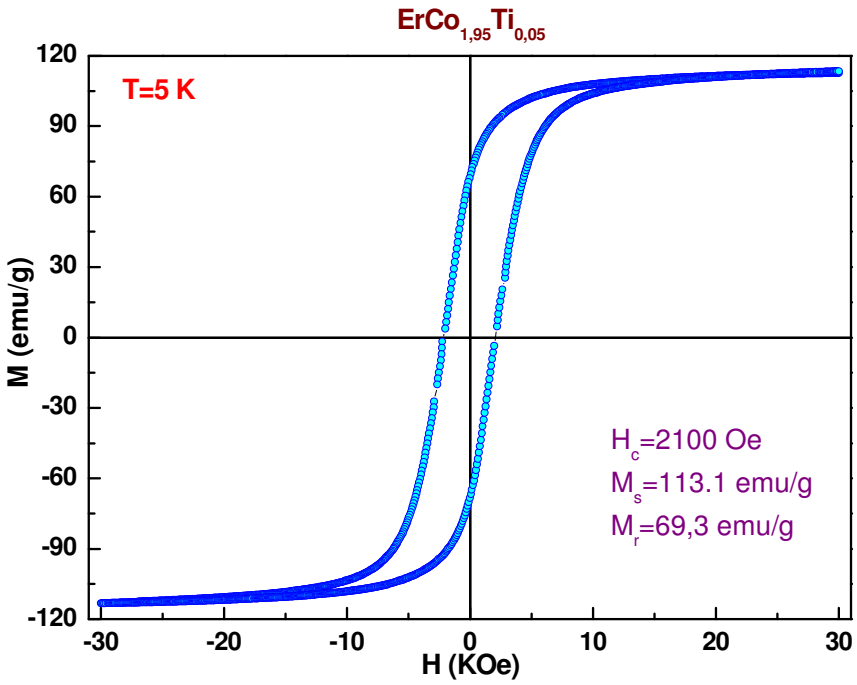
Şekil EkD.3: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=5 K daki histerisis eğrisi



Şekil EkD.4: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=5 K daki histerisis eğrisi

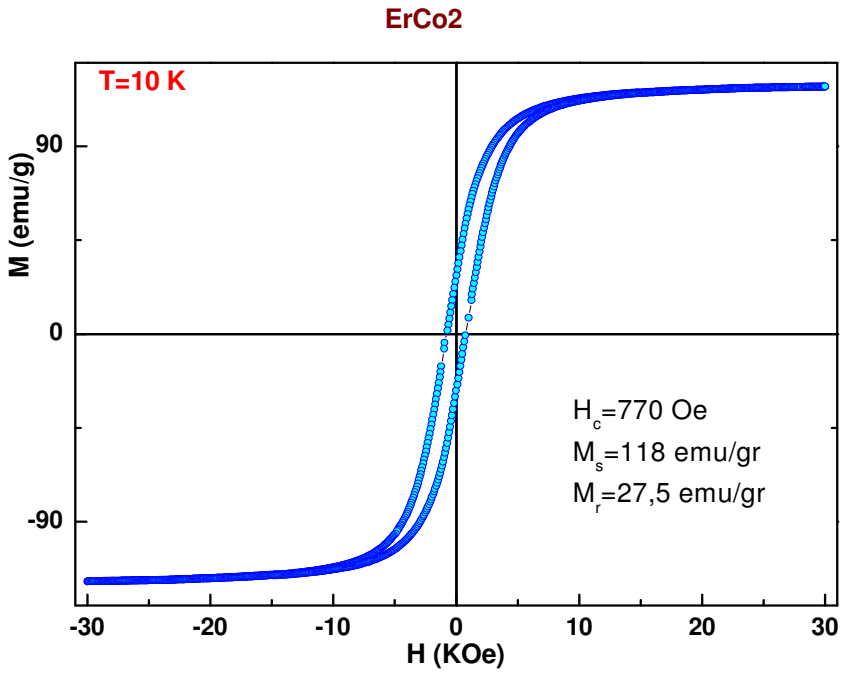


Şekil EkD.5: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=5 K daki histerisis eğrisi

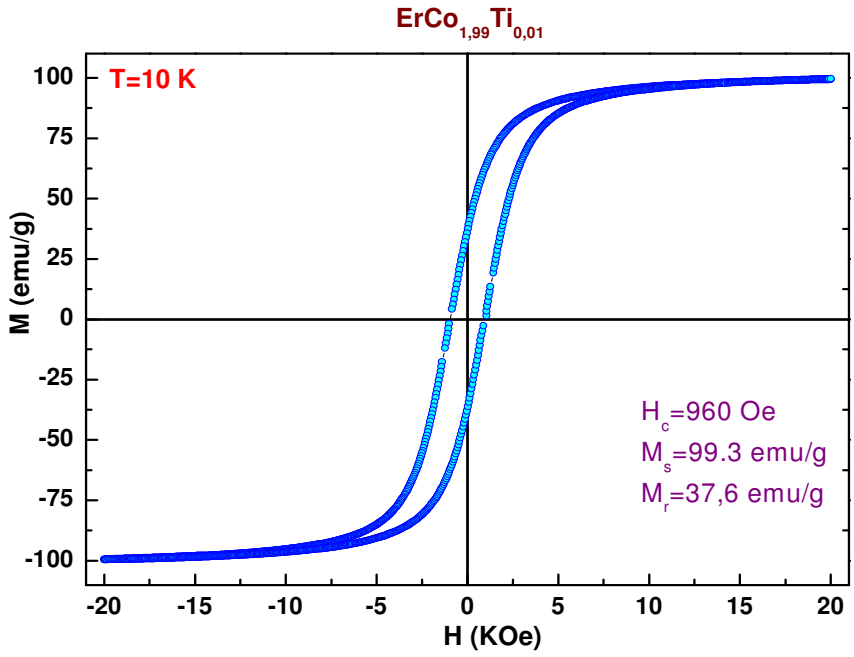


Şekil EkD.6: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=5 K daki histerisis eğrisi

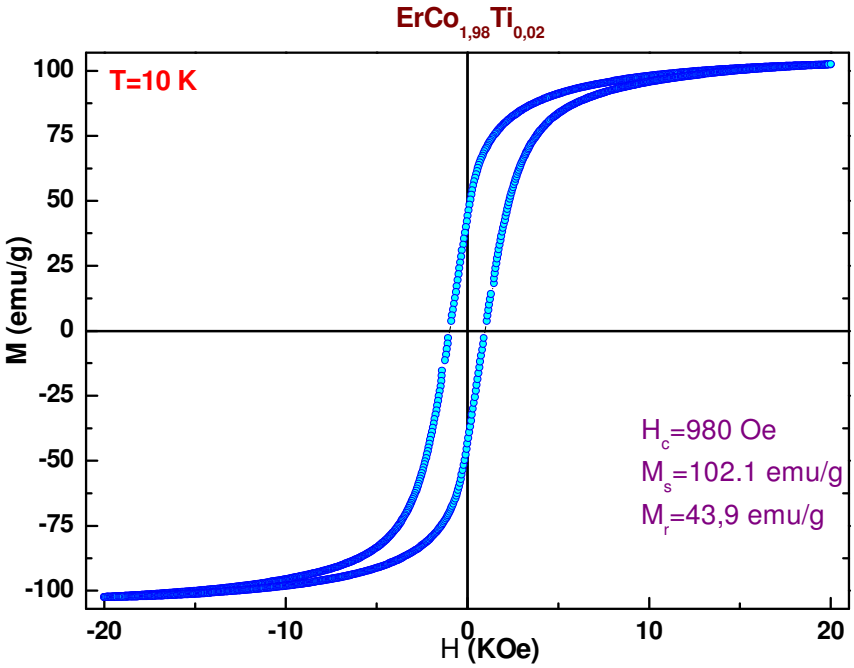
EK E. Örneklerin T=10 K daki Histerisis Eğrileri



