



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pınar EZİRCAN

**SOL-JEL YÖNTEMİ İLE SENTEZLENEN
KROM KATKILI CuFeO_2
MALZEMESİNİN FİZİKSEL VE
MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2024

T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SOL-JEL YÖNTEMİ İLE SENTEZLENEN KROM
KATKILI CuFeO_2 MALZEMESİNİN FİZİKSEL VE
MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Pınar EZİRCAN

FİZİK
ANABİLİM DALI

OSMANİYE
AĞUSTOS-2024

TEZ ONAYI

SOL-JEL YÖNTEMİ İLE SENTEZLENEN KROM KATKILI CuFeO_2 MALZEMESİNİN FİZİKSEL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Pınar EZİRCAN tarafından Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Fizik** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK
Fizik Anabilim Dalı, Osmaniye Korkut Ata Üniv.

Üye: Prof. Dr. Ahmet EKİCİBİL
Fizik Anabilim Dalı, Çukurova Üniv.

Üye: Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR
Mühendislik Temel Bilimleri Anabilim Dalı, Tarsus Üniv.

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Eyyup TEL
Enstitü Müdürü, **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Pınar EZİRCAN



ÖZET

SOL-JEL YÖNTEMİ İLE SENTEZLENEN KROM KATKILI CuFeO_2 MALZEMESİNİN FİZİKSEL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Pınar EZİRCAN
Yüksek Lisans, Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK

Ağustos 2024, 64 sayfa

Bu çalışmada, antiferromanyetik madde olarak bilinen ve spintronik teknolojide uygulama alanına sahip CuFeO_2 ve onun Cr ikameli türevleri ($\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$) ($x = 0.0, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2$) sol-jel yoluyla sentezlenerek, elektronik ve manyetik özellikleri incelenmiştir. CuFeO_2 malzemesinde demir atomlarının yerine belli oranlarda Cr ikame edilerek oksijen atomlarının kontrolü sağlanıp sentezlenen numunelerin elektronik ve manyetik özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin yapısal karakterizasyonu X-ışını teknikleri (XRD ve XAFS) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Manyetik özellikleri M-T, M-H ölçümleri ve AC alınganlık ölçümleri ile belirlenmiştir. CuFeO_2 'nin kristal ve elektronik özellikleri oda sıcaklığında sinkrotron XRD ve XAFS kullanılarak araştırılırken, manyetik davranış ise 10 ila 300 K uygulamalı alanlar altında incelenmiştir. Krom ikamesinin zorlayıcılığı ve kalıcılığı azalttığı ancak daha yüksek krom konsantrasyonlarında doygunluk mıknatıslanmasını arttırdığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delafosit, sinkrotron, kristal yapı, XAFS, M-T, M-H.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF CHROME ADDED CuFeO_2 MATERIAL SYNTHESIZED BY SOL-GEL METHOD

Pınar EZİRCAN
M.Sc., Department of Physics
Supervisor: Ph.D. Hakan ÖZTÜRK

August 2024, 64 pages

In this study, CuFeO_2 and its Cr substituted derivatives ($\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$) ($x = 0.0, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2$), known as antiferromagnetic material and having application area in spintronic technology, were synthesized by sol-gel method and their electronic and magnetic properties were investigated. Electronic and magnetic properties of the synthesized samples were investigated by substituting Cr in certain ratios instead of iron atoms in CuFeO_2 material and controlling oxygen atoms. Structural characterization of the samples was carried out using X-ray techniques (XRD and XAFS) and scanning electron microscope (SEM) measurements. Magnetic properties were determined by M-T, M-H measurements and AC susceptibility measurements. Crystal and electronic properties of CuFeO_2 were investigated by using synchrotron XRD and XAFS at room temperature, while magnetic behavior was investigated under applied fields between 10 and 300 K. It was observed that chromium substitution decreased coercivity and retentivity but increased saturation magnetization at higher chromium concentrations.

Key Words: Delafossite, synchrotron, crystal structure, XAFS, M-T, M-H

İTHAF SAYFASI



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimime başladığım ilk andan itibaren tanıma fırsatı bularak fiziğe olan ilgimi arttıran ve Yüksek Lisans Tez Çalışmam süresince yönlendirici fikirleri ile bana daima yol göstererek yaptığı bilimsel katkısının yanı sıra engin fikir ve yorumlarıyla da her konuda gelişimimi sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca bana yardımcı olan ve her türlü desteği sağlayan hocam Sayın Prof. Dr. O. Murat ÖZKENDİR'e ve Nagoya Teknoloji Enstitüsünden Sayın Prof. Dr. Hidetoshi MIYAZAKI'ye çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım için olanak sağlayan ve tezimin her aşamasında desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ahmet EKİCİBİL'e, Sayın Doç.Dr. Mustafa AKYOL'a ve tüm ÇÜMERLAB çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam süresince, sürekli yanımda ve destek olan arkadaşım Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü doktora öğrencisi M. Selim ASLAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman ve her koşulda yanımda olan eşim Ali EZİRCAN'a, kızım Azra EZİRCAN'a bana sağladıkları manevi desteklerden dolayı annem Nermin ATASEVER ve babam İsmail Hakkı ATASEVER'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Katı Cisimlerin Kristal Yapıları	2
1.2. İlkel Hücre.....	4
1.3. Birim Hücre.....	5
1.4. Bravais Hücreleri Yapı Türleri.....	6
1.4.1. Basit Kübik Yapı (sc).....	6
1.4.2. Hacim Merkezli Kübik Yapı (bcc).....	6
1.4.3. Yüzey Merkezli Kübik Yapı (fcc).....	7
1.4.4. Taban Merkezli Yapı.....	7
1.5. Kristal Düzlemlerinin Belirlenmesi	9
1.6. Bazı Kristal Yapılar.....	11
1.6.1. Sodyum Klorür (NaCl) Kristal Yapısı	11
1.6.2. Sezyum Klorür (CsCl) Kristal Yapısı	12
1.6.3. Kübik Çinko Sülfür (ZnS) Yapısı	13
1.6.4. Elmas Yapısı	14
1.6.5. Hegzagonal Sıkı Yapı (hcp)	15
1.7. Manyetizma.....	16
1.7.1. Diyamanyetizma	16
1.7.2. Paramanyetizma	19
1.7.3. Antiferromanyetizma	20
1.7.4. Ferromanyetizma.....	21

1.7.5. Ferrimanyetizma	22
1.8. Curie Sıcaklığı ve Curie-Weiss Yasası	23
1.9. Histerisis Döngüsü	24
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	26
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	33
3.1. Malzemeler.....	33
3.1.1. Delafosit (CuFeO_2).....	33
3.1.2. Bakır oksit (Cu_2O)	34
3.1.3. Krom (Cr).....	35
3.1.4. Hematit (Fe_2O_3).....	36
3.2. Yöntem	37
3.2.1. Sol-Jel Yöntemi.....	37
3.2.2. Örneklerin Hazırlanması	40
3.3. Karakterizasyonu.....	400
3.3.1. X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD).....	41
3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	44
3.3.3. Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS)	455
3.3.4. X-Işını Soğurma İnce Yapı Spektroskopisi (XAFS).....	466
3.3.5. Fiziksel Özellik Ölçüm Sistemi (PPMS)	477
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. Yapısal Analizler.....	49
4.2. Manyetik Analizler.....	566
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	600
ÖZGEÇMİŞ	644

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kristal sistemleri ve Bravais örgüleri	9
Çizelge 1.2. Sodyum klorür yapısında olan bazı kristaller.	12
Çizelge 1.3. Sezyum klorür yapısında olan bazı kristaller.	13
Çizelge 1.4. Kübik çinko sülfür yapısında olan bazı kristaller.	14
Çizelge 4.1. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ örnek serisinin XRD desenlerinin karşılaştırılması.....	51



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Delafosit CuFeO_2 'nin kristal yapısı.....	2
Şekil 1.2. a) Kristal yapı, b) Amorf yapı.....	3
Şekil 1.3. Kristal yapıli katıların modellemesi.....	3
Şekil 1.4. Kristal yapı.....	4
Şekil 1.5. İlkel örgü hücreleri.....	5
Şekil 1.6. Wigner-Seitz ilkel hücresi	5
Şekil 1.7. Kristal yapıdaki birim hücre.	6
Şekil 1.8. Basit kübik yapı.	6
Şekil 1.9. Hacim merkezli kübik yapı.....	7
Şekil 1.10. Yüzey merkezli kübik yapı.....	7
Şekil 1.11. Bravais hücreleri.....	8
Şekil 1.12. Hekzagonal birim hücre.....	10
Şekil 1.13. Kübik bir kristalde bazı düzlemler	11
Şekil 1.14. NaCl Kristal yapısı	12
Şekil 1.15. CsCl Kristal yapısı.....	13
Şekil 1.16. ZnS kristal yapısı	14
Şekil 1.17. Elmas kristal yapısı.....	15
Şekil 1.18. Hekzagonal sıkı paket yapı (hcp)	15
Şekil 1.19. Akım taşıyan bir halkanın manyetik momenti	16
Şekil 1.20. Diamanyetik malzemelerde manyetik alanın etkisi.....	17
Şekil 1.21. Diamanyetik malzemenin B 'nin dış alan H 'ye bağıllığı.	17
Şekil 1.22. Diamanyetik malzemedede (a) manyetizasyonun alana bağıllığı ve (b) manyetik alınganlığın sıcaklıkla değışimi.	18
Şekil 1.23. (a) Serbest atomların manyetizması (b) Manyetizasyonun sıcaklıkla değışimi.....	19
Şekil 1.24. Paramanyetizmanın Curie yasası.....	19
Şekil 1.25. Antiferromanyetizma (a) spin örgüsü (b) $M(H)$ (c) $\chi^{-1}(T)$	21
Şekil 1.26. Antiferromanyetik manganek oksitin manyetik momentleri	21
Şekil 1.26. Ferromanyetizma: (a) spin örgüsü ve (b) manyetizasyonun alana bağıllığı ($T_1 < T_c \leq T_2 < T_3$).....	22
Şekil 1.27. Ferrimanyetizma: a) örgü spini, b) manyetizasyon eğrisi.	22

Şekil 1.28. Manyetik momentlerin dizilimi (a) Curie sıcaklığının altında (b) Curie sıcaklığının üstünde	23
Şekil 1.29. Malzemenin Neel ve Curie sıcaklıklarındaki davranışları.	24
Şekil 1.30. Histerisis (Manyetik döngü).	25
Şekil 2.1. $\text{Cu}_{1-x}\text{Li}_x\text{FeO}_2$ (a) $x=0.00$, (b) $x=0.005$, (c) $x=0.01$, (d) $x=0.04$, (e) $x=0.06$, (f) $x=0.08$ örneklerinin SEM görüntüleri	26
Şekil 2.2. $\text{Cu}_{1-x}\text{Li}_x\text{FeO}_2$ ($x=0.00-0.08$) örneklerinin M-T grafikleri	27
Şekil 2.3. $\text{Cu}_{1-x}\text{Li}_x\text{FeO}_2$ ($x=0.00-0.08$) numunelerinin M-H grafikleri	27
Şekil 2.4. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ ($x=0.00-0.10$) örneklerinin XRD desenleri	28
Şekil 2.5. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ numunelerinin SEM görüntüleri	29
Şekil 2.6. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ örneklerinin ZFC duyarlılığının sıcaklığa bağımlılığı	30
Şekil 2.7. CuFeO_2 ve %10 bor ikameli CuFeO_2 'nin XRD desenlerinin karşılaştırılması	31
Şekil 2.8. CuFeO_2 ve %10 bor ikameli CuFeO_2 için Fe K-kenarı XAFS spektral karşılaştırması	31
Şekil 3.1. CuFeO_2 nin kristal yapısı	34
Şekil 3.2. Cu_2O 'nun kristal yapısı	35
Şekil 3.3. %99.999 saflıkta krom kristali	36
Şekil 3.4. Hematitin kristal yapısı	37
Şekil 3.5. Sol-jel türevli ürünlerin şematik gösterimi	39
Şekil 3.6. Sol-jel üretim yöntemi aşamaları	40
Şekil 3.7. X-ışını difraktometresi	411
Şekil 3.8. X-ışınlarının kristal düzlemlerinden kırınımı ve Bragg yasası	422
Şekil 3.9. X-ışını difraksiyon düzeneği	43
Şekil 3.10. Quanta 650 Field Emission SEM model taramalı elektron mikroskobu	444
Şekil 3.11. Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) çalışma şeması	455
Şekil 3.12. Bir atomdaki elektronun uyarılması ve yayılan radyasyon.	466
Şekil 3.13. Floresan XAFS ekipmanı	477
Şekil 3.14. PPMS DynaCool-9 Quantum Design cihazı (ÇÜMERLAB)	488
Şekil 4.1. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ numune serisi için X-ışını kırınımı (XRD) desenlerinin karşılaştırılması	520

Şekil 4.2. Krom ikameli CuFeO_2 için XAFS spektrumlarının karşılaştırılması.....	522
Şekil 4.3 Krom ikameli CuFeO_2 malzemeleri için Cu K-kenar XAFS spektrumlarının karşılaştırılması ($x = 0.05$ ve 0.15).....	533
Şekil 4.4. Krom ikameli CuFeO_2 malzemesinin EXAFS saçılma verilerinin karşılaştırılması.....	545
Şekil 4.5. Krom ikameli CuFeO_2 malzemesinin FT-EXAFS verileri.....	55
Şekil 4.6. Sıfır Alan Soğutmalı (ZFC) ve Alan Soğutmalı (FC) koşullar altında $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ numuneleri ($x=0.0, 0.01, 0.05, 0.10, 0.15$ ve 0.20) için manyetizasyonun sıcaklığa bağlılığı.....	577
Şekil 4.7. Histerisis halkaları. (c) doygunluk mıknatıslanmasının, (d) zorlayıcı alanın ve (e) kalıcı mıknatıslanmanın $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ numunelerindeki krom içeriğine bağlılığı.	588

SİMGELER ve KISALTMALAR

T	Sıcaklık	(K)
T_N	Neel sıcaklığı	(K)
T_C	Curie sıcaklığı	(K)
α	Isı transfer katsayısı	(W/(m ² K))
χ	Manyetik alınganlık	()
$ \vec{A} $	Akım ilmeği alanı	(m ²)
e	Elektron yükü	(C)
H	Uygulanan manyetik alan	(A/m)
L	Açısal momentum	(kg.m ² /s)
N	Örgü nokta sayısı	()
R	Yarıçap	(m)
T	Sıcaklık	(K)
t	Zaman	(s)
T_C	Curie sıcaklığı	(K)
T_N	Neel sıcaklığı	(K)
V	Hız	(m/s)
μ	Manyetik moment	(m)
γ	Jiromanyetik oran	(C/kg)
I	Akım	(A)
M	Manyetizasyon	(A/m)
μ_r	Bağıl geçirgenlik	()
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenliği	(Tm/A)
$\hbar$	Planck sabiti	(J.s)
M_R	Artık mıknatıslanma	(A/m)
H_C	Zorlayıcı alan	(A/m)
M_S	Doyum mıknatıslanması	(A/m)
C	Curie sabiti	()

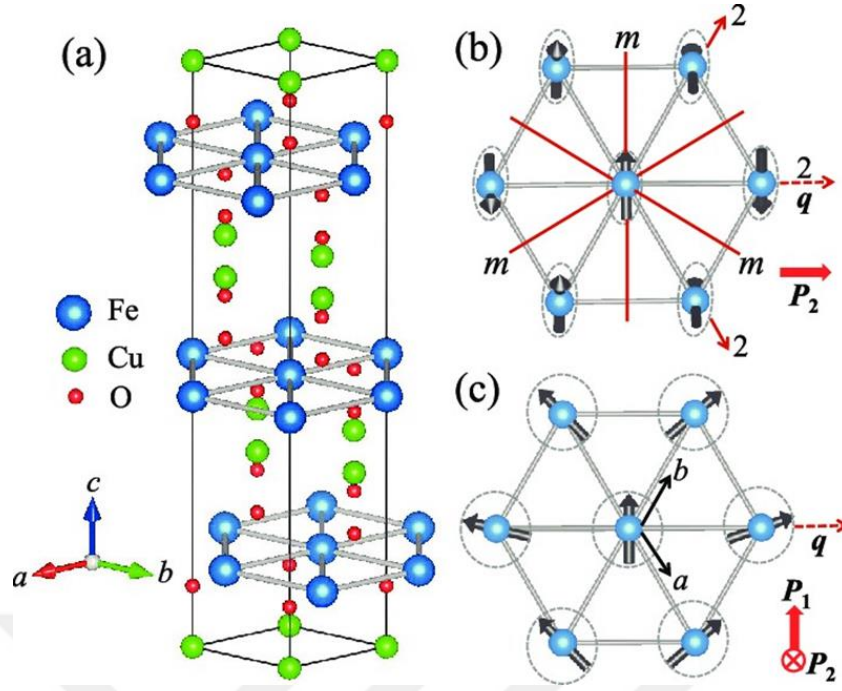
1. GİRİŞ

Maddeler doğada katı, sıvı veya gaz hallerinin birinde bulunmaktadır. Bir maddenin doğada bulunduğu fazı kendisini meydana getiren atomların dizilimi ve atomların birbirleriyle etkileşimleri belirler. Maddelerin sıcaklığı değiştirildiğinde atomların dizilimi ve etkileşimleri değişir ve bunun sonucunda fazı da değişebilir. Bulunduğu her bir fazın kendisine ait özellikleri mevcuttur. Bu tez çalışmasının amacı, katı fazda olan, antiferromanyetik ($T_N = 11$ K) özellik gösteren, delafosit kristal yapısına sahip olan CuFeO_2 malzemesine krom elementi katkılanarak fiziksel ve manyetik özelliklerini incelemektir.

Delafosit (Cu^{1+} , Fe^{3+} , O_2), Cu-Fe-O sisteminde manyetik olmayan bir değerlikli ve manyetik üç değerlikli katyonlara sahip olan bir bileşiktir. Kenar paylaşımlı oktahedral yapıda Fe^{3+} O_6 ve 2 boyutlu Cu^{1+} 'nın katmanlarından oluşmuştur. Fe^{3+} ve Cu^{1+} katmanları, 2 boyutlu katmanına dik, doğrusal O- Cu^{1+} -O bağlarıyla bağlanır Her O^{2-} bir Cu^{1+} ve üç Fe^{3+} 'ya bağlıdır. Fe^{3+} ve Cu'nun sıralanmasına göre 1+ katmanlı delafosit iki politipte kristal yapı oluşturur. Bunlardan biri, eşkenar dörtgen şeklindeki 3R-delafosit, diğeri altıgen şeklindeki 2H-delafosittir. Ayrıca $R-3m$ 'de kristalleşen bir başka şekilde de (Cu^{2+} Fe^{2+} O_2) oluşabilir.

Delafosit, siyahtır ve metalik bir parlaklığa sahiptir (Rogers, 1913). Delafosit bileşikler bileşimlerine bağlı olarak p-tipi veya n-tipi iletkenlik sergileyebilirler (Marquardt, vd., 2006). p-tipi yarı iletkenin bant aralığı 1.47 eV ve 700 nm'de bant aralığına yakın $7.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ 'lik yüksek ışık emme katsayısına sahiptir. $1.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ kadar yüksek katkılama seviyesinde bile $34 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ 'lik yüksek hareketlilik gösterir. Sulu ortamlarda dahi dayanıklıdır.

Şekil 1.1(a)'da altıgen yapıda delafosit CuFeO_2 'nin kristal yapısı görülmektedir. Şekil 1.1(b)'de ise $R-3m$ grubunda dönme eksenini (2) ve yansıma aynası (m) içeren Fe iyonları ve simetri elemanlarından meydana gelen üçgen kafes görülmektedir. Fe iyonlarına doğru görülen oklar, manyetik yapıyı oluşturan dönüşleri ifade etmektedir. q spiral dalga vektörü ve indüklenmiş ferroelektrik polarizasyon yönlerini ise kesikli ve içi boyalı oklar göstermektedir. Şekil 1.1 (c)'de sikloidal yapıda bulunan üçgen kafes Fe iyonları katmanı bulunmaktadır. P_1 , dönüş akımı ve P_2 , genişletilmiş dönüş akımı nedeniyle oluşan ferroelektrik polarizasyonun bileşenleridir.



Şekil 1.1. Delafosit CuFeO_2 'nin kristal yapısı (Zhang, vd., 2017)

Delafosit CuFeO_2 kristalinin katyon bantlarında meydana gelen değişim nedeniyle stokiyometri dışı oksijenin etkisinde olduğu söylenebilir. Bu çalışmada, Fe koordinesinde krom atomları yer değiştirmiş ve Fe'nin valans bandındaki elektronik hareketliliği incelenmiştir. Ayrıca krom ilavesi ile fotoelektronların elektriksel özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İkame edilen krom atomları Fe koordinasyonunda yer alma isteğinde bulunmuş ve oksijen atomlarına bağlanıp kristalin üyesi olmayı tercih etmişlerdir.

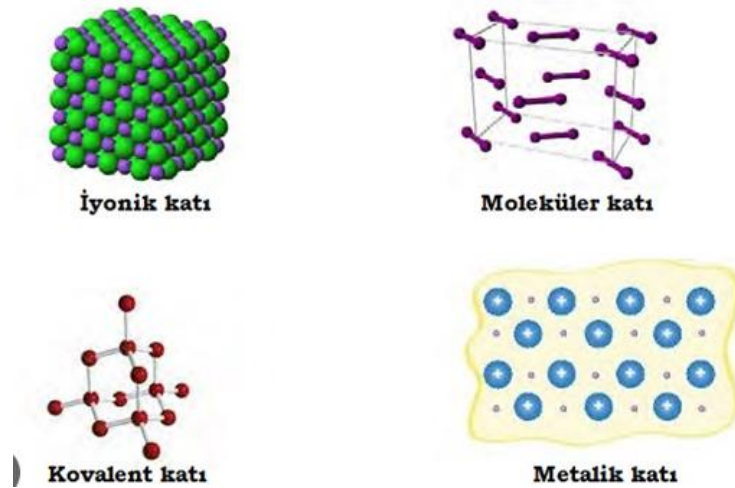
1.1. Katı Cisimlerin Kristal Yapıları

Belirli bir şekle sahip, dış etkilere maruz kaldığında şekli bozulmayan maddelere katı denir. Katı halde bulunan maddeler amorf ve kristal yapılar şeklindedir. Amorf yapı katılarda (katı, cam, plastikler) atom ve moleküller uzayda belirli bir düzene göre dizilmemiştir. Atom ve molekülleri uzayda belirli bir düzene göre dizilmiş olan yapılar ise kristal yapılardır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. a) Kristal yapı, b) Amorf yapı.

