

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Ca<sub>0.75</sub>Zn<sub>0.25</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> FERRİT MALZEMESİNİN  
İLETKENLİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Aynur KILIÇARSLAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sadık BAĞCI**

**Şubat 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  FERRİT MALZEMESİNİN  
İLETKENLİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aynur KILIÇARSLAN

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

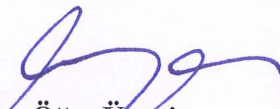
Bu tez 27 / 02 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.  
Sadık BAĞCI  
Jüri Başkanı



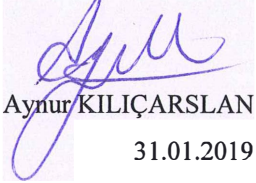
Doç. Dr.  
Ali ÇORUH  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi  
Tuğba ŞAŞMAZ KURU  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

  
Aynur KILIÇARSLAN  
31.01.2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, beni yönlendiren sayın danışmanım Doç. Dr. Sadık BAĞCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı Prof. Dr. Recep AKKAYA'ya teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın tüm sürecinde bana destek olan canım aileme beni bugünlere ulaştıran anne ve babama çok teşekkür ederim.

Ve maddi manevi desteğini, yardımını esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili eşim Cihan DOĞAN'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın tüm basamaklarında desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Şaşmaz KURU'ya çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vi
ÖZET .....	vii
SUMMARY .....	viii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

KRİSTAL YAPI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER .....	3
2.1. Basit Kübik Örgü .....	3
2.2. Kübik Spinel Kristal Yapı .....	4
2.3. Elektriksel Özellikler .....	4
2.3.1. Elektrik iletkenliği .....	5
2.3.2. İletkenlik mekanizmaları .....	6
2.3.3. Empedans .....	7
2.3.4. Dielektrik sabitleri .....	9

### BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÖLÇÜM TEKNİKLERİ .....	12
3.1. X- Işını Difraktometresi (XRD) .....	12
3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) .....	13

3.3. LCR-Metre Ölçüm Metodu .....	14
BÖLÜM 4.	
MALZEMENİN HAZIRLANIŞI .....	15
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR .....	16
5.1. Malzemenin Yapısal Karakterizasyonu .....	16
5.2. Malzemenin Dielektrik Özellikleri .....	18
5.2.1. Dielektrik sabitleri .....	18
5.2.2. Empedans .....	20
5.2.3. İletkenlik .....	23
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER .....	25
KAYNAKLAR .....	26
ÖZGEÇMİŞ .....	30

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\delta$	: Faz farkı
$\text{Å}$	: Angstrom
$\epsilon_0$	: Boşluğun dielektrik geçirgenliği
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
K	: Kelvin
d	: Numune kalınlığı
Hz	: Hertz
FCC	: Yüzey merkezli kübik
C	: Kapasitans
G	: Konduktans
XRD	: X-ışınları kırınımı
Z'	: Empedansın reel kısmı
Z''	: Empedansın sanal kısmı
s	: İletkenlik kuvvet parametresi
$\omega$	: Açısal frekans
$\sigma_{ac}$	: AC iletkenlik
$\sigma_{dc}$	: DC iletkenlik
C	: Kapasitans
V	: Potansiyel
$\epsilon_r$	: Bağlı geçirgenlik
Q	: Yük
F	: Farad