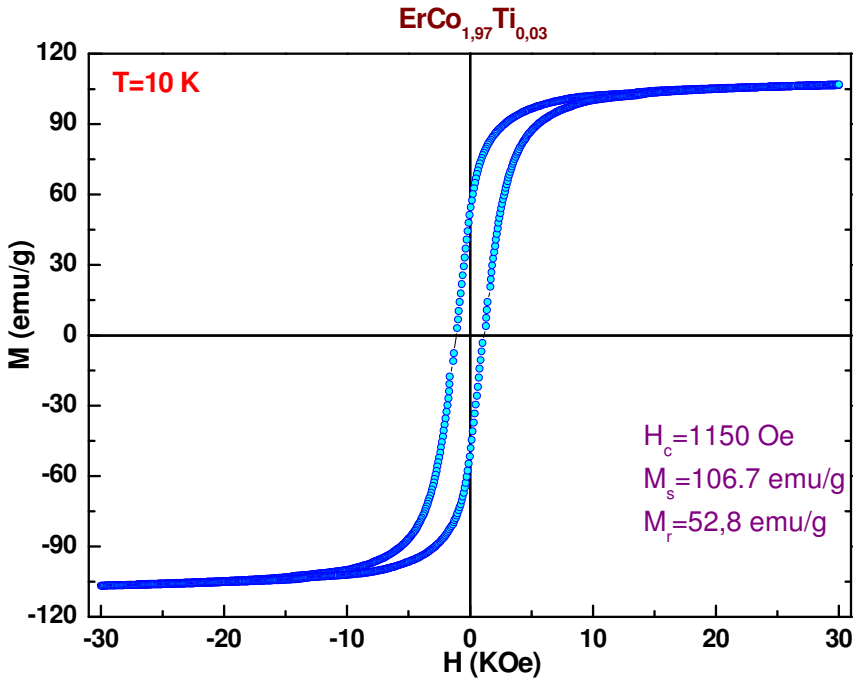
Şekil EkE.1: $ErCo_2$ nin T=10 K daki histerisis eğrisi



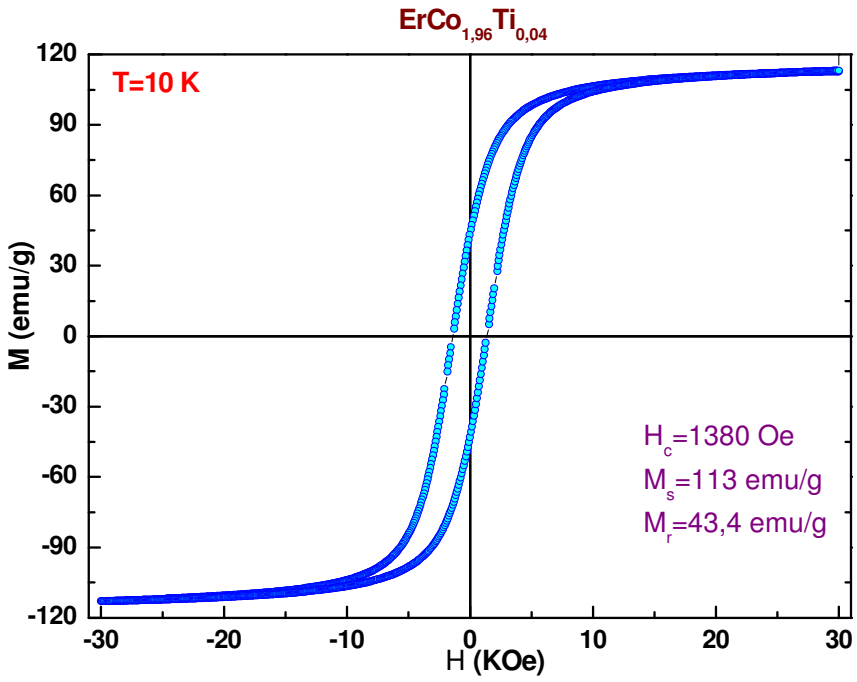
Şekil EkE.2: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=10 K daki histerisis eğrisi



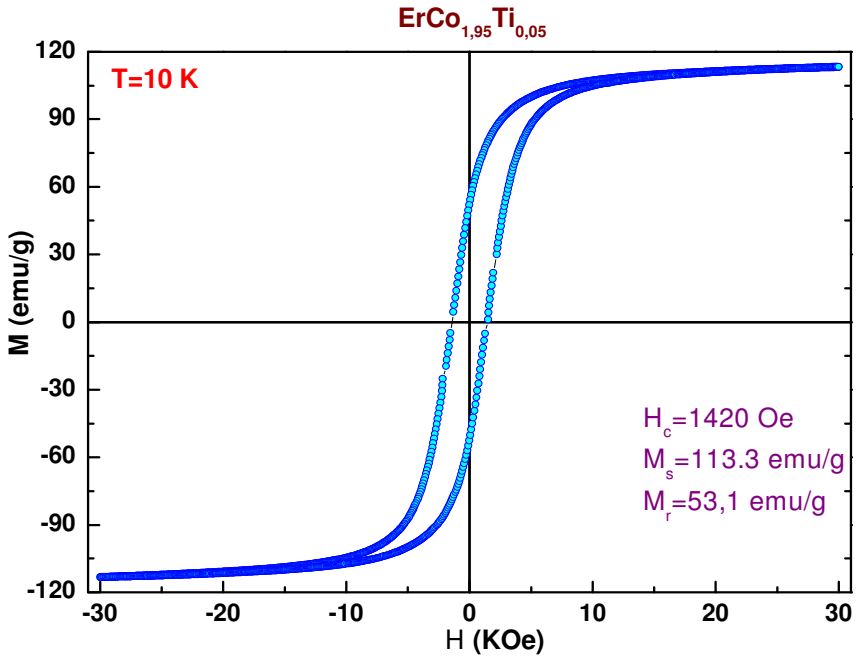
Şekil EkE.3: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=10 K daki histerisis eğrisi



Şekil EkE.4: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=10 K daki histerisis eğrisi