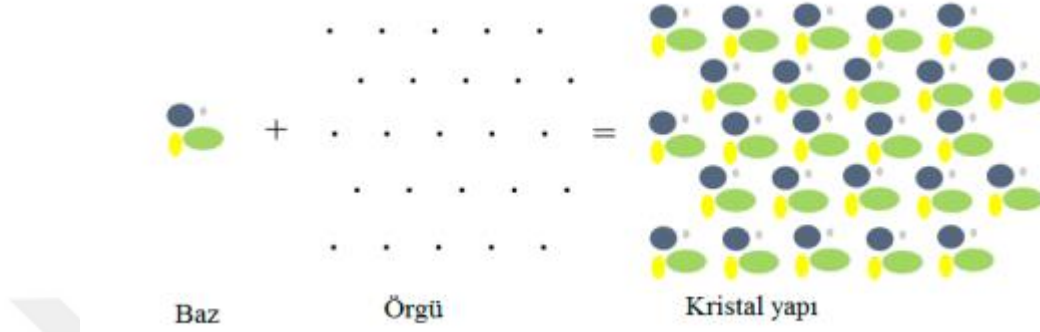
Kristal yapıları katılar örgü noktalarında bulunan taneciklere göre, iyonik katılar, moleküler katılar, kovalent katılar ve metalik katılar olarak sınıflandırılabilir (Şekil 1.3). İyonik katıların, örgü noktalarında pozitif ve negatif yüklü iyonlar bulunur. Bu sebeple iyonik kristaller sert ve kırılmandır. Erime ve kaynama noktaları yüksektir ve geometrik şekilleri belirlidir. Elektrik iletirler (NaCl, CaCO₃, FeS₂ vs). Moleküler katıların örgü noktalarında molekülleri bir arada tutan kuvvetler dipol-dipol veya zayıf London kuvvetleridir. Bu nedenle yumuşaktırlar ve erime noktaları düşüktür. Erimiş halde elektrik iletmezler (H₂O, naftalin, benzen vs). Kovalent katıların, örgü noktalarında kovalent bağlı atomlar bulunur. Atomik kristal denilen her atomun birbirine bağlandığı dev yapıdadırlar. Elmas kristali örnek olarak gösterilebilir. Metalik katıların, örgü noktalarında pozitif yüklü metal iyonlar bulunur ve metaller yüksek yoğunluklu katılardır; elektrik ve ısıyı iletirler.



Şekil 1.3. Kristal yapıları katıların modellenmesi

Çevremizdeki birçok madde kristal yapıya sahiptir. Bir kristal madde birden fazla kırılma bile yapısında değişiklik olmaz; moleküllerin diziliş düzeni değişmez. Kristaller

örgü ve baz ile tanımlanırlar. Örgü, merkez olarak seçtiğimiz her noktada aynı görünüme sahip olan sonsuz noktanın oluşturduğu düzendir. Örgü içerisindeki tüm noktalar eşittir (Turton, 2007). Örgüdeki düğüm noktalarında bulunan atomlar ise bazdır. Baz, uzayda kendini tekrar ettiği zaman kristal yapıyı oluşturur (Şekil 1.4).



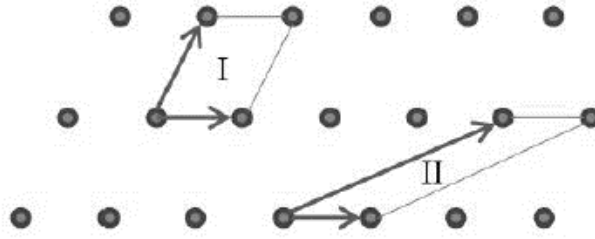
Şekil 1.4. Kristal yapı

1.2. İlkel Hücre

Bir kristal örgü a_1 , a_2 , a_3 gibi üç öteleme vektörü ile tanımlanabilir. r konumlu bir yerde atomlar dizilmiş ise r' konumlu yerde aynı dizilişe sahip olur:

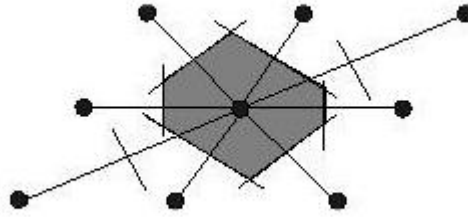
$$r' = r + n_1a_1 + n_2a_2 + n_3a_3 \quad (1.1)$$

Bu ifadede n_1 , n_2 ve n_3 tam sayı değerlerini alan katsayılardır. Atomların dizilişine ve r' noktalarından bakıldığında, aynı kalmak kaydıyla n_1 , n_2 , n_3 tam sayıları daima bulunabiliyorsa a_1 , a_2 , a_3 vektörleri ilkel öteleme vektörleridir. Bu vektörlerle kristalin en küçük hücresi oluşturulmuş olur. a_1 , a_2 , a_3 eksenleri ile belirtilen paralelkenara ilkel hücre denir. İlkel hücre, kristal öteleme işlemini tekrarlar ve uzayı doldurur. En küçük hacimli hücredir. Şekil 1.5'te I. ve II. bölgeler tek örgü noktası olduğundan ilkel örgü hücresidir.



Şekil 1.5. İlkel örgü hücreleri

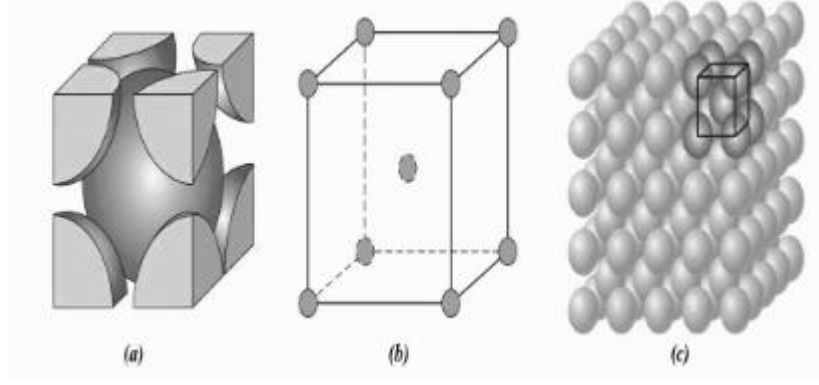
Wigner-Seitz hücresi ters örgüde ilkel hücredir. Bu hücre, orijin noktasına göre simetriktir. İki boyutlu minimum alanlı hücredir. İlkel hücreyi oluşturmak için merkez bir örgü noktasından yakındaki örgü noktalarına doğrular çizilir. Daha sonra doğruların orta dikmelerine gelecek şekilde doğrular çizilir oluşan minimum alanlı bölge Wigner-Seitz ilkel hücresidir (Kittel, 1996).



Şekil 1.6. Wigner-Seitz ilkel hücresi (Kittel, 1996)

1.3. Birim Hücre

Birim hücre, kristal ile aynı özellikleri gösteren en küçük parçadır. Birim hücre kristale göre ilkel hücre ile aynı veya birkaç ilkel hücreden oluşabilir. Birim hücrelerin arasında boşluk yoktur, özdeşdir ve kristal yapının simetrisidir. Şekil 1.7’de hacim merkezli bir kübik yapı görülmektedir. Şekilde (a) sert küre birim hücre, (b) indirgenmiş küre birim hücre, (c) birçok atomdan oluşan istif görülmektedir.

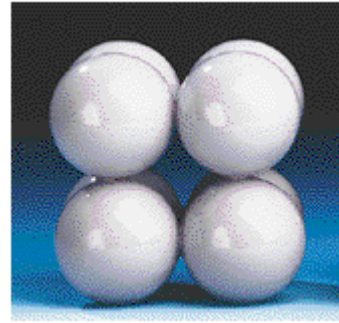
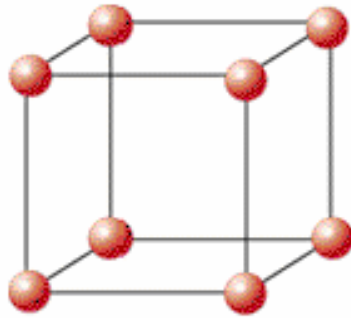


Şekil 1.7. Kristal yapıdaki birim hücre.

1.4. Bravais Hücreleri Yapı Türleri

1.4.1. Basit Kübik Yapı (sc)

Basit kübik yapı, kristal yapının en basit halidir. Bütün kenarlarının uzunlukları eşit ve açıları 90° 'dir. Köşelerde bulunan her bir atomu sekiz kübik yapı paylaşır. Basit kübik yapının sekiz tane köşesinde sekiz adet atom bulunmaktadır. Bu sebeplerle $8 \cdot \frac{1}{8} = 1$ ifadesinden yola çıkarak, 1 tane örgü noktasına sahiptir. Atomların en yakın komşu sayısı 6'dır. ADF (Atomik Dolgu Faktörü) % 54'tür (Şekil 1.8).

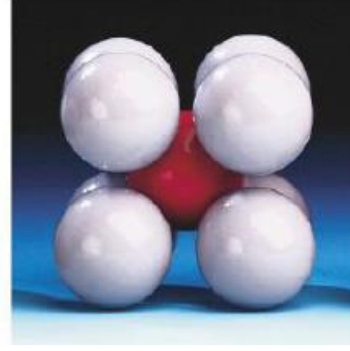
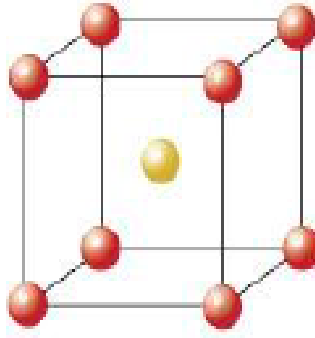


Şekil 1.8. Basit kübik yapı.

$$\text{ADF} = \frac{\text{Birim Hücredeki Atomların Hacmi}}{\text{Birim Hücresinin Hacmi}} = 0.54 \quad (1.2)$$

1.4.2. Hacim Merkezli Kübik Yapı (bcc)

Hacim merkezli kübik yapı, basit kübik yapı ile merkezindeki ilave bir atomdan oluşan sistemdir. 2 örgü noktasına sahiptir ve atomların en yakın komşu sayısı 8'dir. ADF % 68'dir (Şekil 1.9).

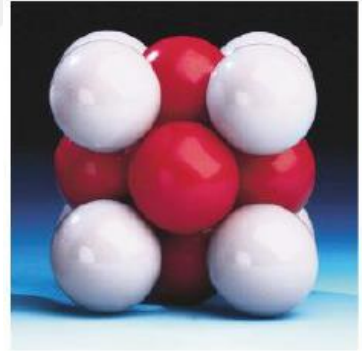
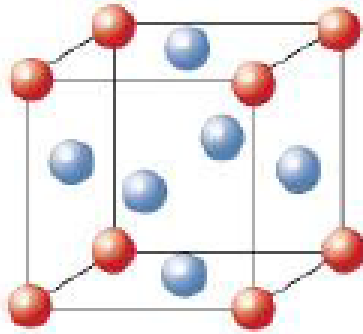


Şekil 1.9. Hacim merkezli kübik yapı.

$$ADF = \text{Birim Hücredeki Atomların Hacmi} / \text{Birim Hücresinin Hacmi} = 0.68 \quad (1.3)$$

1.4.3. Yüzey Merkezli Kübik Yapı (fcc)

Yüzey merkezli kübik yapı, basit kübik yapı ile 6 yüzeyinin merkezinde bulunan atomlardan oluşan sistemdir. 4 örgü noktasına sahiptir. Atomların en yakın komşu sayısı 12'dir ve ADF % 74'tür (Şekil 1.10).



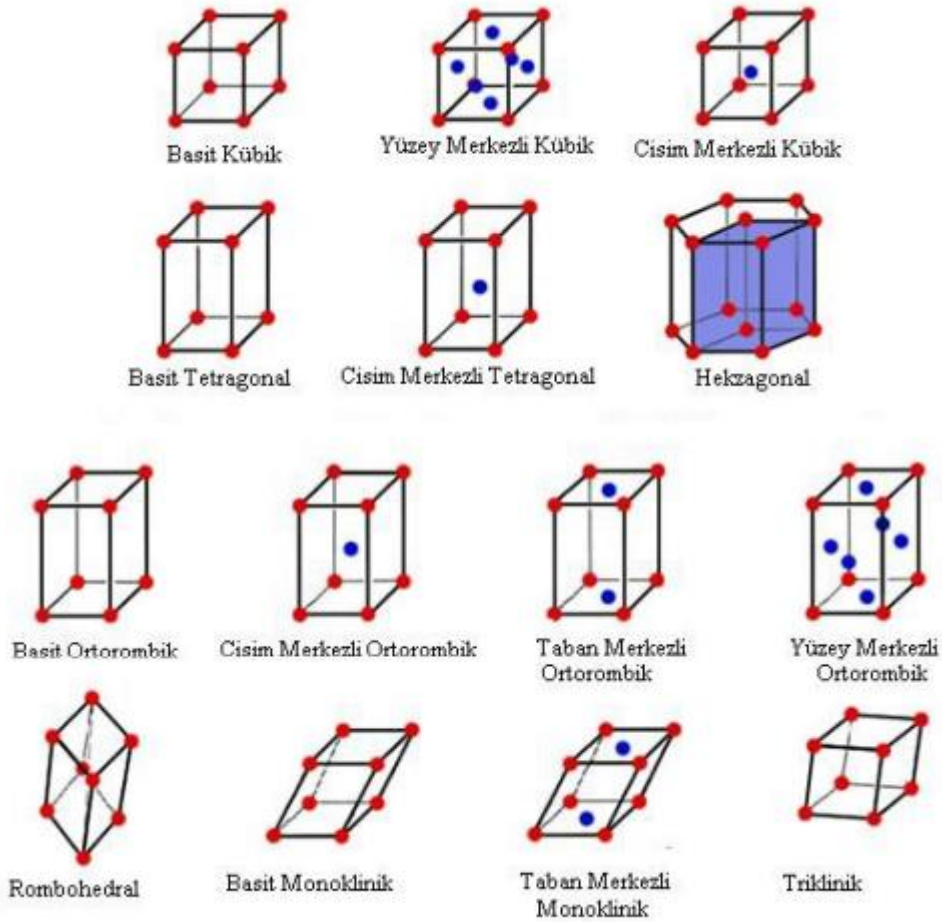
Şekil 1.10. Yüzey merkezli kübik yapı.

$$ADF = \text{Birim Hücredeki Atomların Hacmi} / \text{Birim Hücresinin Hacmi} = 0.74 \quad (1.4)$$

1.4.4. Taban Merkezli Yapı

Dikdörtgen prizmanın 8 köşesine ilaveten, taban ve tavan yüzeylerinin merkezine birer tane atom yerleşmiştir. Yüzeylerdeki bu atomlar iki tane kübik yapı tarafından paylaşılır. 2 örgü noktasına sahiptir ve atomların en yakın komşu sayısı 4'tür. Uzayda yedi tane kristal sistemi oluşturulabilir. Bu sistemler, triklinik, monoklinik, ortorombik, tetragonal, kübik, trigonal (rombohedral) ve hekzagonal kristal sistemleridir. Birim hücrelerin bir kısmında cisim merkezinde, bir kısmında yüzey

merkezlerinde, bir kısmında taban merkezlerinde de örgü noktası bulunabilir. Sonuçta, on dört Bravais örgüsü elde edilmektedir (Dikici, 2012). Fransız fizikçi Auguste Bravais, her bir kristal türünde, atomların farklı dizilişleri sebebiyle on dört farklı kristal örgüsü türü olabileceğini söylemiştir (Sarıkaya, 1997). Bu şekilde oluşan kristallerin birim hücrelerine Bravais hücreleri denir. Bravais örgüleri, birim hücrenin kenar uzunlukları, bu kenarlar arasında bulunan açılar ve hücre içinde bulunan atomların yerleşimlerine göre çeşitlere ayrılır (Gezci, 1992). On dört Bravais örgü yapısı Şekil 1.11’de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Bravais hücreleri

Çizelge 1.1’de yedi farklı kristal sistemdeki örgü vektörleri, örgü vektörlerinin aralarındaki açılar ve Bravais yapıları verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kristal sistemleri ve Bravais örgüleri (Gezci, 1992)

Sistem	Eksen uzunlukları ve açıları	Bravais Örgüsü
Kübik	Eksenlerin üçü de birbirine eşittir. Açılar 90° 'ye eşittir. $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Basit Cisim-merkezli Yüzey-merkezli
Tetragonal	Eksenlerden ikisi birbirine eşittir. Açılar 90° 'ye eşittir. $a = b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Basit Cisim-merkezli
Ortorombik	Eksenlerin üçü de birbirine eşit değildir. Açılar 90° 'ye eşittir. $a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Basit Cisim-merkezli Taban-merkezli Yüzey-merkezli
Rombohedral	Eksenlerin hepsi birbirine eşittir. Açıların hepsi birbirine eşittir. $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Basit
Hekzagonal	Eksenlerin ikisi birbirine eşittir. Açılardan ikisi 90° , üçüncüsü 120° 'dir. $a = b \neq c$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ 'dir.	Basit
Monoklinik	Eksenlerin üçü de birbirine eşit değildir. Eksenlerden ikisi birbirine eşit ve 90° 'dir. $a \neq b \neq c$, $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Basit Taban-Merkezli
Triklirik	Eksenlerin üçü de birbirinden farklıdır Açıların üçü de birbirinden ve 90° 'den farklıdır $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Basit

1.5. Kristal Düzlemlerinin Belirlenmesi

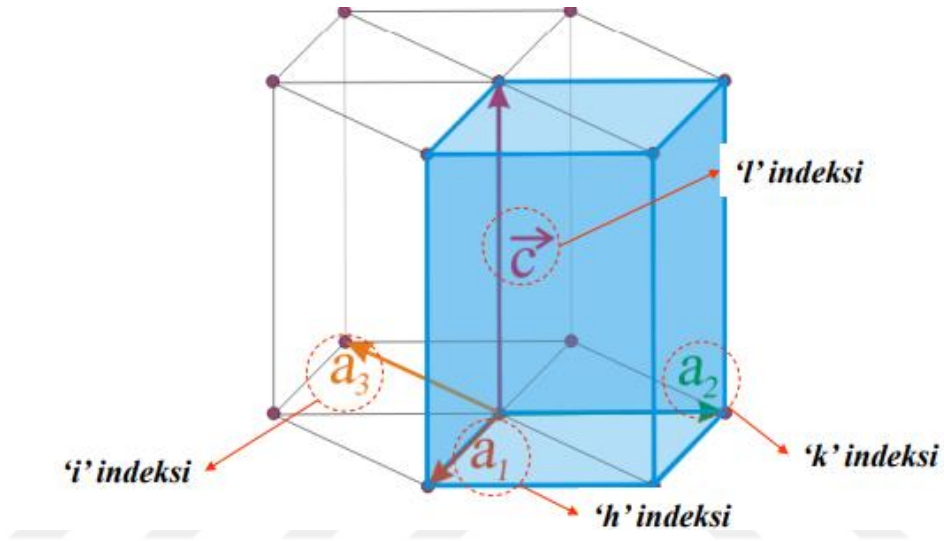
Kristallerde doğrultuları ve düzlemleri göstermek için özel gösterimler kullanılır. Başlangıç noktasından herhangi bir uvw noktasına çizilen doğrultu düşünüldüğünde $[uvw]$ gösterimi uvw doğrultusunu gösterir. Kristalde simetri olması sebebiyle içindeki birçok doğrultu özdeştir. Miller indisleri, başlangıç noktası verilmeden, kristaldeki yüzeyler ve düzlemler belirlenirken kullanılabilir. Düzlemin kristal eksenlerini kestiği noktalar birim vektörler (a , b , c) cinsinden bulunur ve bu sayıların tersleri alınır. Sayılar ortak çarpanla en küçük hale getirilir (h , k , l). Bu (hkl) sayı kümesi düzlemin indisidir. Kesim noktaları negatifse ($-$) işareti konulur.

Miller indisleri, tek düzlemi veya paralel düzlemleri gösterir. Büyük parantezdeki miller indisleri, bir forma ait düzlemler takımını gösterir.

Kübik kristalin yüzeyler takımı Miller indisleri ile gösterilecek olursa;

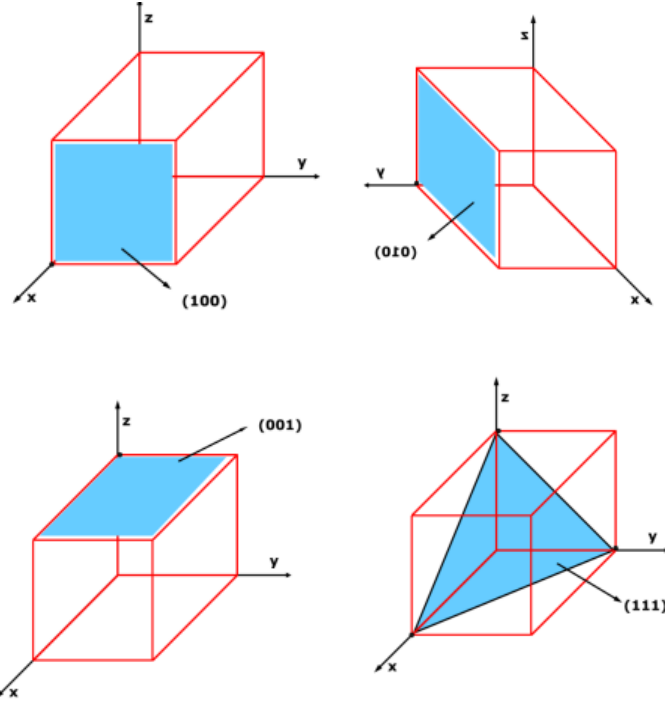
$$\{1,0,0\} = (1,0,0) + (0,1,0) + (0,0,1) + (1,0,0) + (0,1,0) + (0,0,1) \quad (1.5)$$

şeklindedir. Bu formdaki düzlemler aynı atomik düzenlemedir. Miller indislerini kullanırken, hekzagonal kristal yapıda a_1 , a_2 ve c eksenleri ile düzlemler belirlenebilir. Ancak böyle bir yapı için, üç yerine dört eksen kullanılır. Eksenler a_1 , a_2 , a_3 ve c olarak belirlenmişse bu eksenlere karşılık gelen indisler (hkil) olarak gösterilir. i ile gösterilen indis $-(h+k)$ şeklinde belirlenir. Hekzagonal kristal yapıda dört eksen Şekil 1.12’de gösterilmektedir (Durlu, 1992).



Şekil 1.12. Hekzagonal birim hücre

Kübik bir kristalde bazı önemli düzlemlerin Miller indisleri Şekil 1.13’de gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Kübik bir kristalde bazı düzlemler

1.6. Bazı Kristal Yapılar

1.6.1. Sodyum Klorür (NaCl) Kristal Yapısı

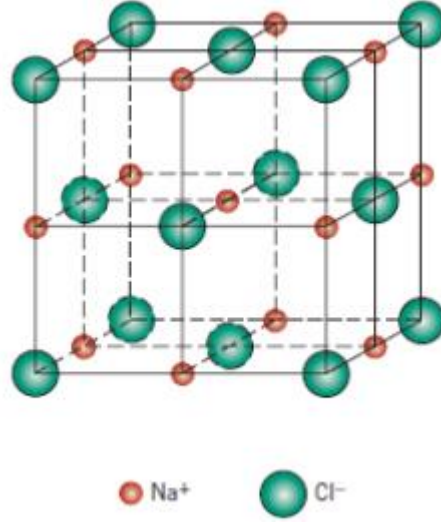
Sodyum klorür kristal yapısı, yüzey merkezli kübik (fcc) yapıdır. Köşelerinde ve yüzey merkezlerinde örgü noktası vardır. Köşelerdeki örgü noktalarından 1/8, yüzey merkezlerindeki örgü noktalarında 1/2 oranında atom katkısı gelerek doluluk oranını oluşturur. Bu kristalin bazı, bir adet Na^+ iyonu ve bir adet Cl^- iyonundan oluşmaktadır. Her bir ilkel küpte dört adet NaCl birimi vardır. Na ve Cl atomların konumları,

$$\text{Na } (1/2, 1/2, 1/2); (0, 0, 1/2); (0, 1/2, 0); (1/2, 0, 0) \quad (1.6)$$

$$\text{Cl } (0, 0, 0); (1/2, 1/2, 0); (1/2, 0, 1/2); (0, 1/2, 1/2) \quad (1.7)$$

şeklindedir.