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Basit kübik örgü vektörleri .....	3
Şekil 2.2. Kübik spinel yapı .....	4
Şekil 2.3. Paralel plakalı kapasitör .....	11
Şekil 3.1. XRD cihazı .....	12
Şekil 3.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı.....	13
Şekil 3.3. LCR-metre cihazı.....	14
Şekil 4.1. Pelet haline getirilmiş toz numune .....	15
Şekil 5.1. $\text{Ca}_{0,75}\text{Zn}_{0,25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ferrit nanoparçacıklarının XRD analizi .....	16
Şekil 5.2. $\text{Ca}_{0,75}\text{Zn}_{0,25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ferrit malzemesinin SEM görüntüsü ve EDX analizleri .....	17
Şekil 5.3. Dielektrik sabitinin reel kısmının 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı .....	18
Şekil 5.4. Dielektrik sabitinin sanal kısmının 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı .....	19
Şekil 5.5. $\tan \theta$ 'nın 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı .....	20
Şekil 5.6. Empedansın reel kısmının 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı .....	21
Şekil 5.7. Empedansın sanal kısmının 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı .....	22
Şekil 5.8. 350-700 K sıcaklık aralığında Nyquist diyagramları .....	22
Şekil 5.9. 350-700 K sıcaklık aralığında AC iletkenliğin frekansla değişimi.....	24
Şekil 5.10. DC iletkenliğin 1000/T ile değişimi.....	24



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 5.1. $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ malzemesinin yapısal özellikleri ile ilgili bazı parametreler .....	18
---	----

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Ca-Zn ferritler, XRD, Dielektrik özellikleri, Birlikte çökeltme yöntemi.

$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  formülüne sahip kalsiyum-çinko ferrit nano parçacıkları kimyasal birlikte çökeltme metodu kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numunenin XRD ve SEM ölçüm teknikleri ile karakterizasyonu yapılmıştır. XRD sonuçları hazırlanan numunenin kübik spinel kristal yapıya sahip olduğunu doğrulamıştır.  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  numunesinin kristal boyutu Debye Scherrer eşitliğinden yararlanılarak 12.77 nm olarak ölçülmüştür. Hazırlanan numunenin dielektrik ve empedans özellikleri 20 Hz-10 MHz frekans ve 350 K-700 K sıcaklık aralığında incelenmiştir. Ayrıca malzemenin AC ve DC iletkenlik özellikleri bu çalışma kapsamında sunulmuş ve detaylı şekilde tartışılmıştır.

# **CONDUCTIVITY AND DIELECTRIC PROPERTIES OF $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ FERRITE MATERIAL**

## **SUMMARY**

Keywords: Ca-Zn ferrites, XRD, Dielectric properties, Co-precipitation method

The calcium-zinc ferrite nano-particles with the formula of  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  have been prepared by using the chemical co-precipitation method. The prepared sample was characterised by using X-Ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). XRD analysis indicates that  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  material crystallizes in the cubic spinel phase. The crystallite size of the sample obtained from Debye Scherrer's equation was found to be 12.77 nm. The dielectric and impedance properties of  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  have been investigated in the frequency range from 20 Hz to 10 MHz and in the temperature range from 350 K to 700 K. The AC and DC conductivity of the prepared sample has been also presented and discussed in detail.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kübik spinel kristal yapıya sahip ferrit malzemeler; yüksek manyetik doygunluk, yüksek Curie noktası, yarıiletken-yalıtkan geçişi, yüksek dielektrik sabiti ve düşük dielektrik kaybı gibi değerli özellikleri nedeniyle teknolojik ve mühendislik araştırma alanlarında önemli bir yere sahiptir (Akhtar, 2017; Goldmann, 2010; Kuru, 2018a; Praveena, 2017; Smith, 1959). Ferrit malzemeler arasında  $ZnFe_2O_4$  formülü ile verilen çinko-ferrit malzemeler üzerine son yıllarda hem teorik hem de deneysel çok sayıda çalışma yapılmıştır (Granone, 2018; Quintero, 2019; Xiao, 2018; Yang, 2019; Ying, 2018; Yu, 2019). Bu çalışmalarda, bu malzemelerin yapısal, elektronik, optik ve manyetik özellikleri üzerine araştırmalar yapılmış olup, teknolojik kullanım alanları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu malzemeler  $Fd-3m$  uzay grup simetrisine sahip kübik spinel kristal yapısıyla, Ni, Mg, Al, Mn, Ca, Co gibi katyon atomlarının katkılanmasına uygundur. Bu atomların uygun oranlarda katkılanması ile ferrit malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ayarlanabilmekte ve bu da onları farklı teknolojik uygulama alanlarında kullanım için daha elverişli hale getirmektedir (Muhammad, 2017; Nikam, 2014; Nordin, 2017). Bu malzemeler arasında Ca katkılı  $ZnFe_2O_4$  kristali neredeyse literatürde hiç çalışılmamıştır. A. Kalendova ve D. Vesely 2007 yılında  $Ca_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$  malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir (Kalendová and Veselý, 2007). M. Bini ve arkadaşları 2018 yılında yaptıkları çalışmada  $Zn_{1-x}Ca_xFe_2O_4$  (x: 0.05 ve 0.25) alaşımlarını sentezleyerek, yapısal karakterizasyonunu yapmışlar ve manyetik özelliklerini incelemiştir (Bini vd., 2018). Ca katkılı  $ZnFe_2O_4$  malzemesi üzerine yapılan bir diğer çalışma ise yine 2018 yılında Quinzeni ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmada  $Zn_{1-x}Fe_{2-x}Al_xO_4$  (x: 0.1 ve 0.5) alaşımlarının lityum-iyon pillerinin anot malzemesi olarak kullanımı ile ilgili bir araştırma yapılmıştır (Quinzeni vd., 2018).