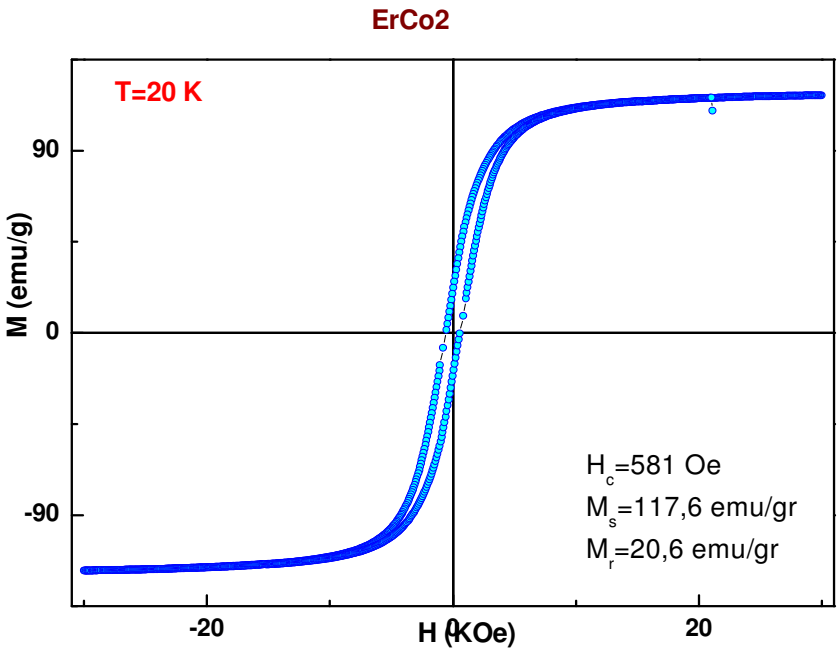


Şekil EkE.5: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=10 K daki histerisis eğrisi

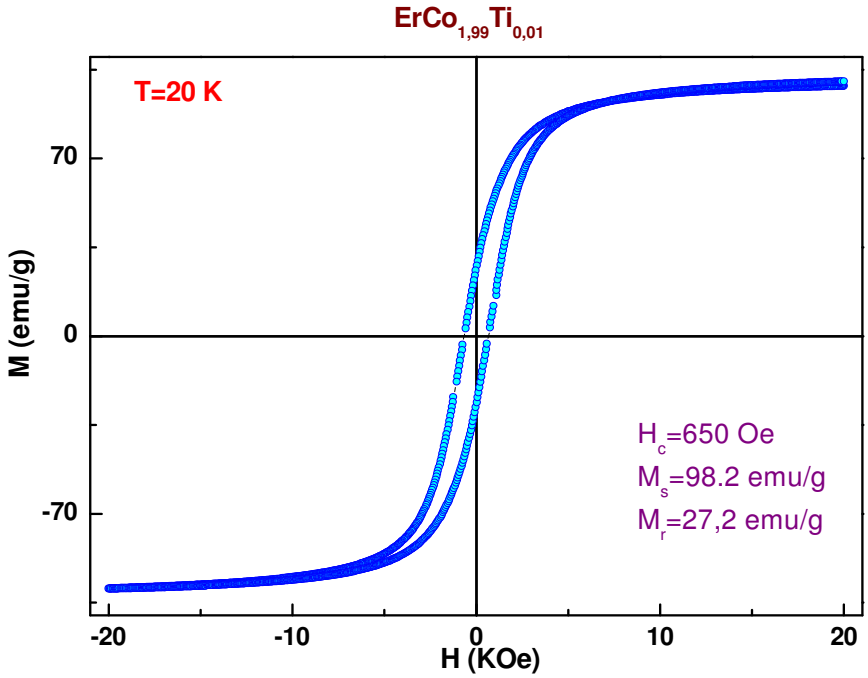


Şekil EkE.6: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=10 K daki histerisis eğrisi

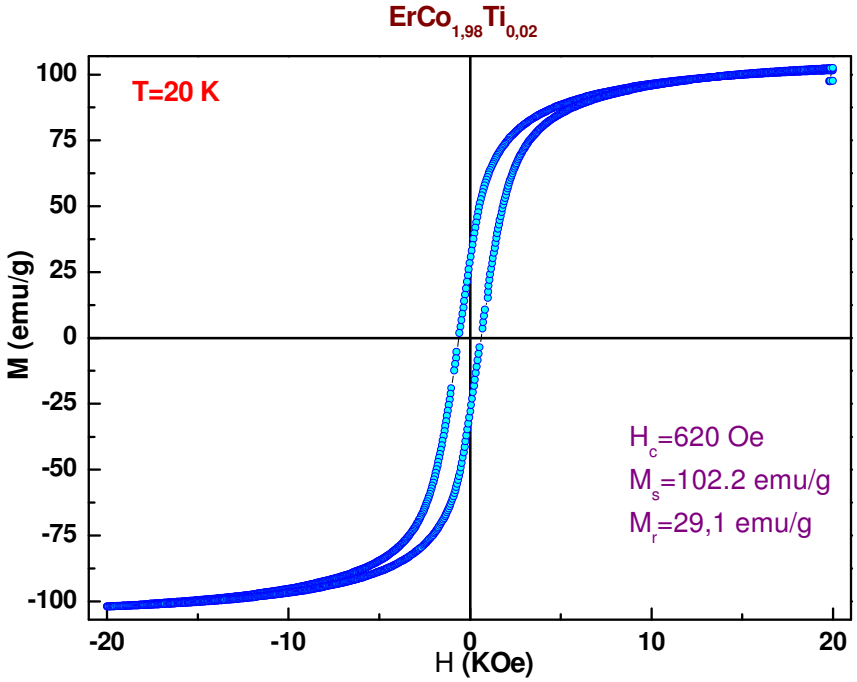
EK F. Örneklerin T=20 K daki Histerisis Eğrileri



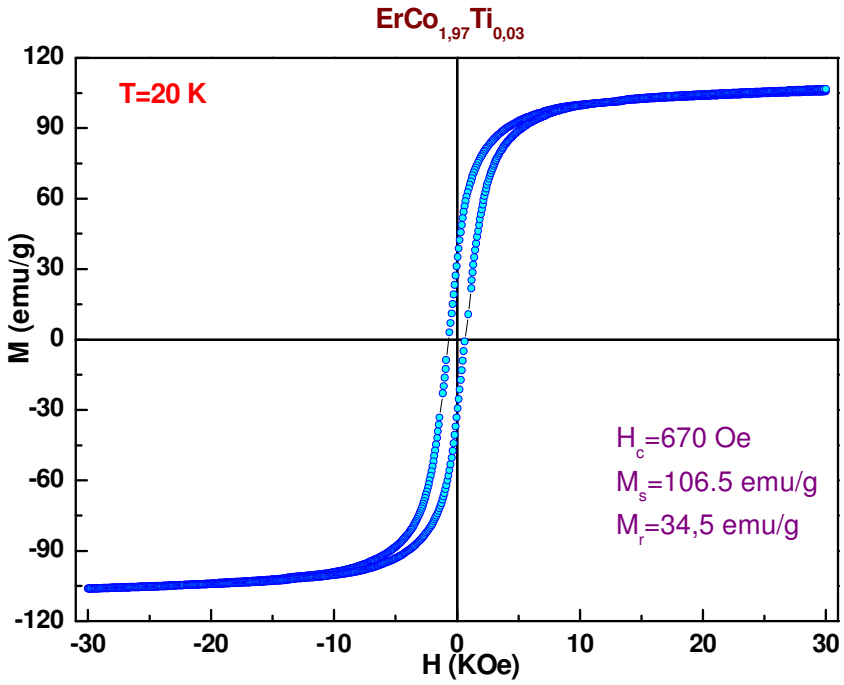
Şekil EkF.1: $ErCo_2$ nin T=20 K daki histerisis eğrisi