Yapıda bir Na iyonu 6 adet Cl iyonu ile ve bir Cl iyonu 6 adet Na iyonu ile çevrilidir. Şekil 1.14'te NaCl'nin kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 1.14. NaCl Kristal yapısı

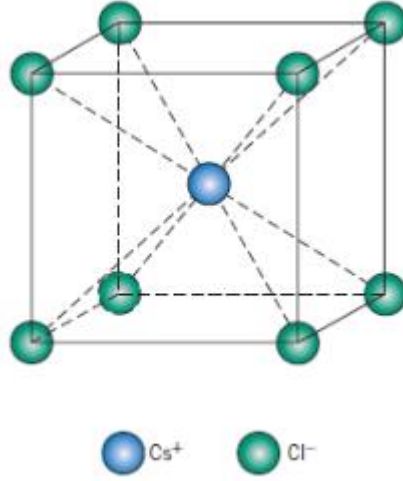
Yapıya örnek olarak LiH, MgO, MnO, NaCl, AgBr, PbS, KCl, KBr, CeSe, DyAs, GdN, BaS, PrBi, NaBr, LaP, UC, YN, YbO, ZrO yapıları verilebilir. Sodyum klorür yapısına benzer bazı kristaller Çizelge 1.2’de verilmiştir. Kübün bir kenar uzunluğu “a”, Å (Angstrom) cinsinden verilmiştir.

Çizelge 1.2. Sodyum klorür yapısında olan bazı kristaller (Kittel, 1996).

Kristal	LiH	MgO	MnO	NaCl	AgBr	PbS	KCl	KBr
(Å)	4.08	4.20	4.43	5.63	5.77	5.92	6.29	V

1.6.2. Sezyum Klorür (CsCl) Kristal Yapısı

Sezyum klorür kristal yapısı iki tane basit kübik yapının birleşimi şeklinde düşünülebilir. Bu kübik yapılar, biri ötekinin cisim merkezinden başlayacak şekilde iç içe geçmiştir. Cs atomu (0,0,0)’da, Cl atomları ise (1/2,1/2,1/2)’de yer almaktadır. Her atomun en yakın sekiz tane komşusu vardır. Şekil 1.15’te CsCl’nin kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 1.15. CsCl kristal yapısı

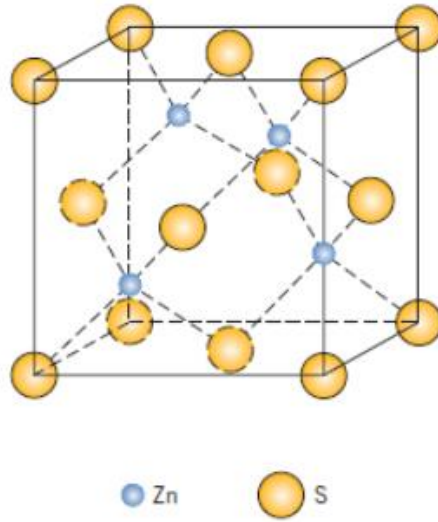
Sezyum klorür kristal yapısında olan bazı kristaller Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Sezyum klorür yapısında olan bazı kristaller (Kittel, 1996).

Kristal	BeCu	AlNi	CuPd	AgMg	LiHg	TlBr	CsCl	TlI
(Å)	2.70	2.88	2.99	3.28	3.29	3.97	4.11	4.29

1.6.3. Kübik Çinko Sülfür (ZnS) Yapısı

Kübik çinko sülfür, yüzey merkezli kübik yapıdır. İlkel hücrede dört adet ZnS molekülü bulunur. Bu örgü yapısının bir tanesine Zn atomları, diğerine ise S atomları yerleşir. İlkel hücre küp şeklindedir. Şekil 1.16’da kübik çinko sülfürün kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 1.16. ZnS kristal yapısı

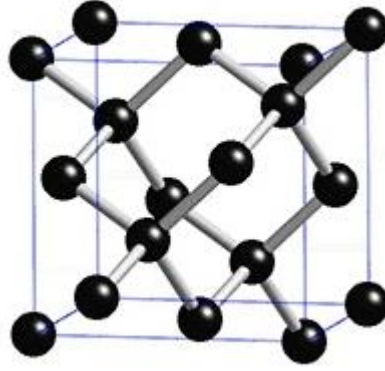
Kübik çinko sülfid kristal yapısında olan bazı kristaller Çizelge 1.4’te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Kübik çinko sülfid yapısında olan bazı kristaller (Kittel, 1996).

Kristal	CuF	SiC	CuCl	ZnS	ZnSe	GaAs	AlAs	CdS
(Å)	4.26	4.35	5.41	5.41	5.65	5.65	5.66	5.82

1.6.4. Elmas Yapısı

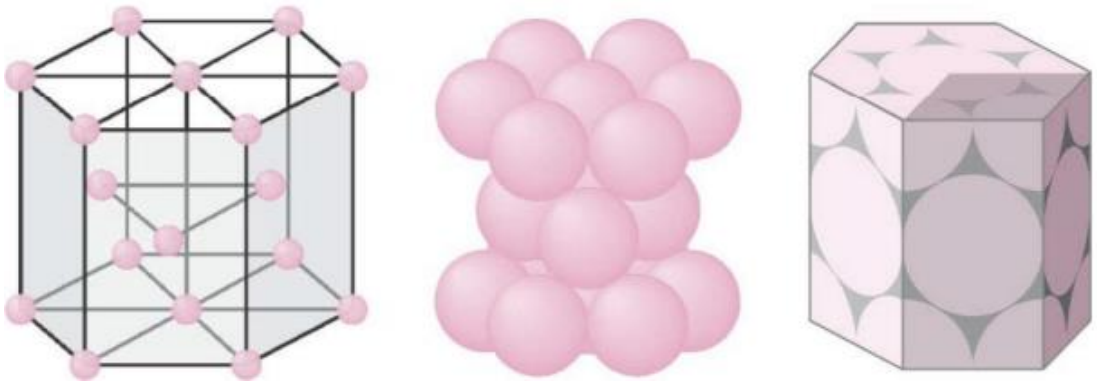
Elmas, yüzey merkezli kübik (fcc) örgü yapısındadır. Kristal yapısı ZnS’ye benzer ancak bütün boşluklar C tarafından doldurulmuştur. Bir karbon her 4 karbona kovalent bağlanmıştır. Her noktaya bağlı ilkel bazda $(0,0,0)$, $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$ konumlarında aynı iki atom vardır. İlkel küp sekiz adet atom içerir. Her atomun komşu sayısı dört adet, diğer en yakın komşu sayısı on iki adettir. Hacim oranı 0.34’tür. Bu oran, hekzagonal sıkı paket yapı (hcp) ile yüzey merkezli kübik (fcc) yapıya benzer şekilde istiflenmiş yapıların doluluk oranının 0.46’sı demektir. Doğada karbon, silisyum, germanyum ve kalayın kristal yapısı elmas yapıya benzer. Şekil 1.17’de elmasın kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 1.17. Elmas kristal yapısı

1.6.5. Hegzagonal Sıkı Yapı (hcp)

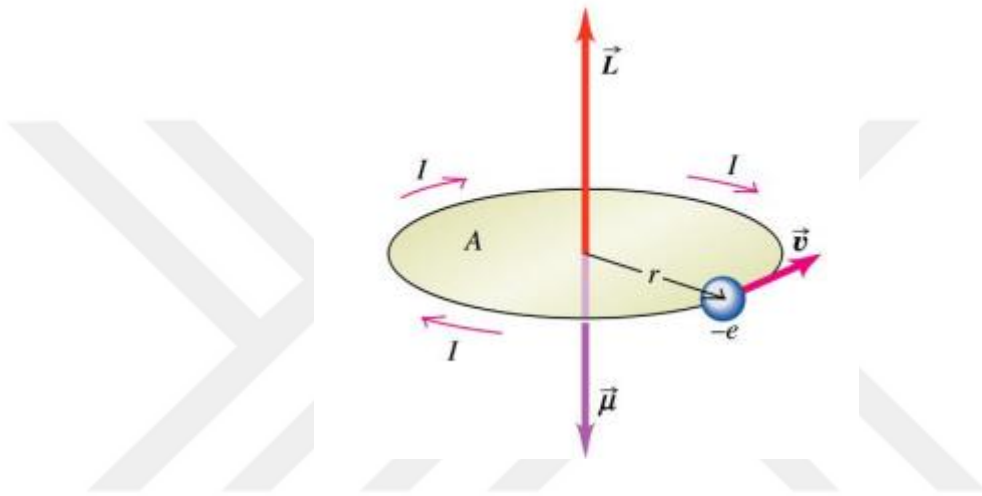
Yüzey merkezli kübik (fcc) yapı ve hegzagonal sıkı (hcp) yapının özdeş küreleri, aralarındaki boşluklar minimum olacak şekilde istiflenmiştir. Sözü edilen yapıların ikisi de sıkı paket yapısıdır. Her bir küre altı adet küreye istiflenecek şekilde sıkı paket tabakası oluşur. Bu tabaka, hegzagonal sıkı yapının taban düzlemi veya yüzey merkezli kübik yapının (1,1,1) düzlemi olur. Tabakanın üzerine diğer tabaka, her bir küre tabandaki üç adet küreye istiflenerek yerleşir. Üzerine de üçüncü bir tabaka yerleşir. Üçüncü tabakada bulunan atomlar, birinci tabakada bulunan atomların üzerine gelerek yerleşir ve hegzagonal sıkı yapı oluşur. Hegzagonal sıkı yapı, hegzagonal ilkel hücredir ve bazında iki adet atom vardır (Dikici, 1993). Şekil 1.18’de hegzagonal sıkı paket yapı (hcp) görülmektedir.



Şekil 1.18. Hegzagonal sıkı paket yapı (hcp)

1.7. Manyetizma

Elektronlar, çekirdek etrafında r yarıçaplı bir yörüngede v hızı ile dolandığında I akımı oluşmaktadır. Oluşan bu akım manyetik moment ve manyetik alanı oluşturur. Elektronların çekirdek etrafındaki açısal momentumları, uygulanan manyetik alan ve momentumlarında meydana gelen değişiminin vektörel olarak toplamı, atomun manyetik momentine eşittir. Açısal momentum ve manyetik moment zıt yönlüdür. Şekil 1.19’da akım taşıyan bir halkanın manyetik momenti görülmektedir.



Şekil 1.19. Akım taşıyan bir halkanın manyetik momenti

Mıknatıslanma, maddenin birim hacminin manyetik momentidir. M ile gösterilir ve malzemeye dışarıdan uygulanan manyetik alan (H) ile orantılıdır. Maddenin alınganlığı (χ) orantı sabitidir.

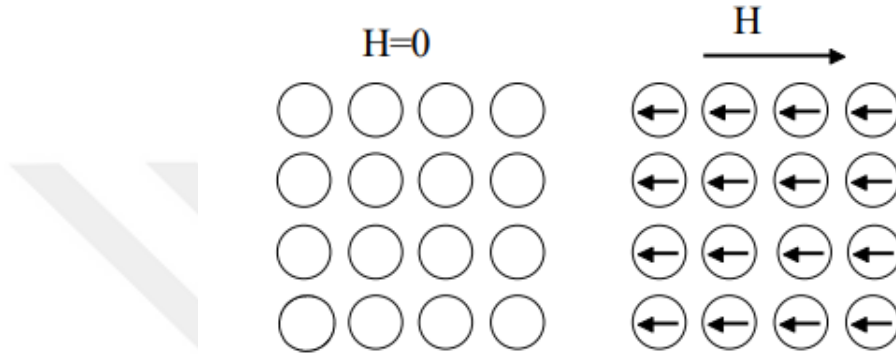
$$\chi = M / H \quad (1.8)$$

Malzemeler, manyetik özellikleri bakımından diyamanyetik, paramanyetik, ferromanyetik, antiferromanyetik ve ferrimanyetik malzemeler olarak gruplandırılabilir.

1.7.1. Diyamanyetizma

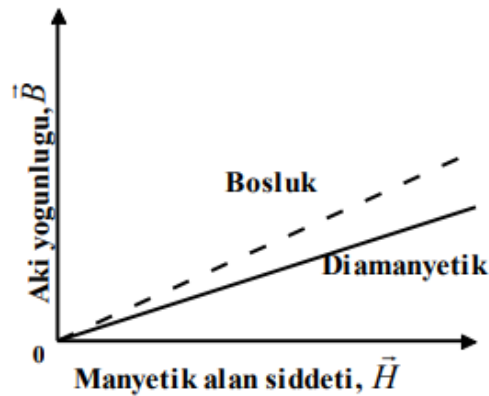
Kalıcı olmayan, manyetizmanın çok zayıf olan haline diyamanyetizma denir. Dışardan manyetik alan uygulandığında manyetik özellikler devam eder. Bu manyetik alan elektronların hareketinde değişime neden olur. Manyetik moment çok küçüktür ve

manyetik alan ile zıt yönlüdür. Bağıl geçirgenlik μ_r küçüktür ve manyetik alınganlık negatiftir. Diyamanyetik madde içerisinde manyetik alanının büyüklüğü boşluktakinden daha azdır. Diyamanyetik malzemelerde alınganlığın şiddeti (χ) 5-10 değerindedir. Diyamanyetik malzemeler elektromıknatısın kutupları arasında kaldığında, alanın zayıf olduğu yerlere doğru çekilirler. Şekil 1.20’de diyamanyetik malzemelerde manyetik alanın varlığında ve yokluğunda atomik dipol düzeni görülmektedir.



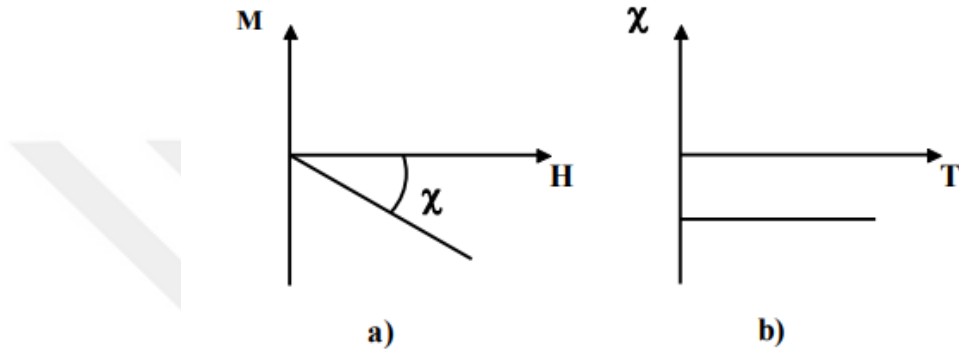
Şekil 1.20. Diyamanyetik malzemelerde manyetik alanın etkisi

Şekilde görülen oklar atomik dipol momentleri gösterir. Dış manyetik alan uygulanmadığında dipol yoktur, manyetik alan uygulandığında ise alana zıt yönde yönelmiş dipoller oluşur. Diyamanyetik malzemelerde manyetik alanın dış alan H 'ye bağlılığını ifade eden grafik şekil 1.21’de gösterilmiştir.



Şekil 1.21. Diyamanyetik malzemenin B 'nin dış alan H 'ye bağlılığı.

Maddeye manyetik alan uygulandığında madde içerisinde bulunan elektronların ivmelenmesine neden olan elektromotor kuvvet (emk; Faraday yasası) oluşturur. Lenz yasasına göre, oluşan elektrik akımı, uygulanan manyetik alanı azaltacak şekilde ve yöndedir. Bu nedenle mıknatıslanma uygulanan alana zıt yönde oluşur (Kervan, 2001). Manyetik alınganlık χ diyamanyetik malzemelerde negatif değer alır ve sıcaklığa minimum bağlıdır. Şekil 1.22’de diyamanyetik malzemelerde manyetizasyonun alana bağlılığı ve manyetik alınganlığın sıcaklıkla değişimi görülmektedir.



Şekil 1.22. Diyamanyetik malzemede (a) manyetizasyonun alana bağlılığı ve (b) manyetik alınganlığın sıcaklıkla değişimi.

Bir örneğin diyamanyetik özelliği ile oluşturulan bağıntılar nicel olarak tanımlanabilir. Elektromanyetik alanların noktasal yük üzerinde oluşturduğu elektrik ve manyetik kuvvetlerin bileşkesine Lorentz kuvveti denir. Manyetik alan uygulandığında I akımı oluşan bir iletkenin Δl parçası için Lorentz kuvveti,

$$F = I \Delta l \times B \quad (1.9)$$

şeklinde verilir. Serbest uzayda ise bu ifade,

$$F = \mu_0 I \Delta l \times H \quad (1.10)$$

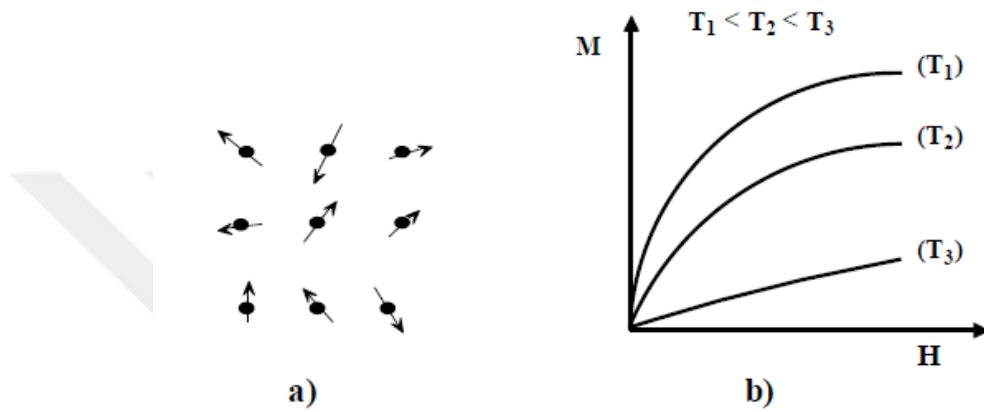
şeklini alır. v hızında tek elektron yükünün hareketi düşünüldüğünde ise

$$F = \mu_0 e v \times H \quad (1.11)$$

ifadesi elde edilir.

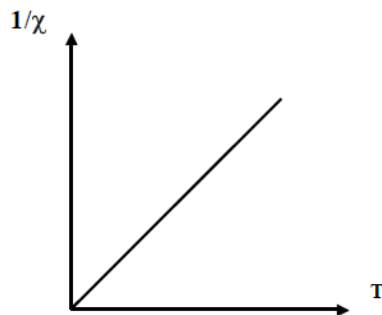
1.7.2. Paramanyetizma

Paramanyetik malzemelerin manyetizma nedeni atomların veya iyonların sürekli manyetik momentleridir. Serbest atomların paramanyetizması, momentlerin birbirlerinin etkileşimlerini ihmal etmesi ve herhangi bir yönde serbest bir şekilde yönelebilmesi sonucu oluşur. Şekil 1.23'te serbest atomların manyetizması ve manyetizasyonun sıcaklığa bağlı değişimi gösterilmiştir (Gignoux, vd., 2005).



Şekil 1.23. (a) Serbest atomların manyetizması (b) Manyetizasyonun sıcaklıkla değişimi

Manyetik alan, momentlerin yönelimini değiştirir ve indüklenmiş manyetizasyon alana paralel olur. Yüksek sıcaklıklarda manyetizasyon daha azdır (Şekil 1.23.b). Sıcaklık arttığı zaman manyetizasyonun değişimi doğrusal olur ve pozitifdir. Düşük alan alınganlığı, 0 K'de sonsuzdur, sıcaklık arttığında ise azalır. İdeal durumlarda, alınganlığın tersi sıcaklıkla orantılı olarak değişim gösterir. Bu, Şekil 1.24'te görülen Curie yasasıdır.



Şekil 1.24. Paramanyetizmanın Curie yasası.

Saf malzemelerde düşük sıcaklıklarda Curie yasasından sapma gözlemlenebilir. Sapmaların katkılardan biri Van Vleck paramanyetizmasıdır. Pauli paramanyetizması metallerde, iletim elektronları alınganlığın sıcaklıktan bağımsız olduğu paramanyetizmadır. Paramanyetizma, çiftlenmemiş elektron spinidir. Farklı elektron yapılanması nedeniyle elektron spinlerinin yönelimleri değişebilir. Bu sebeple bazı sıcaklıklarda, rastgele yönelebilirler. Metalde iletim bandındaki elektronların düzenlenmesi paramanyetizmadır. Manyetik alan uygulandığında, manyetizasyon alana paralel olur. Manyetizasyon dış alanla orantılıdır. T mutlak sıcaklık, alınganlıkla ters orantılıdır. Bu olay Curie-Weiss yasası olarak bilinir. Paramanyetik maddelerde alınganlık 10^{-3} ile 10^{-5} arasındadır ve pozitifdir (Stefanita, 2008).

Paramanyetik malzemelerin alınganlığı,

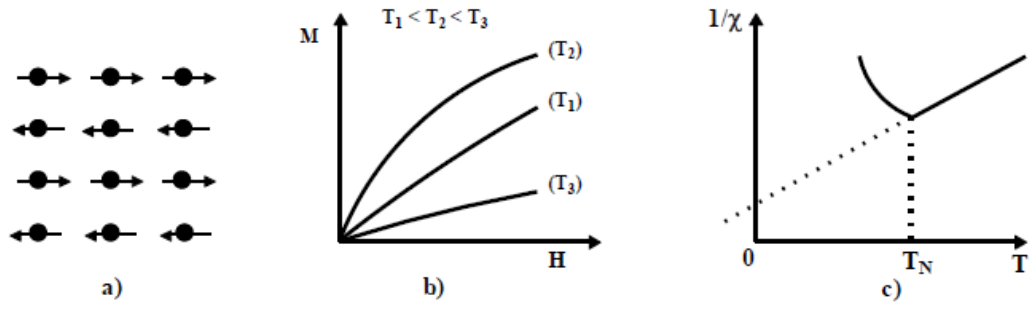
$$\chi^{\text{para}} > 0 \quad (1.12)$$

$$\chi^{\text{para}} = \chi^{\text{para}}(T) \quad (1.13)$$

ile ifade edilebilir.

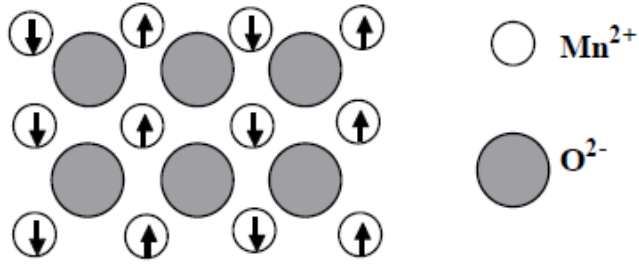
1.7.3. Antiferromanyetizma

Antiferromanyetizma, manyetizmanın zayıf bir halidir. T_N Neel sıcaklığı şeklinde adlandırılan bir değerde alınganlığın tersiyle sıcaklığın değişimi minimumdur (Şekil 1.25.c). T_N sıcaklığının altındaki alınganlıkta olan maksimum değer, manyetik momentlerin paralel olmayan düzenlenmesi sebebiyledir. Manyetik alanın yokluğunda manyetizasyon sıfırdır (Şekil 1.25.a). Momentlerin paralel olmama nedeni, negatif değiş tokuş etkileşimi ile komşu atomlar arasında olan etkileşimlerdir. Etkileşme sonucu momentleri paralel sıralama isteğinde olan madde, uygulanan alana karşı koyar. Sıcaklık T_N sıcaklığı altında kaldığında, alınganlık azalır. Yüksek sıcaklıkta ise ısısal dalgalanma etkileşmeyi azaltır (Şekil 1.25.b ve 1.25.c) (Gignoux, vd., 2005).



Şekil 1.25. Antiferromanyetizma (a) spin örgüsü (b) $M(H)$ (c) $\chi^{-1}(T)$.

Antiferromanyetik malzemeye örnek olarak, mangan oksit (MnO) gösterilebilir. Mn^{2+} ve O^{2-} iyonlarına sahiptir. Seramik malzemedir ve atomların dizilişi Şekil 1.26'da gösterilmiştir. Zıt manyetik momentler birbirlerini yok eder ve katı net bir manyetik momentte olmaz (Szytula, vd., 1981).



Şekil 1.26. Antiferromanyetik mangan oksitin manyetik momentleri

1.7.4. Ferromanyetizma

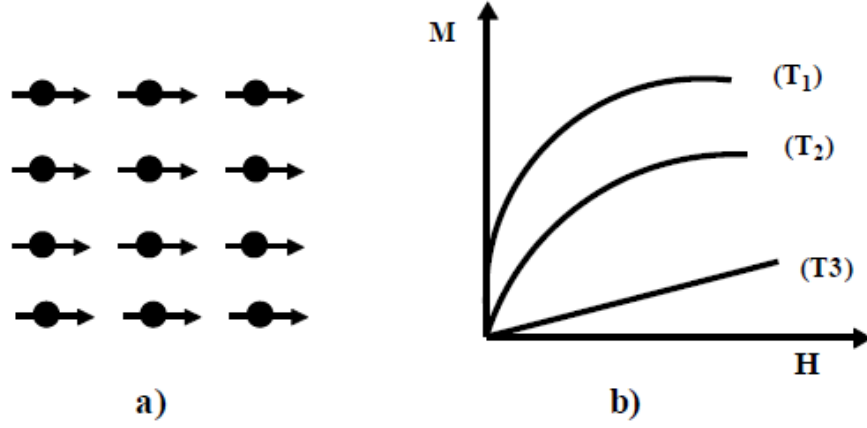
Dışardan uygulanan bir alan olmadan da kalıcı manyetik momente sahip malzemeler ferromanyetik malzemelerdir. Demir, geçiş metali iyonları, kobalt, nikel ve bazı metaller bu özelliği göstermektedir. Ferromanyetik malzemelerde manyetik alınganlık 10^6 civarındadır ve $H \ll M$ 'dir. Ferromanyetik malzemelerde manyetik akı yoğunluğu ve manyetizasyon arasında;

$$B \cong \mu_0 M \quad (1.14)$$

şeklinde bir ilişki vardır.

Ferromanyetik malzemeler, kaybolmayan elektron spinlerinin neden olduğu atomik manyetik moment nedeniyle kalıcı manyetik momente sahiptirler. Ferromanyetik

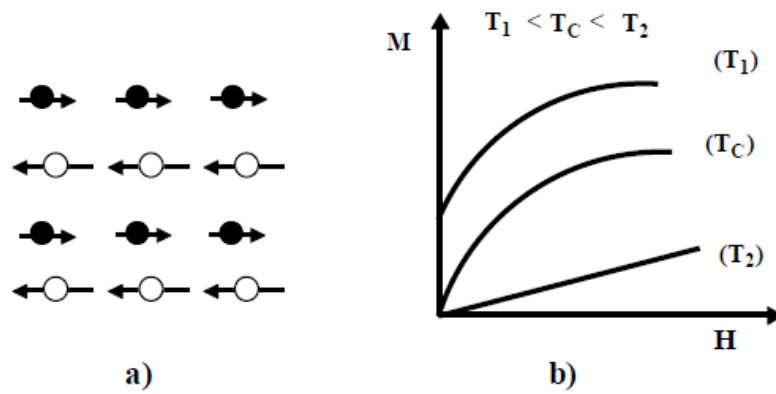
malzemede, etkileşmeler dışarıdan uygulanacak alanın yokluğunda da, aynı yönlü manyetik momentlere neden olur. Bu durum, Şekil 1.26.'da gösterilmiştir (Callister, 2007).



Şekil 1.26. Ferromanyetizma: (a) spin örgüsü ve (b) manyetizasyonun alana bağlılığı ($T_1 < T_C \leq T_2 < T_3$)

1.7.5. Ferrimanyetizma

Malzemenin ferrimanyetizma özelliği antiferromanyetik malzemeye benzer. Ancak iki alt örgünün manyetizasyonu farklıdır (Şekil 1.27.a). Şekil 1.27.b'de olduğu gibi T_C sıcaklığının altında iken manyetizasyon kendiliğinden oluşur. Sıcaklık bu aralıkta iken ferrimanyetik malzemenin makroskobik özellikleri ferromanyetik malzemenin özelliklerine benzemeye başlar (Gignoux, vd., 2005).



Şekil 1.27. Ferrimanyetizma: a) örgü spini, b) manyetizasyon eğrisi.

Ferrimanyetik malzemeler bir takım özellikleri nedeniyle ferromanyetik malzemelere benzerler. Ferrimanyetik malzemelerde spinler birbirlerine zıt şekilde yönelir.

Sıcaklıktaki artış, Curie sıcaklığında spinlerin rastgele yönelmesiyle sonuçlanır. Bu sıcaklıkta, ferrimanyetik malzemeler manyetizasyonunu kaybederek paramanyetik malzeme olur (Stefanita, 2008).

1.8. Curie Sıcaklığı ve Curie-Weiss Yasası

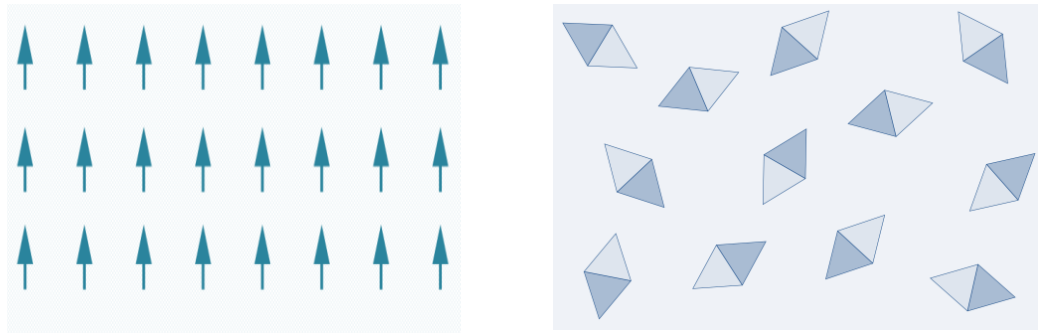
Ferromanyetik malzemeler, “Curie sıcaklığı” olan kritik bir sıcaklığa eriştiğinde veya bu sıcaklığı geçtiğinde kalıcı olarak mıknatıslanma özelliğini kaybederler. Curie sıcaklığının altındaki değerlerde manyetik momentler paralel olarak sıralanırlar. Bu yüzden malzeme ferromanyetiktir. Sıcaklık artarsa iyonlar maksimum titreşir ve bu diziliş bozulur. Sonunda paramanyetik hale geçerler. Momentlerin arasındaki etkileşim ihmal edildiğinde, duygunluk χ ,

$$\chi = M / H = C / T \quad (1.15)$$

denklemini ile verilir. Burada C, Curie sabitidir.

Ferromanyetik malzemelerde denklem (1.15) geçerli değildir. Ferromanyetik malzemelerde momentler birbirleriyle etkileşim halindedir. Manyetik momentlerin etkileşmesini Weiss moleküler alan teorisiyle açıklamıştır. Weiss teorisinde bir manyetik moment, diğer momentlerin manyetik alanının etkisi altındadır.

Şekil 1.28.a’da Curie sıcaklığının altında, Şekil 1.28.b’de ise Curie sıcaklığının üstünde manyetik momentlerin dizilimi görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 1.28. Manyetik momentlerin dizilimi (a) Curie sıcaklığının altında (b) Curie sıcaklığının üstünde

Ferromanyetik malzemeler, Curie sıcaklığında ve üstünde mıknatıs özelliğini kaybeder. Curie-Weiss yasasında duygunluğun sıcaklığa bağlılığı;

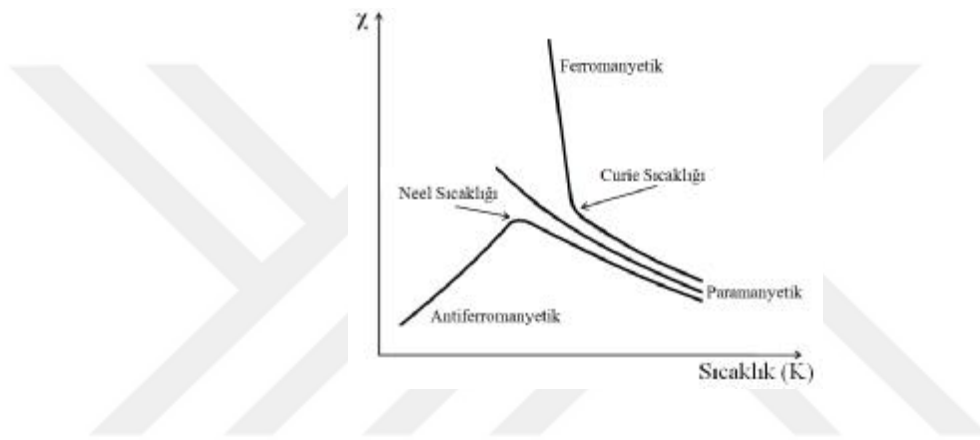
$$\chi = C/(T-Q) \quad (1.16)$$

denklemlerle gösterilir. Burada Q sıcaklık sabitidir ve antiferromanyetik ve ferrimanyetik malzemelerde negatif değerler alır.

Q = 0 olduğunda $\chi = M / H = C / T$ olur.

Q'nun (+) değer aldığı yerlerde malzeme geçiş sıcaklığının altında ferromanyetik olur.

Q'nun (–) değer aldığı yerlerde malzeme geçiş sıcaklığının altında antiferromanyetik olur.



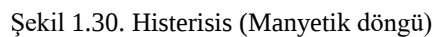
Şekil 1.29. Malzemenin Neel ve Curie sıcaklıklarındaki davranışları

Ferromanyetik ve antiferromanyetik olan maddelere ısı verildiği zaman manyetik olma özelliklerini kaybederler. Bunun sonucunda paramanyetik madde olurlar. Antiferromanyetik maddeler Neel sıcaklığının üstünde, ferromanyetik maddeler ise Curie sıcaklığının üstünde özelliklerini kaybederler.

1.9. Histerisis Döngüsü

Net manyetik momentlere sahip malzemelerde (ferromanyetik ve ferrimanyetik malzemeler) histerisis M-H eğrisi gözlemlenir. Sözü geçen eğri, malzemenin manyetik yönden sert veya yumuşak olduğunu, doyum mıknatıslanma değerini, kalıcı mıknatıslık değerini ve zorlayıcı alan değerini gösterir.

Şekil 1.30'da kesikli çizgi, malzemeye dış manyetik alan uygulanması sonucunda, manyetik bölgeler alan ile aynı yönde düzenlenir. Malzeme (a) ile belirtilmiş olan noktada mıknatıslanma değerine ulaşır. Manyetik alan azalıp sıfıra yaklaşmaya

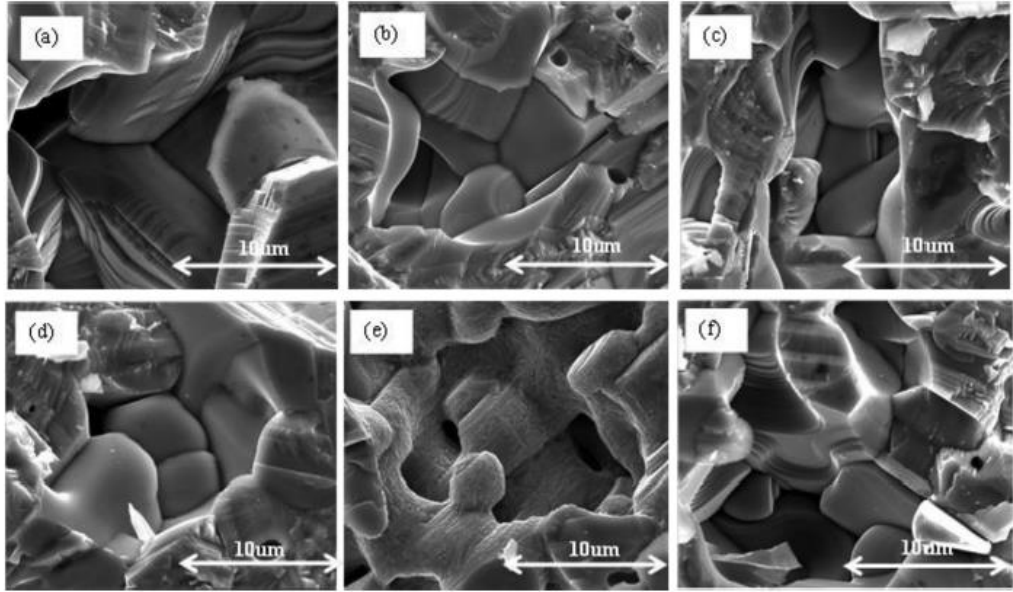


25

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

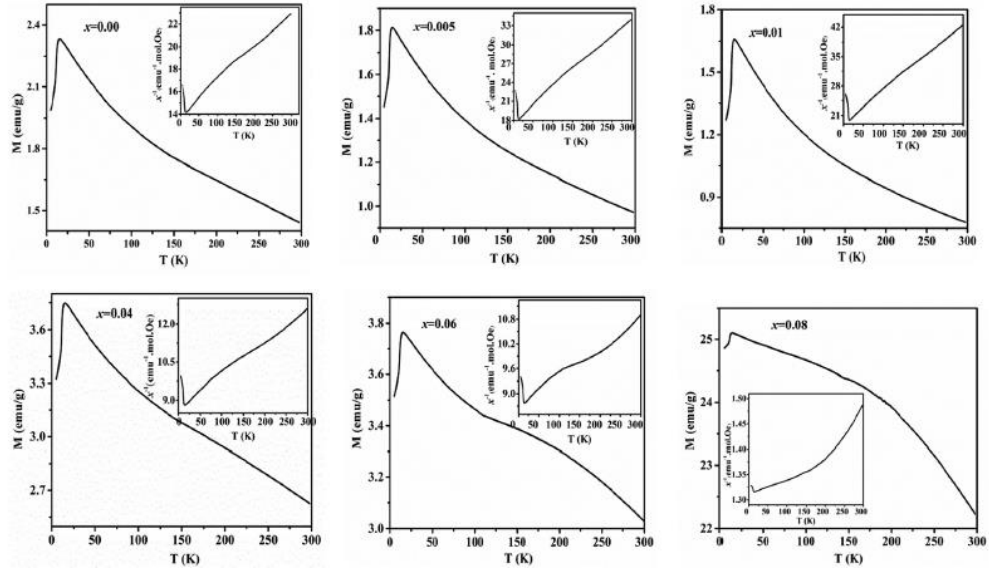
CuFeO_2 minerali 1873 yılında keşfedilmiştir. Bu keşfin ardından delafosit yapıdan bahseden araştırmacılar bu mineralin özelliklerine ilgi duyarak çalışmalarını bu mineralin fiziksel ve manyetik özellikleri üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Farklı katkılamalarla elde edilen numunelerin birçok farklı özelliği tespit edilmiş ve bu malzemelerin teknolojik alanlarda kullanılabilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

Haiyang Dai ve arkadaşları (2019), CuFeO 'ya Li katkılayarak malzemenin mikroyapı kusurları ile fiziksel özelliklerine etkisini multiferroik seramikler üzerinde yaptıkları çalışmalar ile incelemişlerdir. Örneklerde Li içeriği miktarı arttıkça ($x=0.006$ hariç) tane boyutu ve gözenekli yapının azaldığını ve tane sınırlarının giderek belirgin hale geldiğini Şekil 2.1'deki SEM görüntüleri ile gözlemlemişlerdir.



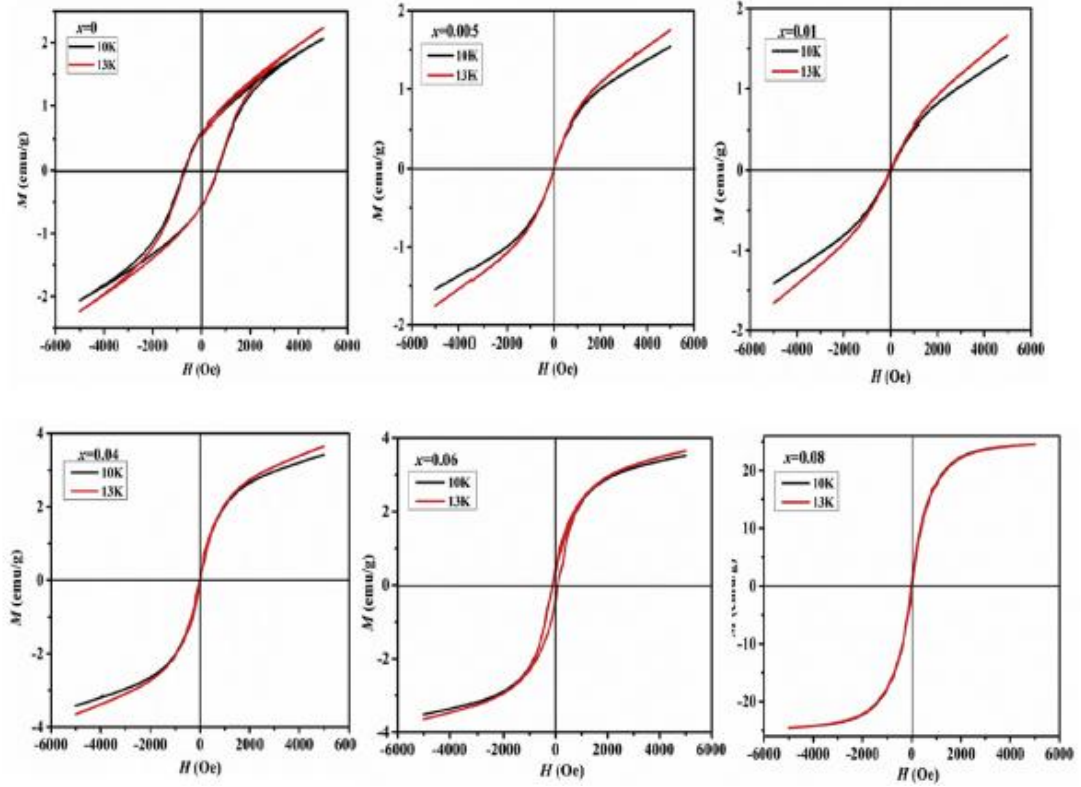
Şekil 2.1. $\text{Cu}_{1-x}\text{Li}_x\text{FeO}_2$ (a) $x=0.00$, (b) $x=0.005$, (c) $x=0.01$, (d) $x=0.04$, (e) $x=0.06$, (f) $x=0.08$. örneklerinin SEM görüntüleri

Şekil 2.2'de Li katkısının örneklerdeki manyetik geçiş davranışı ZFC altında 0-300K sıcaklık aralığında belirlenerek mıknatıslanmanın sıcaklığa bağlılığı (M-T) grafikleri çizilmiştir.



Şekil 2.2. $\text{Cu}_{1-x}\text{Li}_x\text{FeO}_2$ ($x=0.00-0.08$) örneklerinin M-T grafikleri

Araştırmacıların $\text{Cu}_{1-x}\text{Li}_x\text{FeO}_2$ ($x=0.00-0.08$) örneklerinin 10 ve 13 K'deki ölçümleri ile tespit ettikleri manyetik histeresis (M-H) döngüleri Şekil 2.3'te görülmektedir. Katkısız numunenin tipik histeresis döngüsü sergilediği tespit edilmiş olup bu durumda katkılanmış numunelerin zayıf ferromanyetik davranış gösterdiğini belirlemişlerdir.

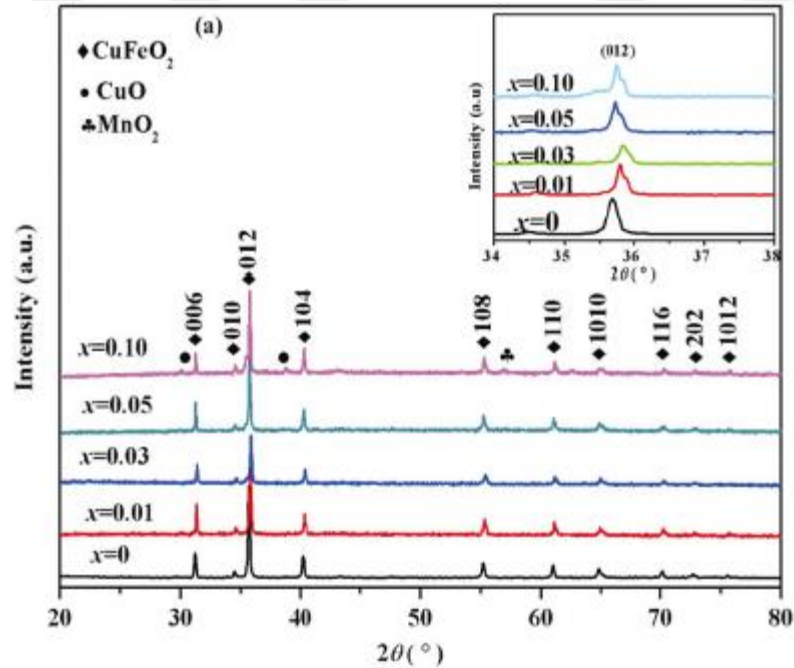


Şekil 2.3. $\text{Cu}_{1-x}\text{Li}_x\text{FeO}_2$ ($x=0.00-0.08$) numunelerinin M-H grafikleri

Sonuç olarak araştırmacılar yaptıkları çalışmada katı hal reaksiyon yöntemi ile sentezledikleri örneklerde Li katkısının yapı geçişini indüklediğini ayrıca Li katkısının artmasıyla SEM görüntülerine dayanarak ikinci fazları indüklediğini tespit etmişlerdir.