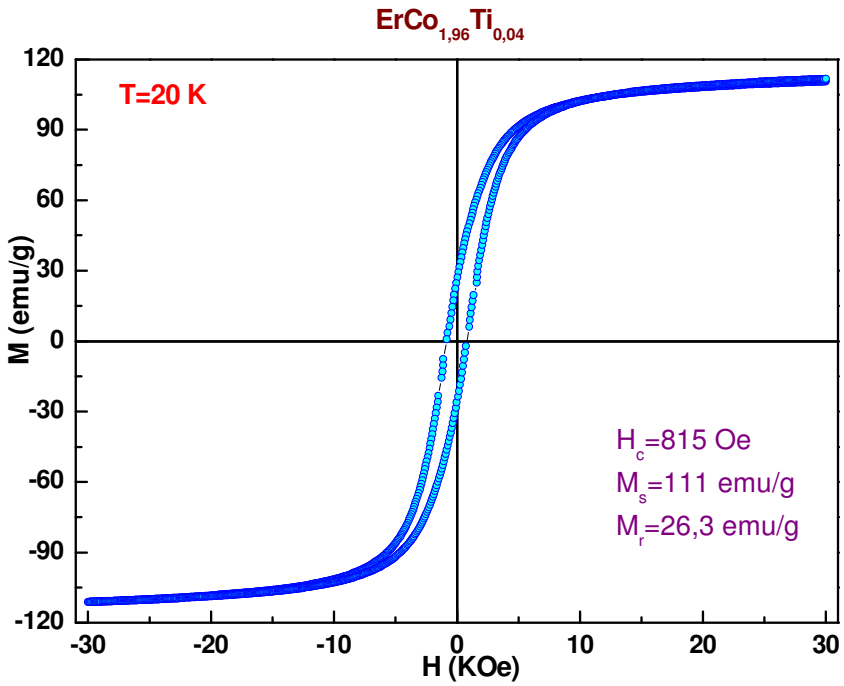
Şekil EkF.2: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=20 K'daki histerisis eğrisi



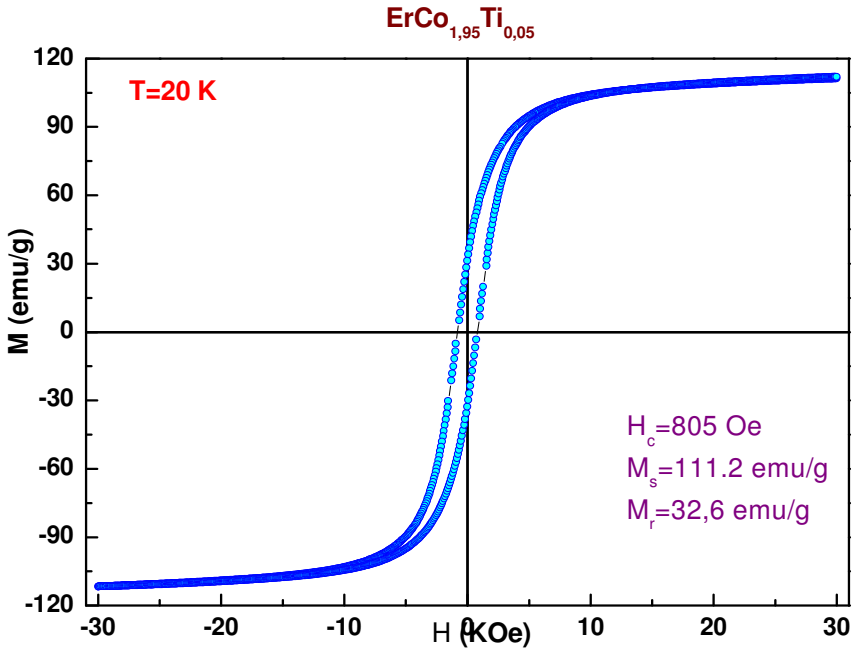
Şekil EkF.3: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=20 K daki histerisis eğrisi



Şekil EkF.4: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=20 K daki histerisis eğrisi

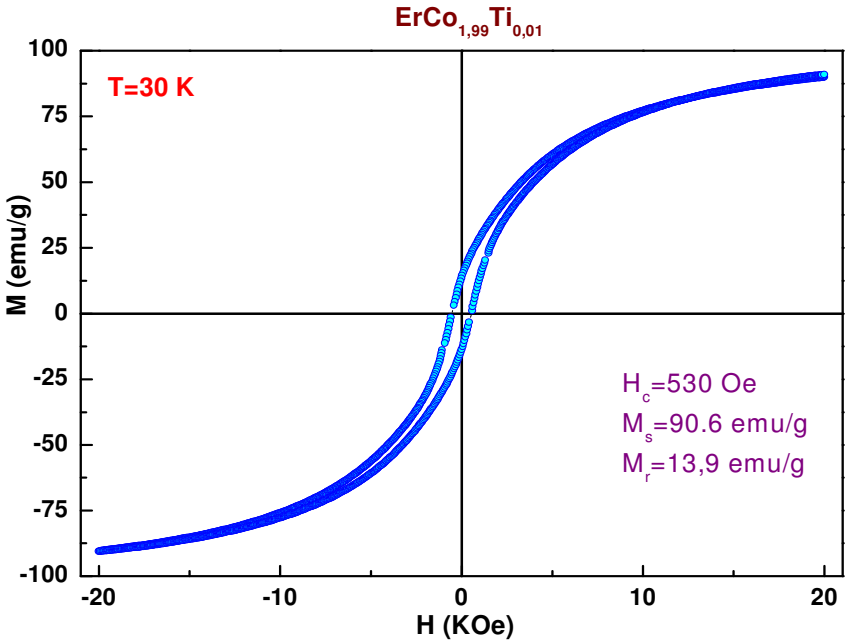


Şekil EkF.5: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=20 K daki histerisis eğrisi