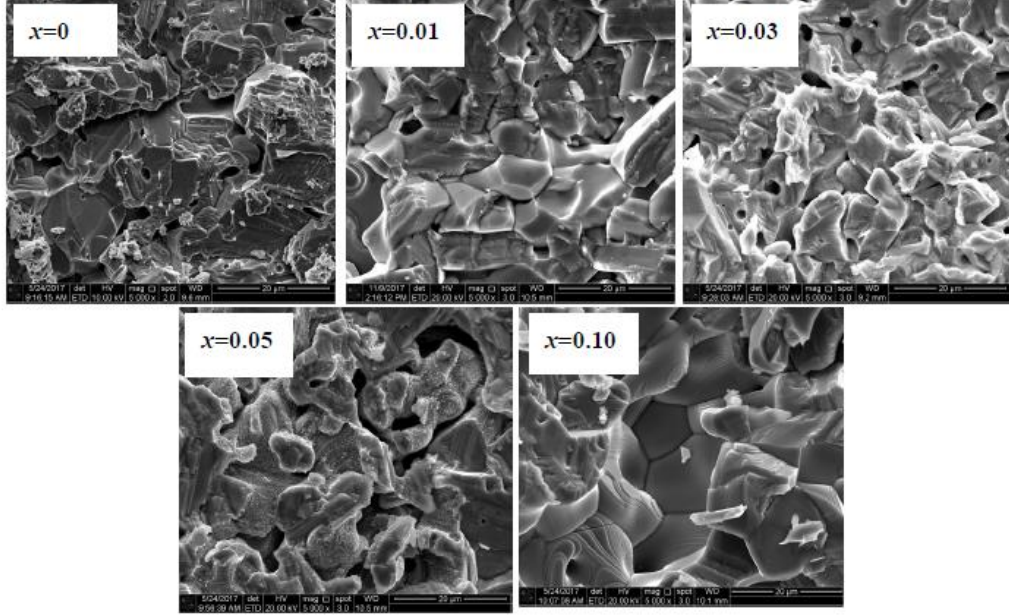
Fengjiao ve arkadaşları (2020), Mn katkılı CuFeO_2 numunelerinin manyetik özellikleri ve mikroyapısını X-ışını kırınımı (XRD), X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak incelemişlerdir. Fe yerine Mn ikamesinin kafes bozulmasına ve tane büyümesine neden olabileceğini tespit etmişlerdir. $x = 0.00-0.03$ katkı içeriğine sahip seramik örnekleri $T_{N1} \approx 14$ K ve $T_{N2} \approx 10$ K'da iki ardışık manyetik geçiş sıcaklığı (T_N) sergilediğini bildirmişlerdir. Manyetik histeresis döngüleri numunelerin yalnızca antiferromanyetik olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Şekil 2.4, $\text{CuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ 'nin toz XRD'sini göstermektedir. Katkılama içeriği $x = 0.00-0.03$ faz seramikleri, $R3m$ uzay grubu (CuFeO_2) ile tek bir hekzagonal delafosit yapıya sahiptir ve $x = 0.10$ numunelerinde CuO ve MnO_2 safsızlıklarına karşılık gelen yaklaşık 38.85° , 30.15° ve 56.90° 'da bazı zayıf kırınım pikleri gözlemlenmiştir.



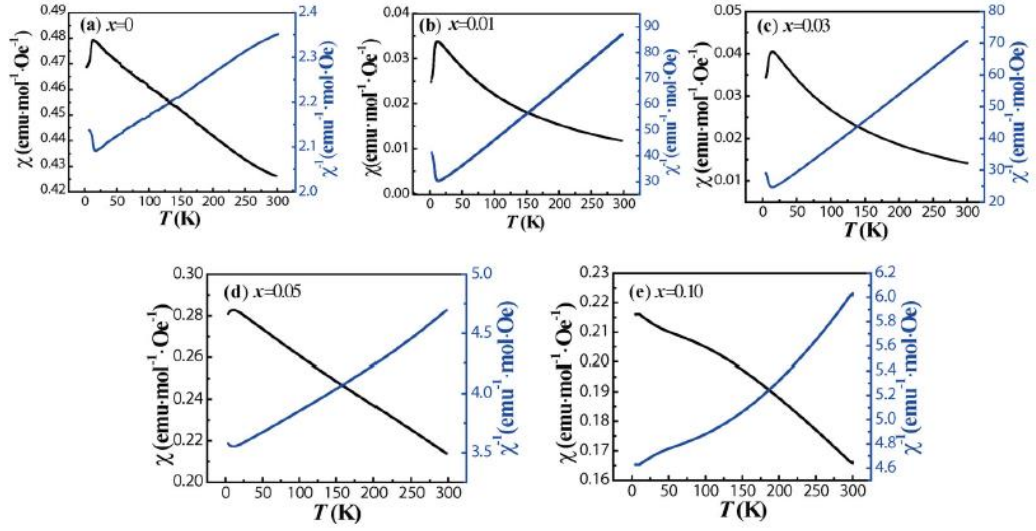
Şekil 2.4. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ ($x = 0.00-0.10$) örneklerinin XRD desenleri

Şekil 2.5'te, $\text{CuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ ($x = 0.00-0.10$) örneklerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Araştırmacılar katkısız numunelerin belirsiz tane sınırlarına sahip az gözenekli ve yoğun bir yapısı olduğunu gözlemişlerdir. Katkı miktarı arttıkça tane boyutlarının arttığı, tane sınırlarının belirginleştiği ve gözenek boyutlarının arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 2.5. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ numunelerinin SEM görüntüleri

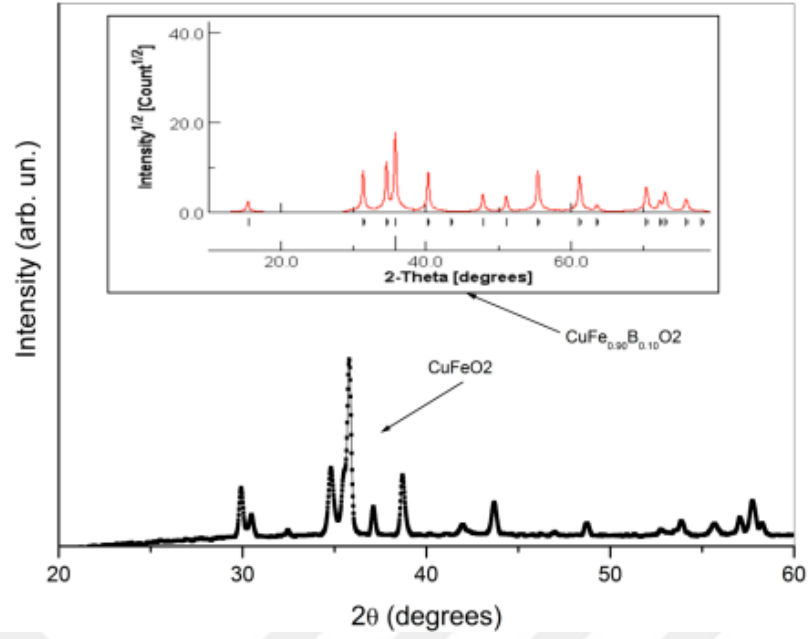
Şekil 2.6'da numunelerin manyetik grafikleri gösterilmektedir. Manyetik duygunluk χ ve ters manyetik duygunluk $1/\chi$ grafikleri 5-300 K aralığında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Örneklerin $1/\chi$ -T grafiklerindeki doğrusallık, yüksek sıcaklıklarda numunelerin paramanyetik duruma sahip olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 2.6. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ örneklerinin ZFC duyarlılığının sıcaklığa bağımlılığı

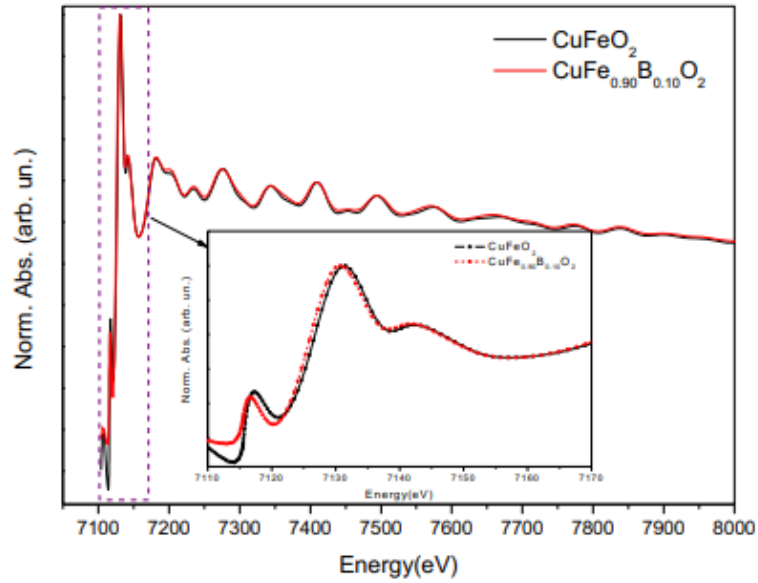
Özkendir (2021), bor ikame edilmiş CuFeO_2 'nin elektronik yapısı üzerine X-ışını absorpsiyonu İnce Yapı Spektroskopisi (XAFS) çalışması yaparak Fe koordinasyonunda ve demirin değerlik bandındaki elektronik tepkisini araştırmıştır. Ana ve ikame edilmiş atomların iyonik yarıçapları nedeniyle, farklı kristal yapı oluşumu beklenmekteyken yapılan hesaplamalar, bor atomlarının Fe koordinasyonunda yer alma eğiliminde olduğunu ve ana kristalin bir parçası olmayı tercih ettiğini göstermiştir.

Şekil 2.7'de saf CuFeO_2 oksit ve bor ikame edilmiş numunelerin x-ışını kırınım modeli verileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Araştırmacı, Fe koordinasyonunda bor ikamesi ile XRD desen zirvesinde bir değişiklik gözlemlerken, ekstra güçlü bir tepe oluşumu gözlemlememiştir. Bu, bor atomlarının Fe konumlarında oturduğu ve kristal yapı özelliklerini koruduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 2.7. CuFeO_2 ve %10 bor ikameli CuFeO_2 'nin XRD desenlerinin karşılaştırılması

Araştırmacı, bor ikamesinin komşularının elektronik yapısı, demir üzerindeki etkisi, kristal yapı özelliklerini araştırmak için X-ışını absorpsiyonu İnce Yapı (XAFS) Spektroskopisini kullanmıştır. Şekil 2.8'de, CuFeO_2 'nin hesaplanan Fe K-kenar XAFS spektrumları ve % 10 bor ikameli CuFeO_2 malzemesi karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 2.8. CuFeO_2 ve %10 bor ikameli CuFeO_2 için Fe K-kenarı XAFS spektral karşılaştırması

Sonuç olarak araştırmacı bu çalışmasında, hafif bor atomlarının varlığının fotoelektronlar için daha uzun bir ortalama serbest yola neden olan saçılma

yoğunluklarını zayıflatıldığını belirleyerek bunun daha düşük geçiş potansiyeli ve dolayısıyla daha iyi bir iletkenlik anlamına geldiğini tespit etmiştir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

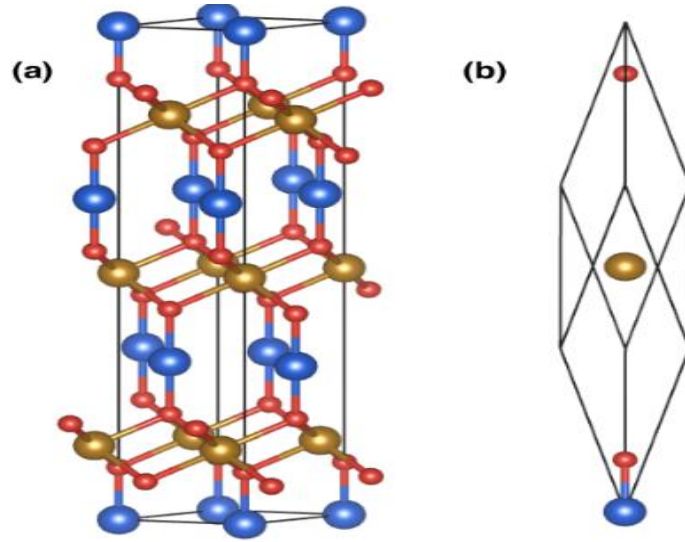
3.1. Malzemeler

Bu çalışmada, antiferromanyetik yarı iletken olan CuFeO_2 mineralindeki demir atomlarının yerine uygun oranlarda krom katkısı yapılarak oksijen atomları kontrol edilmiştir. Elde edilen numunelerin fiziksel ve manyetik özellikleri incelenmiştir.

3.1.1. Delafosit (CuFeO_2)

Delafositler 1873 yılında Sibiry'a'da Charles Friedel tarafından keşfedilmiştir (Rogers, 1922). Bakır yataklarının oksitlenmiş kısımlarında bulunan ikincil bir mineral olmasına rağmen birincil mineral şeklinde de olabilir (Anthony, vd., 1997; Marquardt, vd., 2006). Delafosit, CuFeO_2 veya $\text{Cu}^{1+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_2$ formülüne sahip bir bakır demir oksittir ve mineral grubunun bir üyesidir. Delafositler elektriksel özellikleriyle ve yalıtkanlıktan metalikliğe kadar değişen iletkenlikleriyle bilinirler. Oksitlenmiş bakırla birlikte kristalleşen bir mineraldir (Marquardt, vd., 2006). Kimyasal formülü CuFeO_2 'dir. Formül ilk defa G.S. Bohart tarafından mineralin kimyasal analizi yapılarak belirlenmiştir (Rogers, 1913). O zaman belirlenen oranlara göre $\text{Cu}:\text{Fe}:\text{O}=1:1:2$ şeklinde ve bakırdan daha fazla demir içeriyordu. Rogers'ın araştırmaları ve yaptığı deneyler neticesinde, delafosit için dikkate alınması gereken oksit olasılıkları bakırlı bakır ve demirli demirdir ve demirin oksijenle radikal bir şekilde birleştiği yorumunda bulunuştur. Delafositin bileşiminin büyük bir ihtimalle bakırlı metaferrit, $\text{CuFe}^{3+}\text{O}_2$ olduğunu düşünmüştür. Daha sonra bileşim Pabst (1946) tarafından kristal kafesteki interiyonik mesafelerin neticesinde doğrulanmıştır. Delafosit atom yapısı, oktahedral katmanlar arasında yerini almış, rengi siyahtır ve sertliği 5.5'tur (Anthony, vd., 1997). Pabst (1938), delafositin yoğunluğunu 5.52 olarak bulmuştur. Delafositler, metalik bir parlaklığa ve altıgen bir simetriye sahiptir (Rogers, 1913). Delafosit bileşikleri p- veya n-tipi iletkenlik sergileyebilirler (Marquardt, vd., 2006).

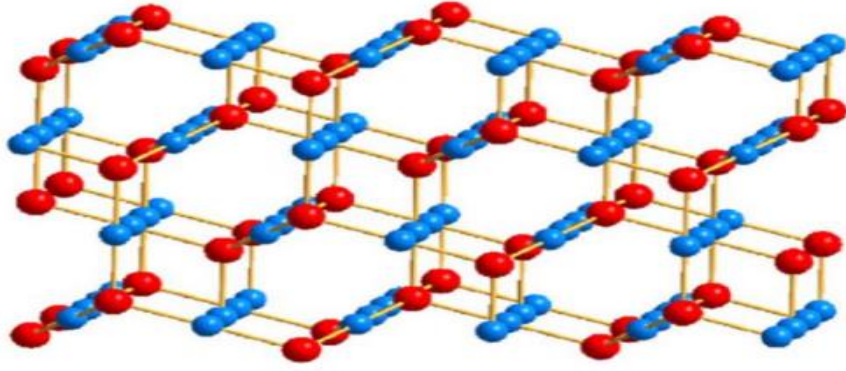
Şekil 3.1.(a)'da CuFeO_2 'nin kristal yapısı görülmektedir. Şekil 3.1.(b), bu kristal yapının eşkenar dörtgen şeklindeki ilkel hücresidir. Mavi küreler Cu, sarı küre Fe atomlarını temsil ederken, O, daha küçük kırmızı kürelerle temsil edilir.



Şekil 3.1. CuFeO_2 'nin kristal yapısı

3.1.2. Bakır oksit (Cu_2O)

Bakır oksit formülü Cu_2O olan inorganik bir bileşiktir. Cu_2O kafes sabiti 4.2696 Å olan kübik bir yapıda kristalleşir. Bu bileşikteki Cu atomları fcc alt kafeste, O atomları ise bcc alt kafeste yerini almıştır. Alt kafes diyagonal birimin dörtte bir oranında yer değiştirir ve tam oktahedral simetrlili nokta grubu oluşturur. Bakır oksit diyamanyetiktir. Merkezdeki bakır çift olarak bulunurken oksitler tetrahedral şeklindedir. Yapı özelliği iç içe geçmiş kafes biçimindedir. Kırmızı renkli katı bazı boyaların bileşimine girmektedir. Bu bileşik, tanecik büyüklüğüne bağlı olarak sarı ya da kırmızı renkli olabilir (Greenwood ve Earnshaw, 1997). Bakır oksit, kırmızı renkte kuprit minerali halinde bulunur ve çeşitli yöntemlerle üretilir (Richardson, 2002). Bu yöntemlerden biri bakır metalinin oksitlenmesidir. Oksitlenen Cu_2O , CuO 'ya dönüşür. Özkütlesi 6.0 g/cm³, erime sıcaklığı 1235 °C, kaynama sıcaklığı 1800 °C, molekül ağırlığı 143.09 g/mol, enerjisi ise 140 meV'dir. Cu atomu, iki O atomuna bağlıdır ve her O atomu, dört Cu atomu tarafından Şekil 3.2'de olduğu gibi bağlanarak birim hücreyi oluşturur (Siddiqui, 2012).



Şekil 3.2. Cu_2O 'nın kristal yapısı

Cu_2O yarı iletkenlerde en çok çalışılan malzemelerden biridir. Çoğu deneysel gözlemler ve yarı iletken uygulamaları bu malzeme kullanılarak gösterilmiştir. Bakır oksit, çoğu zaman pigment ve deniz boyaları için yosun önleyici olarak kullanılır. 1924 yılında endüstriyel olarak kullanılmıştır. Pozitif bir Benedict testinin pembe renkli olma nedeni bakır oksittir.

3.1.3. Krom (Cr)

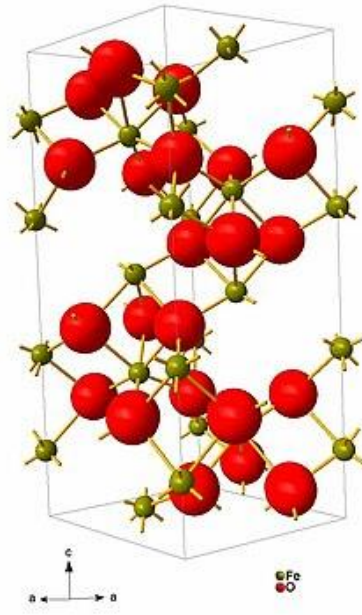
1762 yılında Johann Gottlob Lehmann Rusya'da krom elementine rastlamış ve 1797'de Louis Nicolas Vauquelin elementi çözümleyip, elemente renk gücünden dolayı, adı Yunanca renk anlamına gelen "krıma" kelimesi nedeniyle krom adını vermiştir. Simgesi Cr ve Latincesi Chromium'dur. Osmanlı devleti, 19. yüzyılda dünyada krom üreten tek devlettir (Bilgin, vd., 2019). Krom, metalik bir elementtir. Atom ağırlığı 51.996, atom numarası 24, erime noktası ise $1857\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Parlak ve yansıtıcı bir özelliktedir. Krom sert bir element olduğundan metallere sertlik sağlar. Kullanım alanlarından en önemlisi paslanmaz çeliktir. Kromoksit tabaka oluşturarak çelik yüzeyini kaplar ve kimyasal aşınmaya karşı dayanıklılık sağlar. Toz şeklindeki krom, deride uzun süreli koruma sağladığı için deri tabaklamada yıllardır kullanılmaktadır. Krom aşınmayı engellediği ve kayganlığı sağlaması nedeniyle sanayide iş parçalarının ömrünü uzatmaktadır. Şekil 3.3'te saf krom kristali görülmektedir.



Şekil 3.3. % 99.999 saflıkta krom kristali

3.1.4. Hematit (Fe_2O_3)

Hematit, kırmızı renklenmesi nedeniyle Yunanca haima (kan) kelimesinden türetilmiştir ve Fe_2O_3 formülünde bir demir oksittir. Kayalarda ve topraklarda bulunur (Cornell ve Schwertmann, 2003). En yaygın renkleri kırmızı ve kahverengidir. Volkanik kayalarda ve metamorfik kayalarda yaygın olarak oluşabilir. Ayrıca hematit, çelik üretiminde kullanılan temel mineraldir. Demir cevheri olarak çıkarılır. Ancak demirden daha serttir ayrıca çok daha kırılgandır. Hematit manyetik yapı bakımından 1000 K Curie sıcaklığına sahip ferromanyetiktir. Ferromanyetizma kelimesinde yer alan “ferro” eki demir elementinden gelmektedir. Hidroksil grupları ve boşluk ikamelerine sahip bir katı çözelti oksihidroksit sisteminin bir parçası olan hematit, mineralin manyetik ve kimyasal özelliklerini etkiler (Dang, vd., 1998). Hematit, 289 ila 5027 Oersted (23-400 kA/m) arasında değişen sıcaklığa bağlı manyetik özellikler sergilemektedir. Şekil 3.4’te Fe ve O atomlarının bağlanma şekli ve hematitin kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 3.4. Hematitin kristal yapısı

3.2. Yöntem

Malzeme hazırlama yöntemlerinin, manyetik yarı iletkenlerin özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu etkilerin malzeme üzerinde olumlu olması için bilimsel olarak yeni yöntemler araştırılmaktadır. Malzemelerin nerede, ne şekilde kullanılacağına uygun olarak katıhal tepkime yöntemi, sol-jel yöntemi, mikroemülsiyon yöntemi, poliol yöntemi gibi sentezleme yöntemleri vardır . Her bir yöntemin kendine özgü özellikleri vardır. Sentezleme yöntemlerinin amacı, stokiyometride küçük parçacık boyutunda homojen malzemeler üretmektir.

Bu tez çalışmasında, numuneler sol-jel yöntemi ile üretilmiştir. Antiferromanyetik bir madde olan CuFeO_2 ve onun Cr katkılı türevleri ($\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$) sol-jel yöntemi kullanılarak manyetik ve diğer fiziksel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca deneysel ölçüm sistemleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

3.2.1. Sol-Jel Yöntemi

1970’li yıllarda çok yüksek sıcaklıklarda erime yöntemini kullanmadan, düşük sıcaklıklarda elde edilebilen ve cama dönüştürülebilen, monolitik inorganik jeller bu konuya tekrar ilgi çekmiş ve gündeme getirmiştir (Brinker ve Scherer, 1990). Sol-jel yöntemi, inorganik-inorganik hibrit materyallerin sentezinde ve inorganik

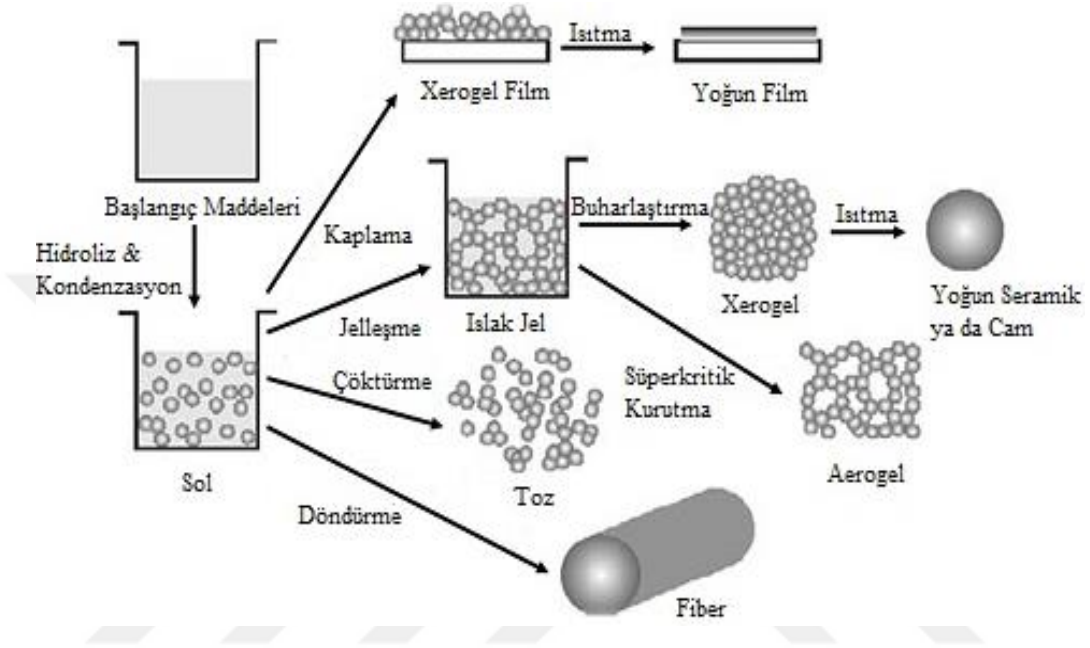
polimerlerin sentezinde de çok yönlü bir yöntemdir (Li, vd., 2004) . Bu yöntem sayesinde aranan özellikler oldukça yüksek erime sıcaklığına gerek duyulmadan, ılıman koşullarda (genellikle oda sıcaklığında) elde edilebilmektedir (Brinker ve Scherer, 1990; Metroke, vd., 2001; Maruszewski, vd., 2003). Sol-jel ismi, (solution-gelation) solüsyon-jelleşme kelimelerinin birleşimi ile oluşmuştur. Bu süreçte jel ve inorganik matrislerin oluşabilmesi için solün jelleşmesi ve bir takım işlemler sonrasında kuru jel şekline dönüşmesi gerekmektedir (Aurobind, vd., 2006). Sol-jel içeriği moleküler başlangıç inorganik bileşiklerin transformasyonuna dayanmaktadır (Livage, vd., 1998). Sol-jel işlemi uygun bir çözücü içerisinde, hidroksitler, oksitler, metal tuzları ve nitratlar gibi başlangıç inorganik bileşiklerin çözünmesi işlemidir (Mackenzie ve Bescher, 2007). Jelleşme esnasında viskozite ve elastiklik artarak çözeltinin hacmini kapsayan genişleyen polimer ağlar bir araya gelir. Sol-jel yöntemi laboratuvar koşullarında rahatlıkla uygulanabilir ve büyük üretimlerde de kullanılabilir (Pierre, 1998). Sol-jel süreci sıvı olan sol faz durumundan katı olan jel faza geçiş esasına dayanmaktadır (Gupta ve Chaudhury, 2007). Sol-jel yönteminde kullanılan bileşenler, başlangıç inorganik bileşenler, çözücüler (su veya organik bir çözücü), katalizörler (asit ve baz) şeklinde sıralanabilir.