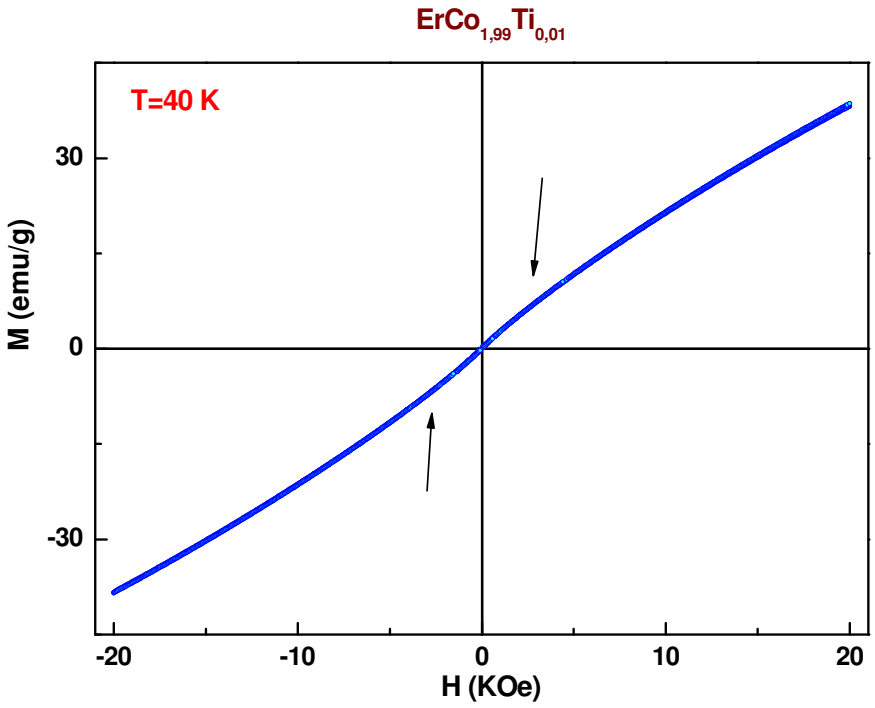


Şekil EkF.6: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=20 K daki histerisis eğrisi

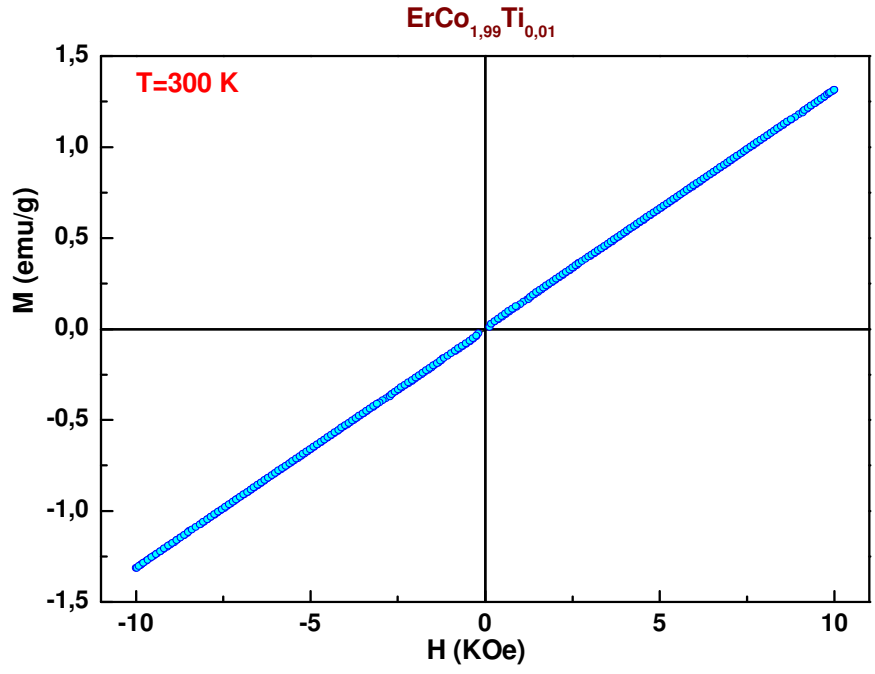
EK G. Örneklerin T_c Kritik Sıcaklık Bölgesinde Bazı Sıcaklık Değerleri İçin Metamagnetik davranışın görüldüğü M-H grafikleri



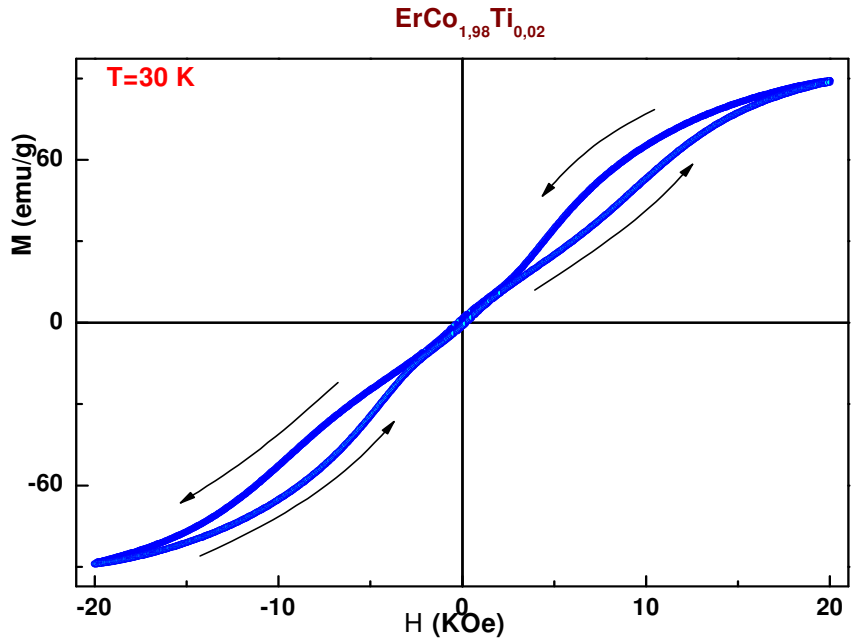
Şekil EkG.1: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=30 K daki M-H grafiği



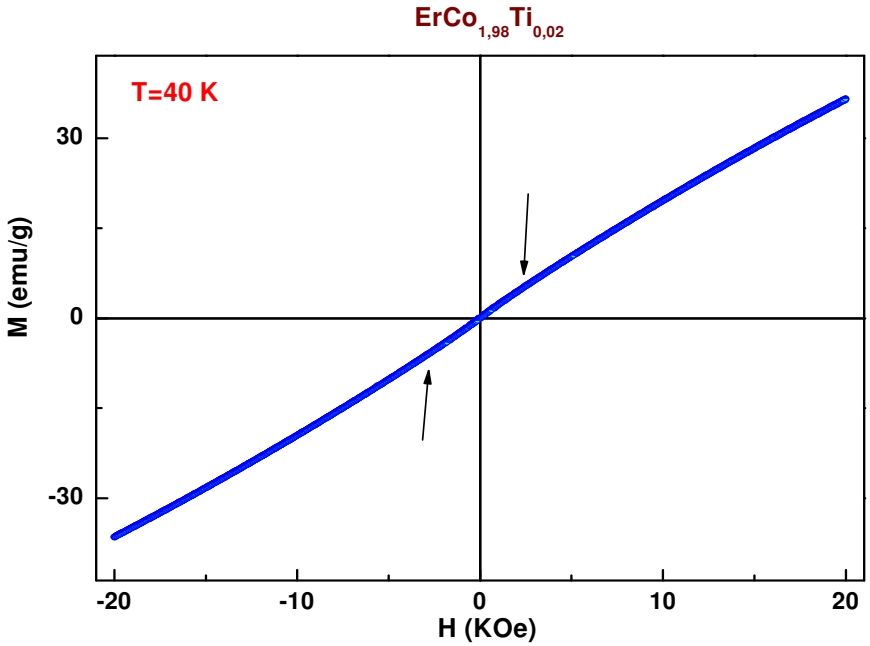
Şekil EkG.2: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=40 K daki M-H grafiği



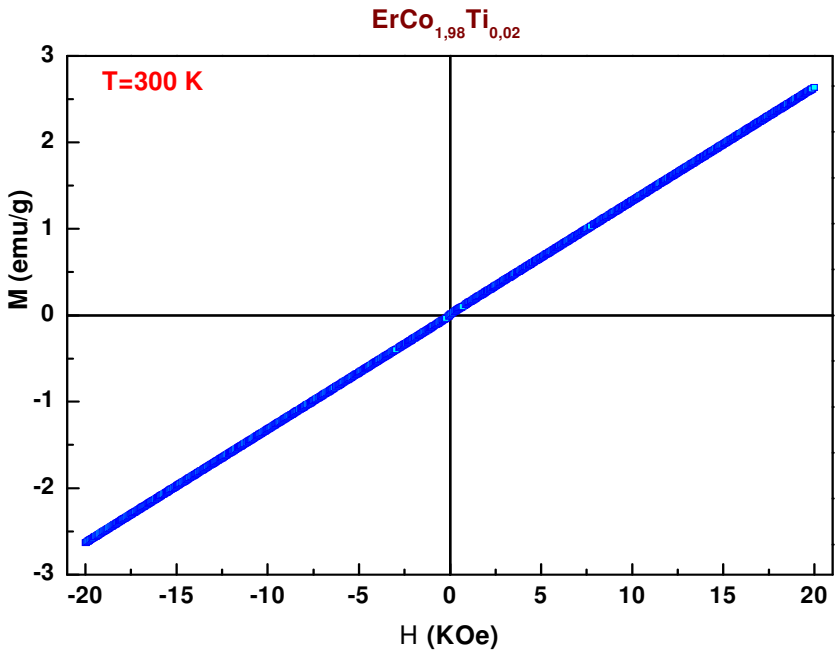
Şekil EkG.3: $ErCo_{1.99}Ti_{0.01}$ in T=300 K daki M-H grafiği



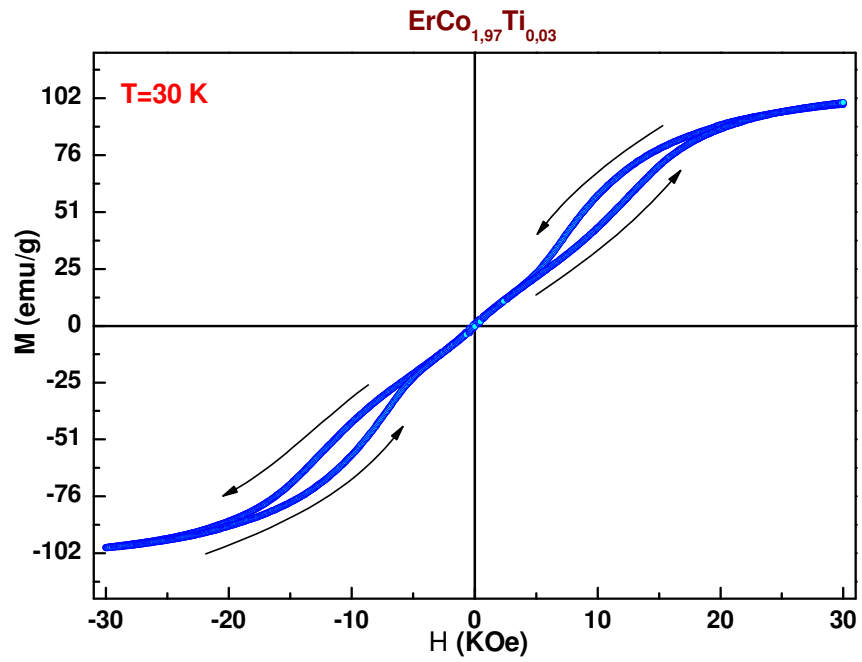
Şekil EkG.4: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=30 K daki M-H grafiği



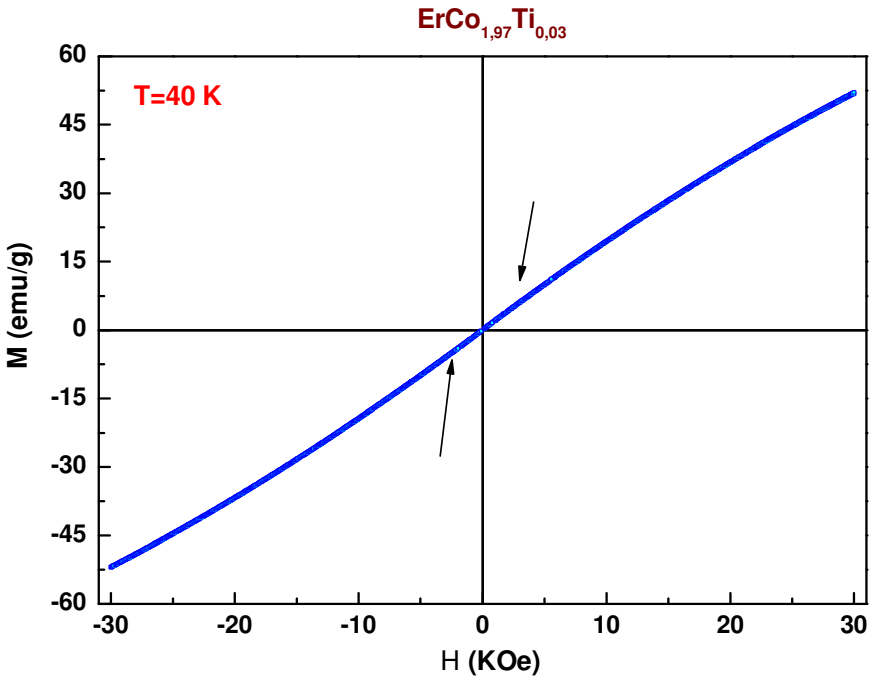
Şekil EkG.5: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=40 K daki M-H grafiği