Sol-jel yönteminin tercih edilme nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- 1- Hibrit organik-inorganik materyallerin üretimine ve materyallerin oksit bileşimlerine olanak sağlar (Pierre, 1998).
- 2- Sürecin basamaklarında ihtiyaç duyulan sıcaklıklar düşüktür ve genellikle oda sıcaklığına yakındır. Böylelikle malzemede termal bozulma riski en aza indirgenmiş olur, oldukça yüksek saflık ve stokiyometri elde edilir (Pierre, 1998; Wright ve Sommerdijk, 2001).
- 3- Başlangıç maddeleri genellikle uçucudur ve kolayca yüksek saflıkta ürün elde edilebilir ve bu maddeler karıştırılabildiğinden, homojen bir şekilde kontrollü katkılandırma kolayca yapılabilir.
- 4- Bu sürecin kimyasal şartları da uygundur. Hidroliz ve yoğunlaşma, asit ve bazlar ile kataliz edilir. pH yönünden önemli olan organik yapılar, enzime sahip biyolojik türler ve hücreler, fonksiyonlarını sürdürebilir şekilde olurlar.
- 5- Sol-jel sürecinde gözenekli materyaller hazırlanabilir. Materyallerin optik kalitesi optik parça uygulamalarında da kullanılabilir.

- 6- Sol-jel yöntemi bir tek materyal üretimini (cam, seramik, ince film, fiber vs.) değil moleküler kimya, polimerik yapılar, biyolojik uygulamalarda da kullanılacak bir yöntemdir.

Şekil 3.5'te görülmekte olan solün farklı süreçleri ile malzemelerin değişik formlarıdır.



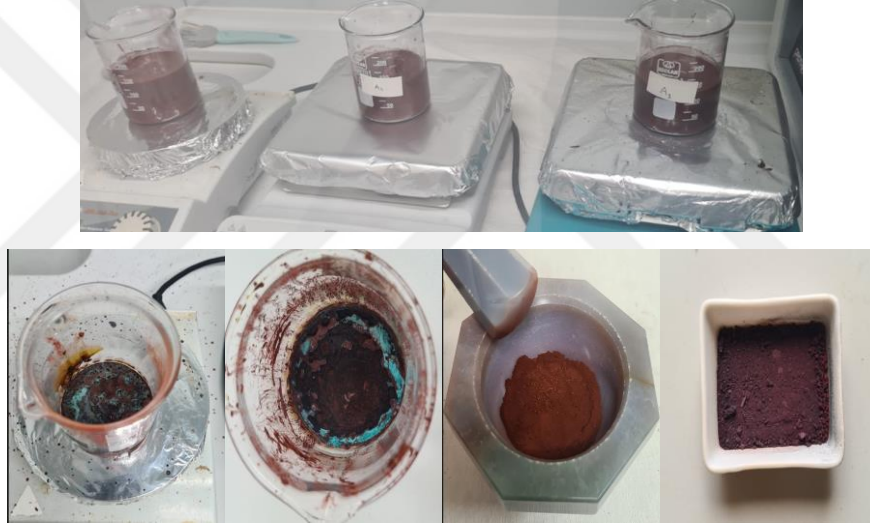
Şekil 3.5. Sol-jel türevli ürünlerin şematik gösterimi (Reed, 1995)

Kalsinasyon işlemi, maddelerdeki nemi ve karbondioksit gibi maddelerin uzaklaştırmak için erime noktasının altındaki bir sıcaklıkta ısıtma işlemidir. Bileşiklerin ısı etkisiyle parçalanmasıdır. Üretimde hammadde olarak kullanılan CaCO_3 , MgCO_3 gibi toprak alkali karbonatlar işlem sırasında kalsinasyon işlemi ile parçalanırlar. Kalsinasyon işleminde gerçekleşen reaksiyonların davranışları endotermiktir.

Sinterleme işlemi, metal ve seramik maddelerin tozlarına termal enerji vererek yoğunluğunu kontrol edebileceğimiz malzeme geliştirme işlemidir. Yani sinterleme, toz malzemelerin ana bileşeninin erime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda ısıtılması sonucunda tozların birleşerek dayanıklı ürünler elde edilmesi işlemidir. Sinter sözcüğü kül anlamına gelmektedir. Sinterleme, katı faz, sıvı faz ve reaktif sinterleme olarak üç şekilde yapılabilir. Sinterleme işlemi basınçlı ve basınçsız yapılabilir.

3.2.2. Örneklerin Hazırlanması

Bu çalışmada, $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ (x ; 0.00, 0.01, 0.05, 0.10, 0.15 ve 0.20) formülündeki Cr ikameli CuFeO_2 numunesi yüksek saflıkta (Sigma-Aldrich > %99,99) Cu_2O , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, Cr_2O_3 bileşiklerinin ince tozlarından sentezlenmiş ve tozlar etanol içerisinde 850 rpm'de bir manyetik karıştırıcıda 12 saat boyunca karıştırılmıştır. Karışım daha sonra seyreltik olarak çözülmüştür. Karışım, HNO_3 içerisinde çözülerek oda sıcaklığında 2 saat karıştırılıp jel formu elde edilene kadar 80 °C'de 1 saat süreyle bekletilmiştir. Daha sonra jel, 110 °C'de kurutularak saf toz oluşturulmuştur. Kurutulan tozlar akik havanda öğütülmüş ve sinterlenmiştir. Fırında 6 saat boyunca 5 °C dk⁻¹ hızla 400 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Tavlama işleminden sonra tozlar ikinci adım olarak öğütülüp 850 °C'de 24 saat boyunca tavlansmıştır.



Şekil 3.6. Sol-jel üretim yöntemi aşamaları

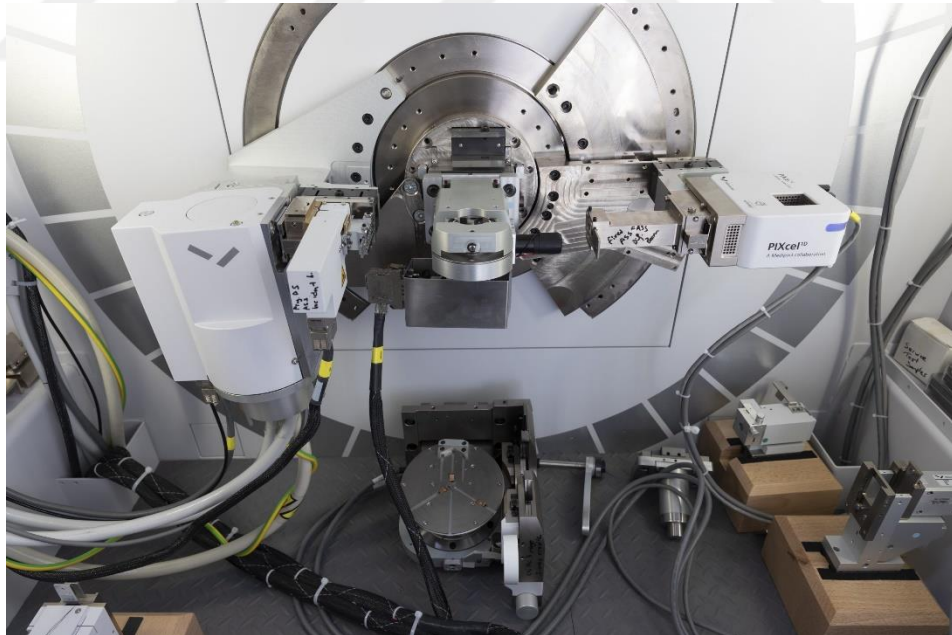
3.3. Karakterizasyonu

Bu çalışmada, sol-jel yöntemi ile üretilen ($\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$) oksit bileşiklerinin yapısal ve manyetik özellikleri incelenmiştir. Bu bileşiklerin kristal ve yüzey yapılarının incelenmesi amacıyla X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi (EDS) ölçümleri yapılmıştır. Manyetik özelliklerini incelemek için sıcaklığa bağlı $M(T)$ ve alana bağlı $M(H)$ manyetizasyon ölçümleri yapılmıştır. Kristal ve elektronik yapısında Cr katkısı X-ışını soğurma ince yapı spektroskopisi (XAFS) tekniği ile araştırılmıştır.

3.3.1. X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD)

Üç boyutlu uzayda kendini düzgün tekrarlayan bir desen olan atomik yapıya kristal yapı denir. Katıların kristal yapısı, yapıdaki atom veya moleküllerin geometrik düzende bir araya gelmesi ile oluşur. Max von Laue, kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişlerini X-ışını kırınım desenlerini kullanılarak incelenmiştir. Bilim adamları malzeme araştırması yaparken, malzemenin bileşimi ve kristal yapısı ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyarlar. X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi, malzemenin kimyasal bileşimi, kristal yapısı, kafes gerilimi ve katman kalınlığı gibi pek çok bilgiye ulaşmak için kullanılan bir laboratuvar tekniğidir. Tozlar, katılar, ince filmler ve nano malzemeler gibi birçok malzemeyi analiz etmek için XRD yöntemi kullanılabilir. Kristalin yapısını belirleme, fazın saflığını, kristalin doğrultularını kristalin örgü sabitlerini belirlemede bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntem toz, katı ve sıvı numunelerin fiziksel özelliklerini de analiz etmek için kullanılan çok yönlü bir yöntemdir.

X-ışını kırınımı (XRD) Şekil 3.7’de görülen X-ışını difraktometresi ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.7. X-ışını difraktometresi

Bir kristalin kimyasal bileşimi ve yapısına faz denilmektedir. Bir X-ışını difraktometresinde, farklı fazlar, farklı kırınım desenleri oluşturur. Faz tanımlaması yapılırken örneklerden elde edilen X-ışını kırınım desenleri, referans desenlerle

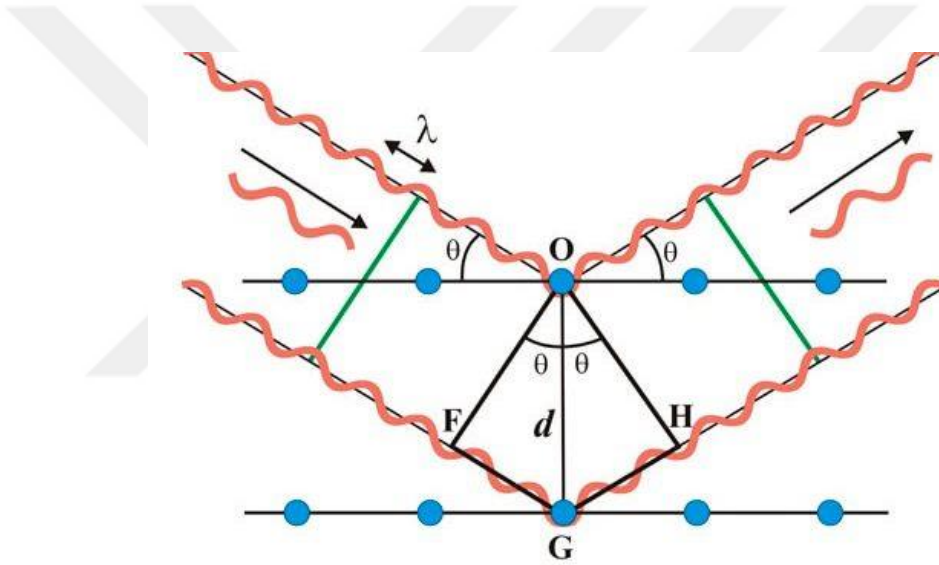
karşılaştırılır. X-ışınları ile kristal numune arasındaki yapıcı girişim sonucunda X-ışını kırınımı gerçekleşmiş olur. Kristal kafesteki atomların arasındaki mesafe X ışınlarının dalga boyuna eşittir. Çeşitli şekillerde analiz edilecek bir kırınım modelinin en bilineni, kristallerin ve fazlarının ölçümünde kullanılan Bragg yasasının ($n\lambda=2d \sin \theta$) uygulanmasıdır. Burada:

n , yansıma derecesidir ve $n = 1,2,3,\dots$ değerlerini alacaktır.

λ , kristale düşürülen X-ışınlarının dalga boyu,

θ , X-ışınları ile örgü yüzeyi arasındaki açı,

d , düzlemler arası uzaklıktır.



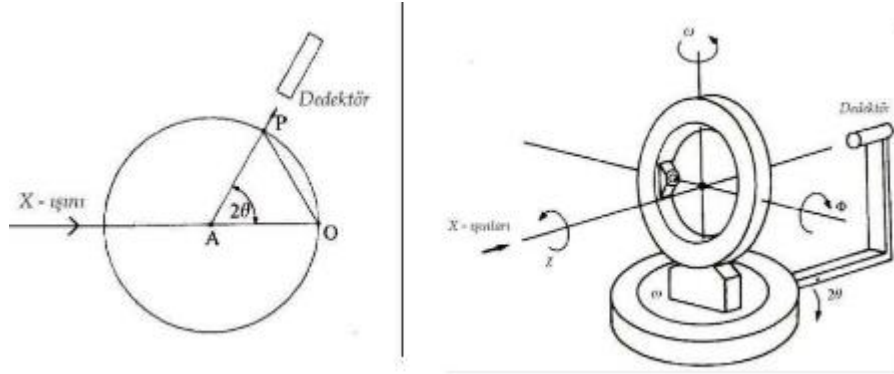
Şekil 3.8. X-ışınlarının kristal düzlemlerinden kırınımı ve Bragg yasası

Katı malzemelerin incelenmesinde kullanılan X-ışınlarının dalga boyları, 0.5 Å ile 2.5 Å arasında değişir. Kristal ve moleküllerdeki atomlar arasındaki uzaklık 0.15-0.4 nm arasındadır. Bu uzaklık 3 keV ve 8 keV arasında foton enerjilerine sahip olan X-ışınlarının elektromanyetik spektrum dalga boyuna eşittir. Kristal ve molekül yapıları X-ışınlarına maruz kalınca, yapıcı girişim ve yıkıcı girişim gözlemlenebilir.

XRD'nin çalışma prensibi şu şekildedir:

X-ışını cihazı, X-ışını kaynağı, bir numune tutucu ve bir XRD detektörü şeklinde üç ögeden oluşmaktadır. Kaynak, X ışınlarını üreterek numuneyi aydınlatır. Sonra numune fazı tarafından kırılır ve detektöre gelir. Gelen ve kırılan ışınlar arasındaki açı

olan kırınım açısı 2θ 'yı değiştirmek için tüp veya numuneyi ve detektörü hareket ettirilerek yoğunluk ölçülür ve kırınım verileri belirlenir.



Şekil 3.9. X-ışını difraksiyon düzeneği

X-ışını kırınımının ana kullanım alanları şunlardır:

- 1- X-ışını kırınımı ile saf madde ve karışımların faz analizi yapılabilir. X-ışını toz kırınımı (XRPD) yöntemi, faz analizi için en çok kullanılan yöntemdir.
- 2- Özel koşullar altında (sıcaklık, nem ve uygulanan basınç gibi) faz değişikliklerinin analizi yapılabilir.
- 3- Çok kristalli malzemelerin kristalit boyutu, kristal yönelimi gibi fiziksel özelliklerin analizi yapılabilir.
- 4- XRD yöntemi, kaplamalar ve ince filmler gibi çok kristalli katmanlı malzemeler için de kullanılabilir.
- 5- Mermer, çimento ve benzeri sert malzemelerin standart analizleri yapılabilir.
- 5- Organik ve inorganik malzemelerin, minerallerin, amorf malzemelerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir.
- 7- Jeolojide mineralleri ve kayaları tanımda, metal ve alaşım analizlerinde, seramik ve çimento sanayiinde, ilaç endüstrisinde ürün içindeki polimorfların tespitinde kullanılabilir.

Bu çalışmadaki örneklerin XRD ölçümleri, Japonya'nın Hyogo kentinde bulunan SPring8 sinkrotron tesisinde alınmıştır.

3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İnsan gözünün çok ince ayrıntı ve detayları görememesi doğal ve beklenen bir durumdur. Bu nedenle küçük ayrıntıları görebilmek için elektronik ve optik sistemlerin birlikte kullanıldığı cihazlar üretilmiştir. Elektronik prensiplere dayanarak üretilen taramalı elektron mikroskobu bu amaç için üretilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), 1937 yılında Manfred von Ardenne tarafından icat edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobunda (SEM), ikincil elektronlar kullanıldığı için görüntü net ve üç boyutludur. İncelenen yüzeyin kalınlığı sınırlayıcı değildir ve düzgün olmayan yüzeylerde kullanılabilir. Optik mikroskoba kıyasla geniş bir alanı büyütme özelliğine sahiptir.

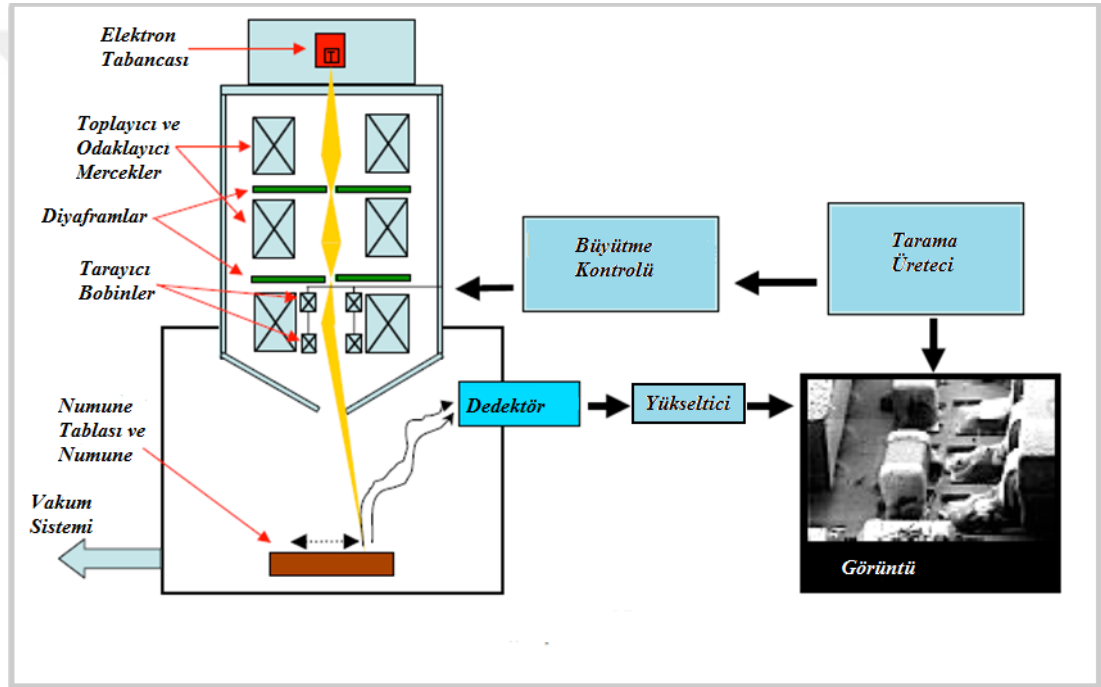
Bu çalışmada, numunelerin SEM görüntüleri Çukurova Üniversitesi Merkez Laboratuvarında (ÇÜMERLAB) bulunan FEI marka Quanta 650 Field Emission SEM model taramalı elektron mikroskobu kullanılarak alınmıştır.



Şekil 3.10. Quanta 650 Field Emission SEM model taramalı elektron mikroskobu

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj (1-30 kV) ile hızlandırılmış elektron demetinin bir numune yüzeyini tarayıp, numunenin atomları ve elektronlar arasındaki girişim olayı ile oluşan etkilerin algılayıcıda toplanarak sinyal güçlendiriciden geçirildikten sonra katot ışınları tüpünün ekranına yansıtılmasıyla oluşur. Elektron elde etmek için filament lamba kullanılır. Flamandan çıkan elektron demetinin parlak ve az kusurlu olması beklenir. Örnek atomlarıyla etkileşime giren bu

elektronlar sinyaller verirler. Dedektörler tarafından algılanan sinyaller, incelenen yüzeyin yapısı ve özellikleri hakkında bilgi verir. Bu sinyaller geri saçılmış elektronlar, ikincil elektronlar, Auger elektronları, X-ışını fotonları ve diğer fotonlardır. Bunlardan taramalı elektron mikroskopinin temelini oluşturan, geri saçılmış ve ikincil elektronlar ve X-ışını emisyonudur. Şekil 3.7’de görülen toplayıcı ve odaklayıcı mercekler, görüntüyü 5 ile 200 nm’lik numune üzerindeki son nokta boyutuna indirgeme görevi görürler. Mercekler silindir şeklindedir ve yüksekliği 10-15 cm’dir. SEM’in ayırım gücü 1 nanometre ve daha üstün çözünürlük seviyelerine ulaşabilir. Numuneler, yüksek ve düşük vakumda, ıslak yüzeylerde ve düşük veya yüksek sıcaklıklarda incelenebilir.