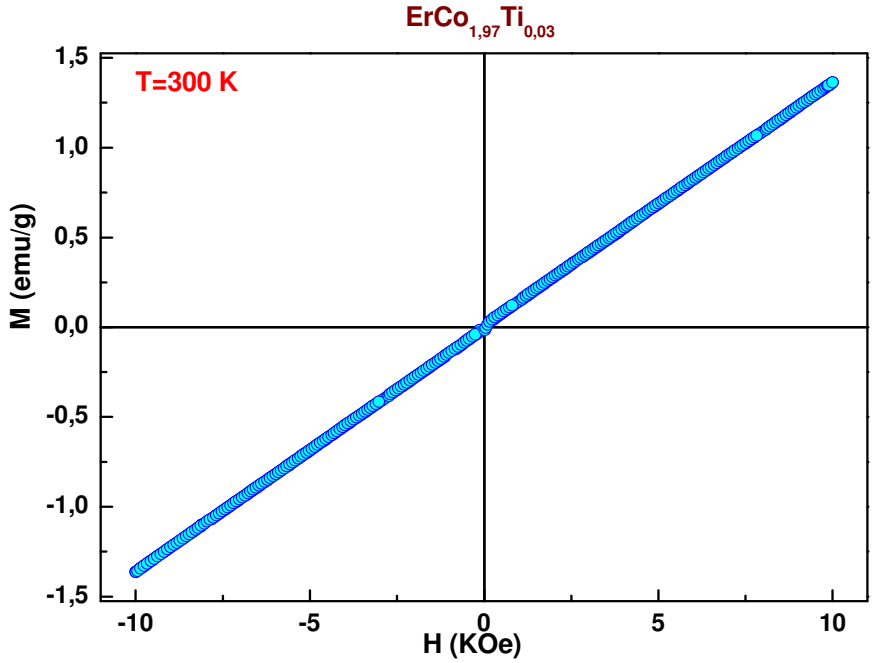
Şekil EkG.6: $ErCo_{1.98}Ti_{0.02}$ nin T=300 K daki M-H grafiği



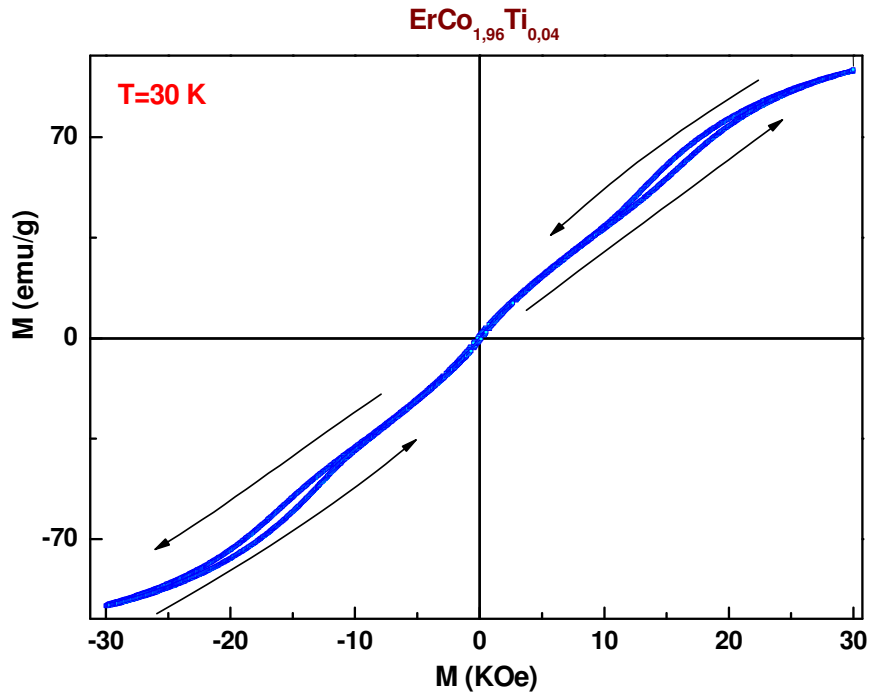
Şekil EkG.7: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=30 K daki M-H grafiği



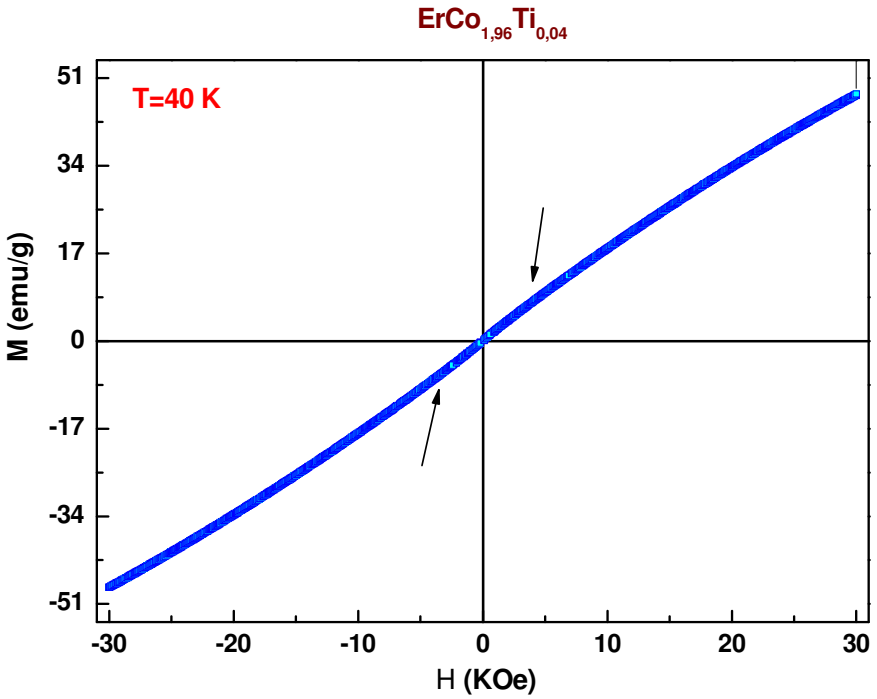
Şekil EkG.8: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=40 K daki M-H grafiği



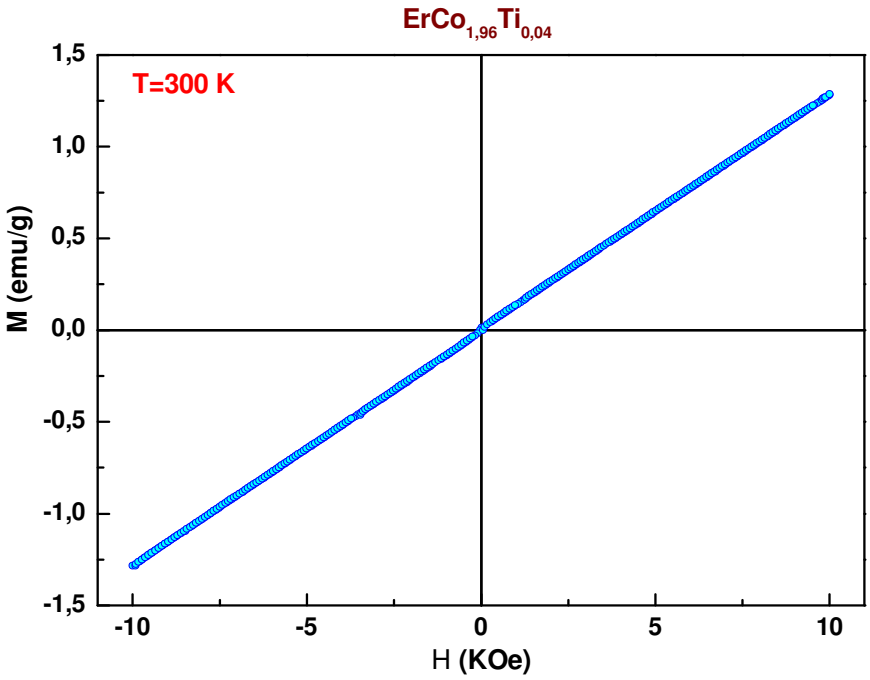
Şekil EkG.9: $ErCo_{1.97}Ti_{0.03}$ ün T=300 K daki M-H grafiği



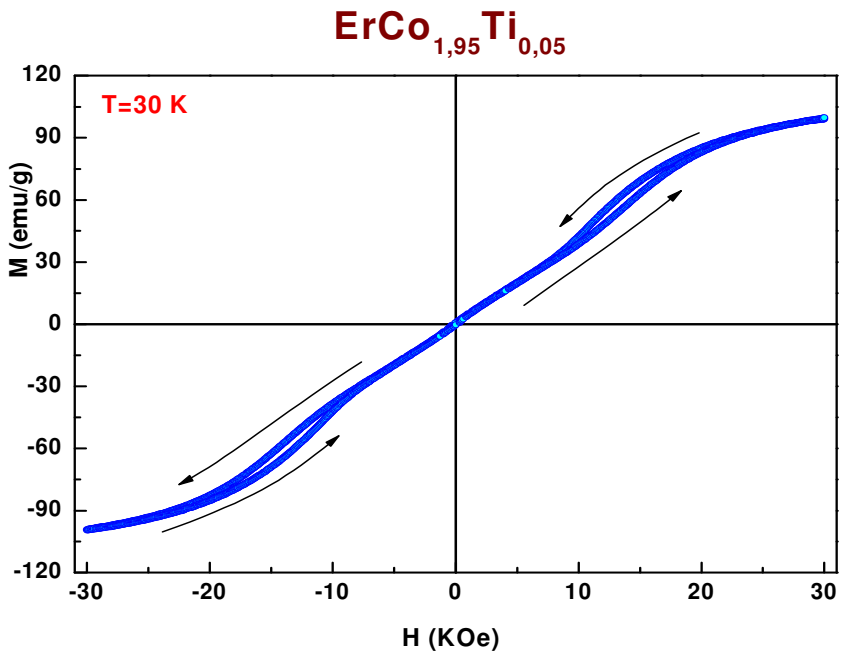
Şekil EkG.10: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=30 K daki M-H grafiği



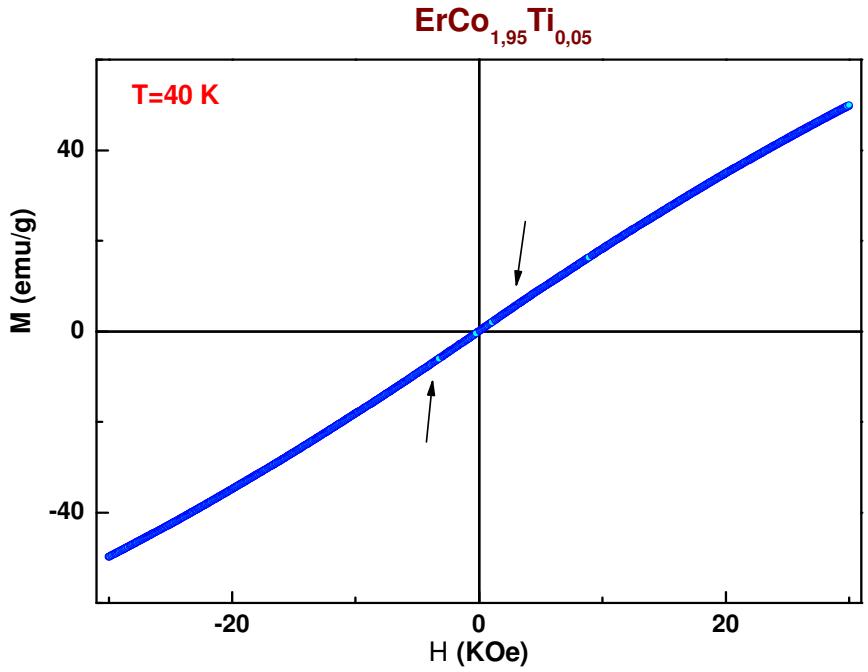
Şekil EkG.11: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=40 K daki M-H grafiği



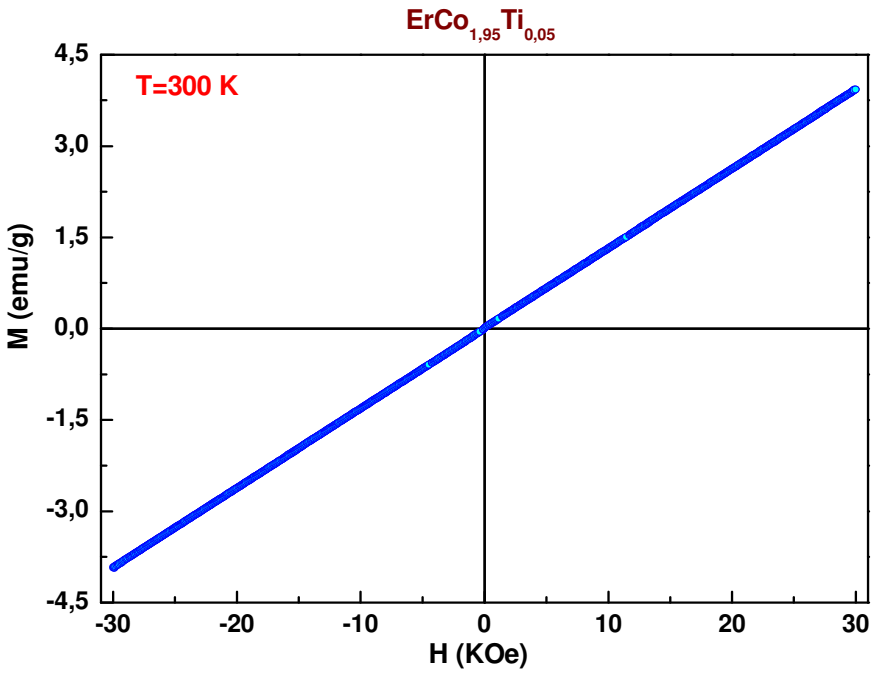
Şekil EkG.12: $ErCo_{1.96}Ti_{0.04}$ ün T=300 K daki M-H grafiği



Şekil EkG.13: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=30 K daki M-H grafiği



Şekil EkG.14: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=40 K daki M-H grafiği



Şekil EkG.15: $ErCo_{1.95}Ti_{0.05}$ in T=300 K daki M-H grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Görkem GÜVEN 1981 yılında İstanbul da doğdu. Liseyi Avcılar Haydar Akın Anadolu Meslek Lisesi Elektronik Bölümünde tamamaladıktan sonra 2000 yılında Trakya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü ne girmeye hak kazanadı. Aynı bölümden 2004 yılında mezun oldu. 2005-2006 eğitim öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği, Yüksek Lisans Programın da eğitim görmeye başladı.