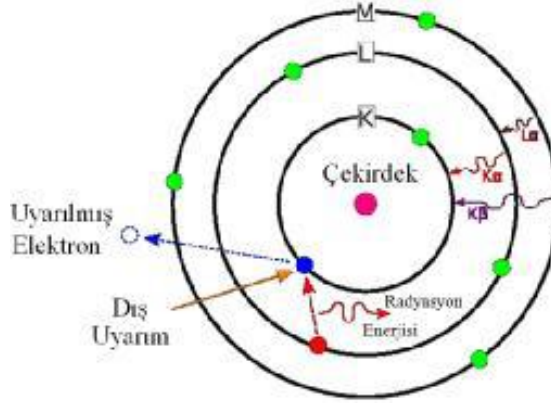


Şekil 3.11. Taramalı elektron mikroskopünün (SEM) çalışma şeması

3.3.3. Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS)

Bir örneğin kimyasal yapısı ya da element analizi için enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) kullanılabilir. Malzemeye yüksek enerjili elektron demeti gönderildiğinde, elektronlar atomlardan koparılır. Kopan iç kabuk elektronlarından kalan boşluk, dış kabuktaki yüksek enerjili elektron tarafından doldurulur. Kabuklar arasında enerji farkı oluşur ve bir X-ışını yayımlanır (Şekil 3.12). Açığa çıkan enerji miktarı, kabuklar arası geçişe bağlıdır. EDS analizinde elementin atomları kendisini

tanımlayan enerji miktarına sahip X-ışını yayar. Yayılan bu X-ışınlarının enerjileri saçılım spektrometresi ile ölçülebilir. Kabuklar arasındaki enerji farkının ve elementin atom yapısının ayırıcı özelliği X-ışınlarının enerjisi olması sebebiyle örnekteki bileşenlerin ölçümlerini sağlamaktadır.



Şekil 3.12. Bir atomdaki elektronun uyarılması ve yayılan radyasyon.

Bu tez çalışmasında, numunelerin EDS analizleri Çukurova Üniversitesi Merkez Laboratuvarında (ÇÜMERLAB) bulunan FEI marka Quanta 650 Field Emission SEM model taramalı elektron mikroskobu kullanılarak alınmıştır (Şekil 3.10).

3.3.4. X-İşını Soğurma İnce Yapı Spektroskopisi (XAFS)

X-ışını soğurma ince yapı spektroskopisi (XAFS) ile yapılan işlemde, X-ışını fotonu bir elektron tarafından soğurulur. Fotonun, çekirdek seviyesinin bağlanma enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip olması gerekmektedir. Ancak bu şartlar sağlandığında elementte bir soğurma olayı meydana gelir. Ölçümler için yüksek enerjili bir X-ışını (4.5-23.5 keV) kullanır.

Gelen ışının enerjisi, numunede bulunan elementin bağlanma enerjisine ayarlanır. Elementin soğurma kesiti, gelen enerjinin bir fonksiyonu olarak ölçülür ve hedef elementin değerlik durumu ve atom yapısı hakkında bilgi verir.



Şekil 3.13. Floresan XAFS ekipmanı

XAFS ile elde edilen veriler diğer yapı ölçümlerini (mikroskopi ve kırınım) tamamlayıcı niteliktedir. X-ışınının enerjisi, bir malzeme içinde önemli bilgileri edinmemizi sağlar. Bu teknik, çok küçük elektronik tasarım ürünler, nanomalzemeler ve nanometrelerde ölçülen cihazlar gibi çok katmanlı, enerji depolama ve dönüşümü için kullanılan malzemelerin güçlü bir araştırmasıdır. XAFS, komşu atomların niteliği, sayısı ve konumu hakkında bilgi sağlar. Karmaşık kimyasal maddelerin analizinde tercih edilen bir yöntemdir.

3.3.5. Fiziksel Özellik Ölçüm Sistemi (PPMS)

Bir malzemenin fiziksel özelliklerini (elektriksel, manyetik ve termal) araştırmaya yarayan ölçüm sistemidir. PPMS cihazı, malzemelerin manyetik özelliklerini araştırırken kullanılan en yaygın cihazlardan biridir. Bu cihaz ile farklı sıcaklık aralıklarında ölçüm yapılabilmektedir. PPMS cihazı malzemeyi iki farklı şekilde ölçebilmektedir. Bunlardan birincisi malzemenin mıknatıslanma özelliklerini ölçebilen VSM (titreşimli örnek manyetometresi) şekli, ikincisi ise malzemenin manyetik alan altındaki direncini ölçebilen manyeto-direnç şeklidir. VSM ölçümü, toz ve sıvı malzemelerin mıknatıslanma özelliklerinin ölçülmesine olanak sağlar. VSM modülü, yaklaşık 1.6×10^{-6} emu hassaslığındadır. Çalışma sıcaklığı ve manyetik alan kapasitesi 400 K ile ± 9 T aralığındadır. VSM ile malzemelerin manyetizasyon, ısıtma ve soğutma eğrisi gibi manyetik özelliklerinin ölçümü yapılabilir. Manyetizasyonun

manyetik alan kuvveti, zorlayıcı kuvvet, Curie sıcaklığı ve manyetik iletkenlik gibi değerlerine de ulaşılabilir.

Bu çalışmadaki örneklerin manyetik ölçümleri, Çukurova Üniversitesi Merkez Laboratuvarı (ÇÜMERLAB) cihazı olan Quantum Design PPMS DynaCool-9 ile yapılmıştır. Çalışma sıcaklık aralığı 1.85-400 K ve manyetik alan değerleri ± 9 T ile ölçüm alınmıştır. Örnekler için 500 Oe ve 0-3 T alan değerlerinde sıcaklığa karşı manyetizasyon ölçümleri yapılmıştır. 500 Oe alan altındaki lmlerde ZFC ve FC süreçleri uygulanmıştır.



şekil 3.14. PPMS DynaCool-9 Quantum Design cihazı (ÇÜMERLAB)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada sentezlenen örneklerin, yapısal ve elektronik özelliklerini karakterize etmek için sinkrotron tabanlı teknikler kullanılmıştır. Toz X-ışını kırınımı (PXRD) desenleri, yüksek enerjili sinkrotron radyasyonu kullanılarak SPring8 sinkrotron tesisinin BL02B2 ışın hattında toplanmıştır. Bu ışın hattı, yük yoğunluğu ölçümleri için optimize edilmiştir ve görüntü plakası dedektörü ve altı MYTHEN dedektörü içeren büyük bir Debye-Scherrer kameradan oluşan çok modüler bir difraktometre ile donatılmıştır. 12-37 keV enerji aralığını kapsayan ışın hattı, doğru yapısal analiz için çok önemli olan mükemmel sayım istatistikleri ve açısal çözünürlük ile yüksek kaliteli PXRD veri toplama olanağı sağlar (Kawaguchi, vd., 2020).

$\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ numunelerinin manyetik özellikleri, titreşimli numune manyetometresi (VSM) başlığı ile donatılmış bir fiziksel özellik ölçüm sistemi (PPMS) kullanılarak araştırılmıştır. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak manyetizasyon (M-T), 10-300 K aralığında ölçülmüş ve manyetik alanın bir fonksiyonu olarak manyetizasyon (M-H) eğrileri elde edilmiştir.

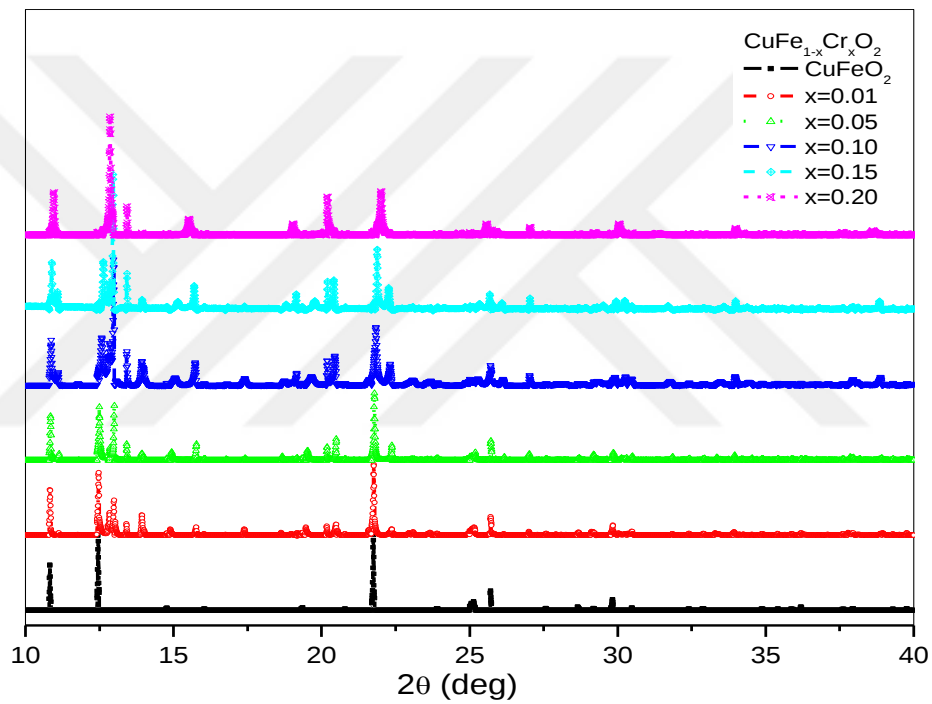
4.1. Yapısal Analizler

Sinkrotron XRD incelemeleri, tüm örnekler için baskın faz olarak rombohedral $R\text{-}3m:m$ CuFeO_2 (% 87,7) ile polikristalin bir yapı ortaya koymuştur. Çizelge 4.1’de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, katkısız temel malzeme, küçük bir hekzagonal $P63/mmc$ fazı (% 12,3) yanında önemli bir rombohedral CuFeO_2 bileşeni sergilemiştir. Bu çift fazlı özellik, örnek serisi boyunca devam etmiştir. Krom ikamesinden sonra XRD desenlerindeki tutarlı tepe konumları, krom atomlarının demir yerlerini işgal etmediğini, bunun yerine tüm katkılı örneklerde gözlenen yeni bir hekzagonal $P63/mmc$ CuCrO_2 fazı oluşturduğunu göstermiştir. Cr ikameli örneklerin XRD desenleri Şekil 4.1’de gösterildiği gibi belirgin özellikler sergilemiştir.

Rombohedral CuFeO_2 ’nin kafes parametreleri artan krom içeriğiyle genişlerken, tersine, hekzagonal CuFeO_2 fazı, özellikle % 10’a kadar olan ikameler için hafif bir kafes daralması sergilemiştir. Bu zıt davranış, krom atomlarının oksijen atomlarıyla etkileşimler yoluyla hekzagonal CuFeO_2 yapısını bozduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, krom iyonlarının muhtemelen hekzagonal faz içindeki demir bölgelerini işgal

ettiği söylenebilir. ABO_2 ailesinin bir üyesi olan CuCrO_2 , oktahedral koordinasyonda Cr^{3+} iyonlarına sahiptir ve bu da güçlü bir şekilde engellenmiş manyetik malzeme statüsüne katkıda bulunur. A-bölge katyonları, elmas benzeri bir kafese benzeyen doğrusal bir oksijen ortamında tetrahedral koordinasyon sergiler (Bencheikh ve Belakroum, 2022).

% 10'u aşan krom konsantrasyonları için, rombohedral CuFeO_2 baskın faz haline gelirken, az miktarda hekzagonal CuFeO_2 devam etmiştir. Bu gözlem, hekzagonal demir bölgelerinde krom kaynaklı bozulmalar için daha fazla kanıt sağlar.

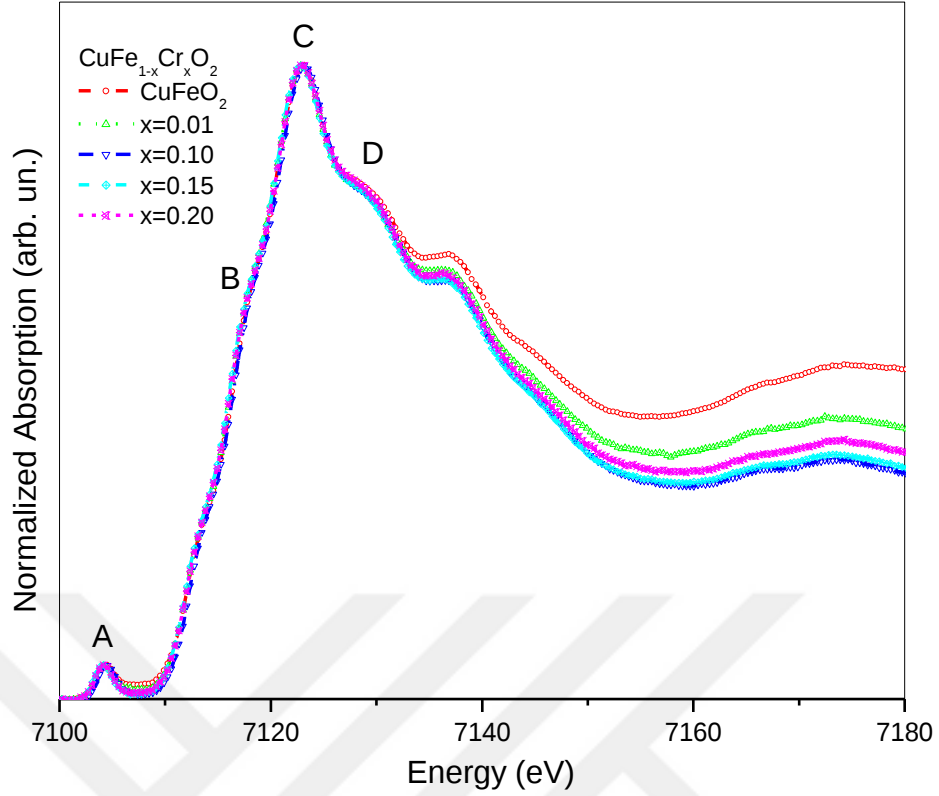


Şekil 4.1. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ numune serisi için X-ışını kırınımı (XRD) desenlerinin karşılaştırılması.

Çizelge 4.1. $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ örnek serisinin XRD desenlerinin karşılaştırılması

Substitution ($\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$)	Crystal	α	β	γ	a	b	c	Geometry	SG	%
x=0.00	CuFeO_2	33.618	33.618	33.618	8.649	8.649	8.649	Trigonal	R-3m:R	87.7
	CuFeO_2	90	90	120	6.918	6.918	14.222	Hexagonal	P63/mmc	12.3
x=0.01	CuFeO_2	34.234	34.234	34.234	8.454	8.454	8.454	Trigonal	R-3m:R	97.1
	CuFeO_2	90	90	120	6.918	6.918	14.222	Hexagonal	P63/mmc	2.0
	CuCrO_2	90	90	90	2.810	2.810	11.197	Hexagonal	P63/mmc	0.9
x=0.05	CuFeO_2	34.384	34.384	34.384	8.459	8.459	8.459	Trigonal	R-3m:R	88
	CuFeO_2	90	90	120	7.039	7.039	13.704	Hexagonal	P63/mmc	7.2
	CuCrO_2	90	90	90	2.920	2.920	11.264	Hexagonal	P63/mmc	4.8
X=0.10	CuFeO_2	34.269	34.269	34.269	8.466	8.466	8.466	Trigonal	R-3m:R	89
	CuFeO_2	90	90	120	7.439	7.439	13.954	Hexagonal	P63/mmc	01.7
	CuCrO_2	90	90	90	2.920	2.920	11.264	Hexagonal	P63/mmc	8.3
x=0.15	CuFeO_2	34.124	34.124	34.124	8.477	8.477	8.477	Trigonal	R-3m:R	84.2
	CuFeO_2	90	90	120	7.392	7.392	13.860	Hexagonal	P63/mmc	0.90
	CuCrO_2	90	90	90	2.924	2.924	11.32	Hexagonal	P63/mmc	14.9
x=0.20	CuFeO_2	33.600	33.600	33.600	8.542	8.542	8.542	Trigonal	R-3m:R	79.7
	CuFeO_2	90	90	120	7.331	7.331	13.722	Hexagonal	P63/mmc	0.70
	CuCrO_2	90	90	90	2.974	2.974	11.400	Hexagonal	P63/mmc	19.6

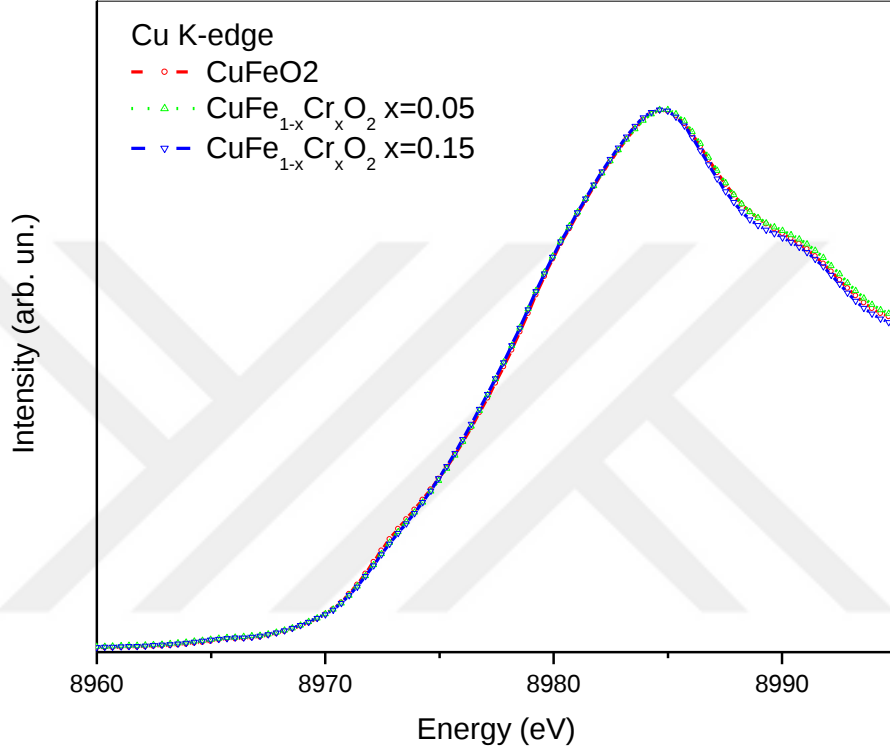
Kristal yapı ve altta yatan elektronik etkileşimler hakkındaki anlayışımızı derinleştirmek için, krom ikamesinin komşu atomlar üzerindeki etkisini araştırmak için XAFS analizi kullanılmıştır. Yerel atomik ortama alan duyarlılığı göz önüne alındığında XAFS, Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1.'de ana hatlarıyla belirtildiği gibi, kristal yapı içindeki elektronik etkileşimleri açıklamak için güçlü bir araç sağlar. Malzemelerin elektronik yapısı, SPring8 sinkrotronu kullanılarak oda sıcaklığında toplanan Fe K-kenar XAFS spektrumları aracılığıyla araştırılmıştır. Bu spektrumlar, uyarılmış 1s çekirdek elektronlarının Fermi seviyesinin üzerindeki boş durumlara elektronik geçişlerinden kaynaklanır. Şekil 4.2, $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ serisi ($x = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15$ ve 0.20) için normalize edilmiş Fe K-kenar emilim spektrumlarının karşılaştırmalı analizini sunmaktadır.



Şekil 4.2. Krom ikameli CuFeO_2 için XAFS spektrumlarının karşılaştırılması

Şekil 4.2'deki Fe K-kenar emilim spektrumları, 7102 eV'de bir başlangıç sergiler ve buna 3d geçişlerine atfedilen 7104.17 eV'de "A" olarak etiketlenen küçük bir ön-kenar tepesi eşlik etmektedir. Dipol seçim kuralları tarafından yasaklanan bu ön-kenar tepesi, hibridizasyondan kaynaklanır ve güçlü Fe 3d - O 2p kuplajını göstermektedir. Ana kenarın üzerinde bulunan 7117.88 eV'deki omuz benzeri bir özellik, potansiyel oksijen boşluklarıyla tetrahedral koordinasyonda demirin varlığını göstermektedir. 7122.92 eV'deki yoğun ana kenar tepesi "C", boş 4p durumlarına elektronik geçişlere karşılık gelir ve temel olarak "B" zirvesinden farklı olan oktahedral bölgelerdeki demir atomlarını yansıtır. Tüm örneklerdeki Fe K-kenar spektrumlarının yüksek tutarlılığı, krom ikamesine rağmen demir ortamının kararlılığını göstermektedir. Demir (1.8) ve krom (1.6) arasındaki elektronegatiflik farkı, Fe-O bağlarının önemli ölçüde zayıflamasını engeller. Fe 3d - O 2p hibridizasyonuna duyarlı olan ön kenar tepe noktası, demir ortamının kararlılığını daha da doğrular. Ana emilim kenarının ötesinde gözlemlenen zayıf bir "D" kenarı, küçük bir metal-metal (d-d) bağlanma katkısıyla ilişkilidir.

CuFeO_2 'deki bakır ve demirin oksidasyon durumları sırasıyla Cu^+ ve Fe^{3+} 'dir. Kristal yapı çalışmaları, bakırın Cu^+ oksidasyon durumunu koruyarak kristalin genel iyonik karakterini koruduğu CuCrO_2 oluşumunu göstermektedir. Tutarlı Fe K-kenar spektrumları demir oksidasyon durumunun korunmasını desteklerken, CuCrO_2 fazı için ek kanıtlar Şekil 4.3.'de sunulmaktadır.



Şekil 4.3. Krom ikameli CuFeO_2 malzemeleri için Cu K-kenar XAFS spektrumlarının karşılaştırılması ($x = 0.05$ ve 0.15)

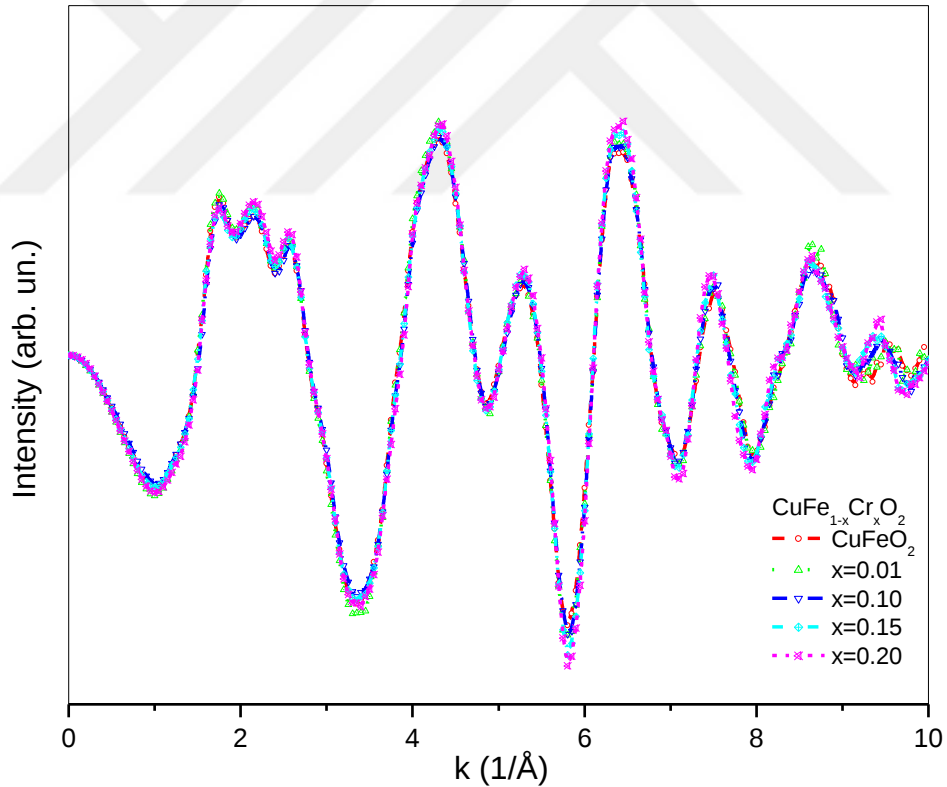
Şekil 4.3'deki Cu K-kenar emilim spektrumları, 8962.8 eV'de bir başlangıç sergilerken, ardından hibritlenmiş Cu 3d - O 2p durumlarına yasaklanmış 1s-3d geçişine atfedilen zayıf bir ön-kenar özelliği gelmiştir. Bu ön-kenar tepe noktası, baz CuFeO_2 oksitte önemli ölçüde daha az belirgindir. 8984.68 eV'deki ana emilim tepe noktaları, kristal yapı içinde kararlı bir Cu^+ oksidasyon durumunu gösteren tüm örneklerde tutarlı kalır.

Yüksek enerjili emilim süreci sırasında, fotoelektronlar dış kabuk elektronları tarafından uygulanan itici kuvvetler nedeniyle çevredeki atomlar tarafından saçılır. Bu saçılma olayları, ana kenarın ötesinde emilim verilerinde dalgalanmalara neden olur

ve atom kütlesi ve konumuyla ilgili saçılma enerjilerinin belirlenmesini sağlar. Bu saçılma yoğunluklarının genişletilmiş X-ışını emilim ince yapı (EXAFS) analizi, kristal oluşumunu yöneten elektronik etkileşimler hakkında değerli bilgiler sağlar. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, EXAFS saçılma verileri örnek serisinde yüksek tutarlılık gösterir ve bu da kararlı bir kristal ortamı önerir. EXAFS yoğunlukları, aşağıdaki denkleme göre XAFS spektrum kuyruğundan çıkarılabilir:

$$\chi(E) = \frac{\mu(E) - \mu_0(E)}{\mu_0(E)} \quad (4.1)$$

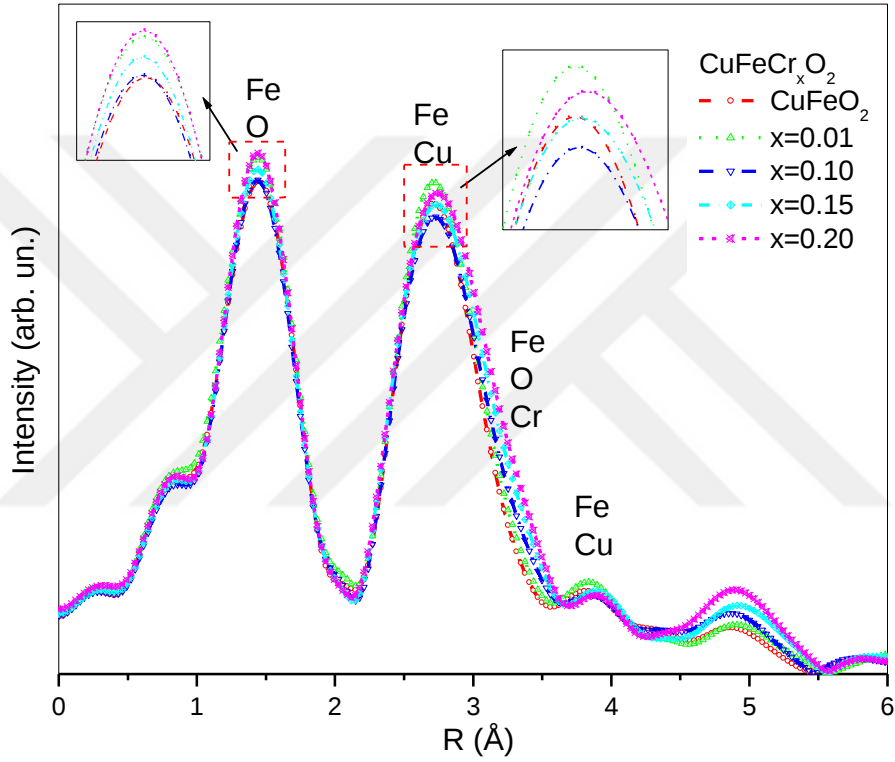
burada, $\mu_0(E)$ arka plan emilimini ve $\mu(E)$ toplam emilimi temsil etmektedir. Bu denklemin XAFS verilerine uygulanması saçılma yoğunluklarını verir. $x = 0.10$ örneği için saçılma verilerinde belirgin bir kayma (Şekil 4.4), demir atomları etrafındaki yerel atomik ortamdaki değişiklikleri göstermektedir.



Şekil 4.4. Krom ikameli CuFeO_2 malzemesinin EXAFS saçılma verilerinin karşılaştırılması

$\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ serisindeki merkezi demir atomundan atomik uzaklıkları belirlemek için Fourier dönüşümü FT-EXAFS analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5, tepe noktalarının

demir merkezini çevreleyen atom kabuklarına karşılık geldiği FT-EXAFS spektrumlarını göstermektedir. İlk koordinasyon kabuğu, esas olarak rombohedral ve/veya hekzagonal CuFeO_2 fazlarıyla ilişkili demir atomlarından oluşmuştur. Hekzagonal yapıda, iki demir atomu $1.816 \text{ \AA}$ 'de bulunurken, bunu $1.989 \text{ \AA}$ 'de altı oksijen atomu izlemiştir. Sırasıyla altı demir ve altı bakır atomu içeren ikinci bir koordinasyon kabuğu $3.028 \text{ \AA}$ ve $3.343 \text{ \AA}$ 'de gözlenmiştir. Oksijen atomları, metal merkezleri arasında köprü ligandları olarak görev yapmıştır.



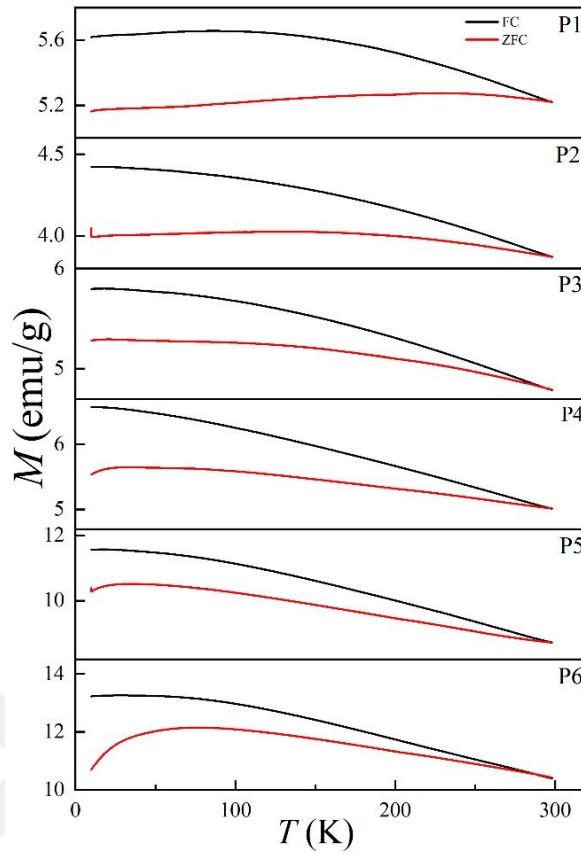
Şekil 4.5. Krom ikameli CuFeO_2 malzemesinin FT-EXAFS verileri

FT-EXAFS spektrumlarındaki genel tepe profilleri güçlü bir uyum sergilerken, ikinci tepenin daha düşük mesafelere doğru ince kaymaları, demir bölgelerinde krom ikamesinin neden olduğu atom pozisyonlarındaki değişiklikleri göstermektedir. Bu tepe bölünmesi, bakır ve demir ortamlarındaki farklı kristalleşmenin etkisini etkili bir şekilde azaltır.

4.2. Manyetik Analizler

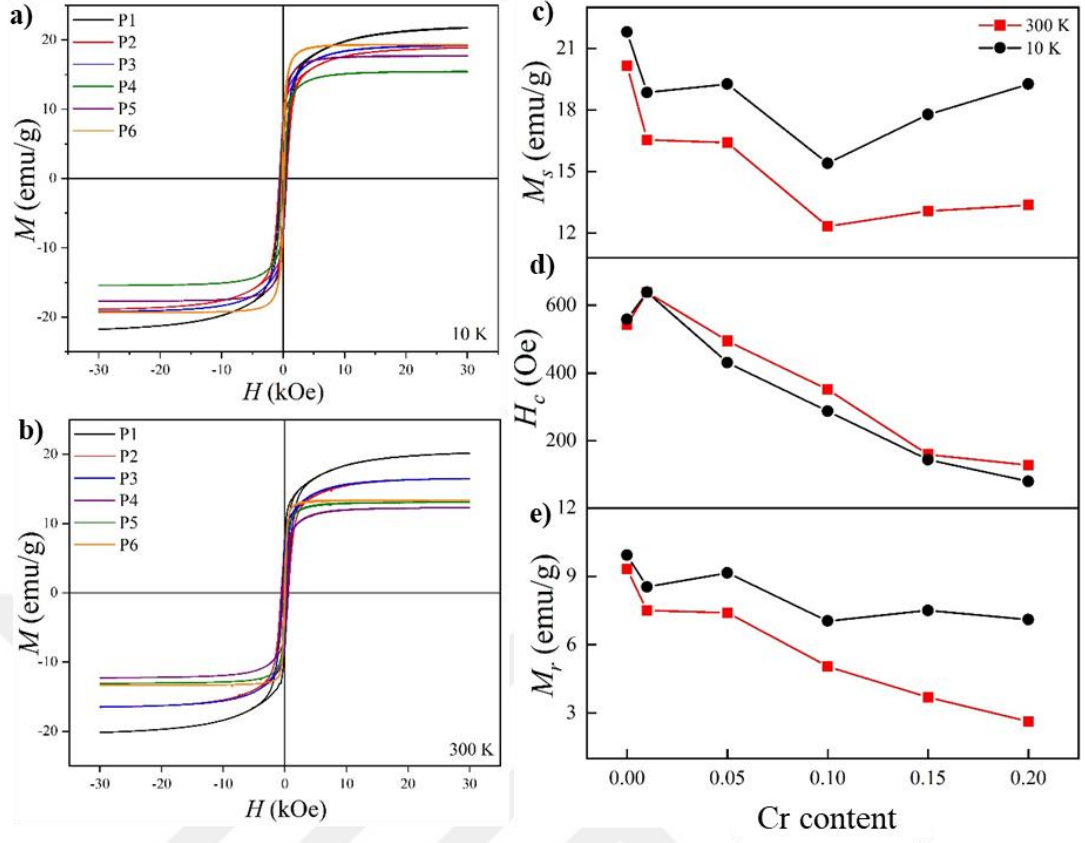
$\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ 'nin ($x = 0.00, 0.01, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20$) manyetik özellikleri, mıknatıslanma (M-T) ölçümleri yoluyla araştırılmıştır. M-T eğrileri, 10 K ile 300 K arasındaki 500 Oe'lik manyetik alanda sıfır alan soğutmalı (ZFC) ve alan soğutmalı (FC) koşullar altında elde edilmiştir. ZFC ölçümleri için, numuneler alan olmadan 10 K'ye kadar soğutulmuş, ardından alan uygulaması yapıp 300 K'ye kadar ısıtılmıştır. Tersine, FC ölçümleri numunelerin sabit bir manyetik alanda oda sıcaklığından 10 K'ye soğutulmasını içermektedir. Şekil 4.7, $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ serisi için M-T eğrilerini göstermektedir.

Krom ikamesi CuFeO_2 'nin manyetik davranışını marjinal olarak değiştirmiştir. ZFC ve FC eğrileri arasındaki çatallanma artan krom içeriğiyle azalmıştır. Düşük sıcaklıklarda spin-cam veya küme-cam durumlarının karakteristiği olan belirgin bir çatallanma gözlemlenmiştir. Bu durumlar donmuş rastgele spin yönelimlerine yol açar ve ZFC ve FC eğrilerinin ıraksamasına neden olur. Bu çatallanmanın krom tarafından bastırılması spin-cam benzeri davranışta bir azalma olduğunu göstermektedir. Ek olarak, düşük sıcaklıklarda mıknatıslanma, muhtemelen yeniden yerleştirilmiş krom iyonlarının neden olduğu zayıflamış antiferromanyetik etkileşimler nedeniyle 500 Oe alan altında krom katkısıyla artmaktadır. Tüm numunelerin geçiş sıcaklığı 300 K ölçüm sınırını aşmıştır.



Şekil 4.6. Sıfır Alan Soğutmalı (ZFC) ve Alan Soğutmalı (FC) koşullar altında $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ numuneleri ($x=0.0, 0.01, 0.05, 0.10, 0.15$ ve 0.20) için manyetizasyonun sıcaklığa bağlılığı

Şekil 4.7a-b, sırasıyla 10 K ve 300 K’de ölçülen numuneler için manyetik histerisis (M-H) döngülerini göstermektedir. İncelenen sıcaklık aralığında manyetik faz geçişinin olmaması göz önüne alındığında, M-H eğrileri her iki sıcaklıkta da benzer yumuşak ferromanyetik davranış göstermektedir. Beklendiği gibi, doyma mıknatıslanma (M_s) değerleri, termal etkilerin azalması nedeniyle 300 K’ye kıyasla 10 K’de daha yüksektir. Şekil 4.7.c, M_s değerlerini $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ ’deki krom içeriğinin bir fonksiyonu olarak göstermektedir. M_s , % 10’a kadar artan kromla başlangıçta azalmış, daha sonra % 20’de maksimuma ulaşmıştır; bu, potansiyel olarak daha yüksek krom konsantrasyonlarında CuCrO_2 fazının ortaya çıkmasıyla ilişkilidir. Şekil 4.7.d ve 4.7.e, hem zorlayıcılığın (koersivite, H_c) hem de kalıcı mıknatıslanmanın (M_r) artan krom içeriğiyle kademeli olarak azaldığını göstermektedir. H_c ’deki azalma, M-T eğrilerinde gözlenen azalan manyetik anizotropi ile ilişkilidir.



Şekil 4.7. Histeresis halkaları. (c) doygunluk mıknatıslanmasının, (d) zorlayıcı alanın ve (e) kalıcı mıknatıslanmanın $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ numunelerindeki krom içeriğine bağımlılığı.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Krom-ikameli CuFeO_2 'nin kristal ve elektronik özellikleri, sinkrotron XRD ve XAFS kullanılarak oda sıcaklığında incelenirken, manyetik davranış 10 ila 300 K'lik uygulanan alanlar altında incelenmiştir. Ana bileşik, tüm ikame edilmiş örneklerde kalıcı olan, rombohedral $R\bar{3}m:m$ CuFeO_2 (% 87,7) ve hekzagonal $P63/mmc$ CuFeO_2 (% 12,3) ile karışık fazlı bir yapı sergilemiştir.

XRD desenleri, krom-ikameli numuneler içinde tetragonal $P63/mmc$ CuCrO_2 oluşumunu ortaya koymuştur. Ayırık CuCrO_2 kristalitlerinin varlığına rağmen, kromun oksijen sahası işgali üzerinde ihmal edilebilir bir etkisi olmuş ve genel yapıyı korumuştur. Bu kararlılık, demirin daha yüksek elektronegatifliği nedeniyle krom-oksijen bağlarına kıyasla daha güçlü demir-oksijen bağlarına atfedilir.

XAFS spektroskopisi XRD bulgularını doğrulamıştır. Manyetik olarak, sistem bildirilen davranıştan sapmış ve saf CuFeO_2 için bildirilen 11 veya 14 K'nin altındaki antiferromanyetik düzenlemenin aksine, 10-300 K aralığında ferromanyetik özellikler sergilemiştir. Krom ikamesi koersiviteyi ve kalıcı mıknatıslanmayı azaltmış ancak daha yüksek krom konsantrasyonlarında doygunluk mıknatıslanmasını artırmıştır.

İleride gerçekleştirilecek çalışmalar, CuFeO_2 malzemesine krom katkı oranını ve sentezleme yöntemini değiştirerek, yapısal ve manyetik özellikler arasındaki ilişkiyi daha iyi incelemek üzerine yoğunlaştırılabilir. Bu çalışmalar, sensörler, bellek cihazları, bataryalar veya güneş enerjisi hücreleri gibi teknolojik çalışmalara odaklanabilir.

KAYNAKLAR

- Anthony, J.W., Bideaux, R.A., Bladh, K.W., Nichols, M.C., eds., Delafossite, Handbook of Mineralogy, Vol. III (Halides, Hydroxides, Oxides), Chantilly, VA, US: Mineralogical Society of America, 1997.
- Aurobind, S.V., Amirthalingam, K.P., Gomathi, H., Sol-gel based surface modification of electrodes for electro analysis, Advances in Colloid and Interface Science, 121(1-3), 1-7, 2006.
- Bencheikh, R., Belakroum, K., Theoretical study of the spinel structure of CuCr₂O₄ in the tetragonal phase using density functional theory, Journal of Nano-and Electronic Physics, 14(5), 05030, 2022.
- Bilgin, A., Çağlar, B., Klasikten Moderne Osmanlı Ekonomisi, Kronik Kitap, 2019.
- Brinker, C.J., Scherer, G.W., Sol-gel science - the physics and chemistry of sol-gel processing, Academic Press, New York, 1990.
- Callister W.D., Materials science and engineering, John Wiley & Sons, USA, 2007.
- Cornell, R.M., Schwertmann, U., The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses, Wiley, Germany, 2003.
- Dang, M.Z., Rancourt, D.G., Dutrizac, J. E., Lamarche, G., Provencher, R., Interplay of surface conditions, particle size, stoichiometry, cell parameters, and magnetism in synthetic hematite-like materials, Hyperfine Interactions, 117 (14), 271-319, 1998.
- Dikici, M., Katıhal Fiziği, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2012.
- Dikici, M., Katıhal Fiziğine Giriş, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Samsun, 1993.
- Durlu, T. N., Katıhal Fiziğine Giriş, Set Ofset, Ankara, 1992.
- Gezci, S., Katıhal Fiziği, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1992.

- Gignoux D., Schlenker M., Lacheisserie, E.T., Magnetism, Vol. 1, Fundamentals, 2005.
- Greenwood, N.N., Earnshaw, A., Chemistry of the Elements, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1997.
- Gupta, R., Chaudhury, N.K., Entrapment of biomolecules in solgel matrix for applications in biosensors: Problems and future prospects, Biosensors and Bioelectronics, 22, 2387-2399, 2007.
- Kawaguchi, S., Takemoto, ., Tanaka, H., Hiraide, S., Sugimoto, K., Kubota, Y., Fast continuous measurement of synchrotron powder diffraction synchronized with controlling gas and vapour pressures at beamline BL02B2 of SPring-8, Journal of Synchrotron Radiation, 27, 616-624, 2020.
- Kervan S., $R_{1-x}R_x\text{Mn}_2\text{Ge}_2$ İntermetalik bileşiklerin kristal yapı ve manyetik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2001.
- Kittel, C., Introduction to solid state physics, seventh edition, Wiley, New York, 1996.
- Li W., Fries D.P., Malik A., Sol-gel stationary phases for capillary electrochromatography, Journal of Chromatography A, 1044, 23-52, 2004.
- Livage J., Beteille F., Roux C., Chatry, M., David-son, P., Sol-gel synthesis of oxide materials, Acta Materialia, 46(3), 743-750, 1998.
- Mackenzie J.D., Bescher E.P., Chemical routes in the synthesis of nanomaterials using the sol-gel process, Accounts of Chemical Research, 40(9), 810-818, 2007.
- Marquardt, M.A., Ashmore, N.A., Cann, D.P., Crystal chemistry and electrical properties of the delafossite structure, Thin Solid Films, 496 (1), 146-156, 2006.
- Maruszewski, K., Strek, W., Jasiorski, M., Ucyk, A., Technology and applications of sol-gel materials, Radiation Effects & Defects in Solids, 158, 439-450, 2003.
- Metroke, T.L., Parkhill, R.L., Knobbe, E.T., Passivation of metal alloys using sol-gel derived materials - a review, Progress in Organic Coatings, 41, 233-238, 2001.

- Özkendir, O.M., An XAFS study on the electronic structure study of the boron substituted CuFeO₂, International Journal of Engineering & Applied Sciences, 13(1), 10-16, 2021.
- Pabst, A., Notes on the structure of delafossite, American Mineralogist, 23, 539-546, 1946.
- Pabst, A., Crystal structure and density of delafossite, American Mineralogist, 20, 175-176, 1938.
- Pierre, A.C., Introduction to Sol-Gel Processing, Kluwer Academic Publisher, London, 1998.
- Reed J.S., Principles of ceramics processing, 2nd edition, Wiley, New York, 1995.
- Richardson, H.W., Copper compounds in Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Wiley-VCH, Weinheim, 2002.
- Rogers, A.F., Delafossite, a cuprous metaferrite from Bisbee, Arizona, American Journal of Science, 35, 290-294, 1913.
- Rogers, A.F., Delafossite from Kimberly, Nevada, American Mineralogist, 7, 102-104, 1922.
- Sarıkaya, Y., Fizikokimya, 2.Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 1997.
- Siddiqui, H.P., A review: synthesis, characterization and cell performance of Cu₂O based material for solar cells, Oriental Journal Of Chemistry, 28 (3), 1533-1545, 2012.
- Stefanita, C.G., From bulk to nano, Springer series in materials science, 2008.
- Szytula, A., Pedziwiatr, A.T., Tomkiewicz, Z., Bazela, W., Crystal and magnetic structure of CoMnGe, CoFeGe, FeMnGe and NiFeGe, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 25(2), 176-186, 1981.
- Turton, R., Katıların Fiziği, 2.Baskı, Çeviri: Yoğurtçu Y.K., Aktif Yayınevi, 2007.

Wright, J.D., Sommerdijk, N.A.J.M., Sol-gel materials: chemistry and applications, The Netherlands Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 2001.

Zhang, J.T., Ji, C., Wang, J.L., Xia, W.S., Guo, B.X., Lu, X.M., Zhu, J.S., Spin-induced ferroelectricity in a triangular-lattice antiferromagnet studied by magnetoelectric coupling tensors, Physical Review B, 96, 235136, 2017.



ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Pınar EZİRCAN

2. Ünvanı : Fizikçi

3. Öğrenim Durumu : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Fizik	Çukurova Üniversitesi	1999

4. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Fizik Öğretmeni	Milli Eğitim Bakanlığı	2002-

5. Yayınlar:

1. Ezircan, P., Aslan, M.S., Miyazaki, H., Akyol, M., Özkendir, O.M., Ekicibil, A., Öztürk, H., The Effects of Chromium Substitution on the Electronic and Magnetic Properties of CuFeO_2 , (gönderildi).



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU
(SAVUNMA SONRASI)

FORM
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	Pınar EZİRCAN
Öğrenci Numarası	2212103104
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	Fizik
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK
Tez Başlığı (Türkçe)	SOL-JEL YÖNTEMİ İLE SENTEZLENEN KROM KATKILI CuFeO ₂ MALZEMESİNİN FİZİKSEL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract c) Giriş, d) Ana bölümler, e) Sonuç ve f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 64 sayfalık kısmına ilişkin, 22 /08 /2024 tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 22 'tür.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30) ☒

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10) ☐

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Tarih ve İmza

Öğrenci

Danışman Onayı
UYGUNDUR

Unvanı, Adı Soyadı
(İmzası)

Enstitü Onayı
UYGUNDUR

Adı Soyadı
(İmzası)

AÇIKLAMALAR

- Lisansüstü tezler, savunma öncesinde benzerlik raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
- Benzerlik raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN'den alınan raporda "benzerlik oranı"nın, "alıntılar hariç" en fazla %10, "alıntılar dahil" % 30'u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).