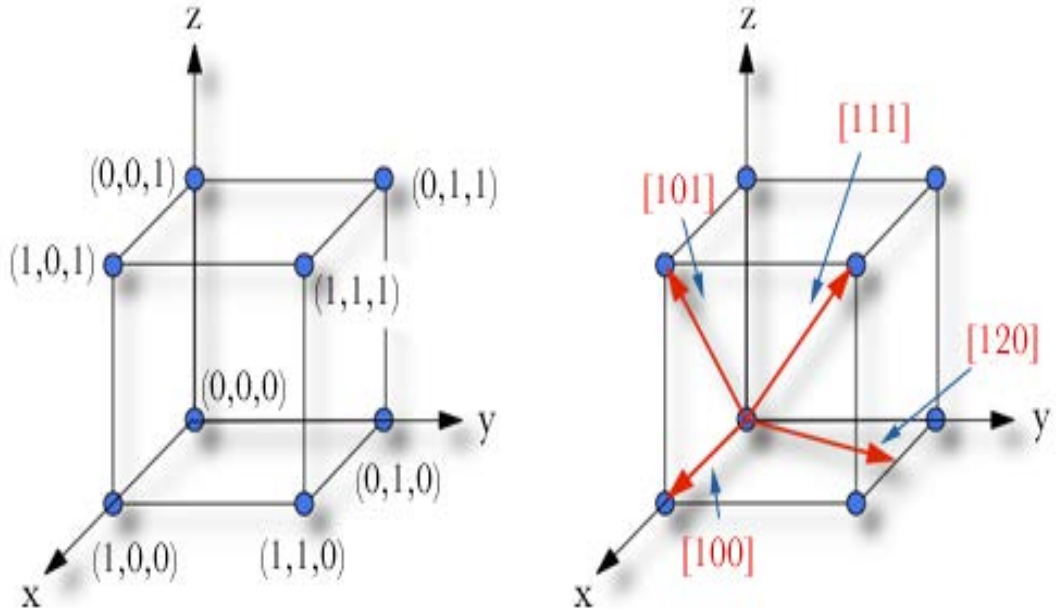
Son yıllarda üzerine halen çalışmalar yapılmakta olan  $\text{CaZnFe}_2\text{O}_4$  bileşiklerinden biri olan ve literatürde hiç çalışılmamış  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrit nanoparçacıkları, ilk kez bu çalışma kapsamında sentezlenmiştir. Sentezlenen numune için XRD ve SEM görüntüleri alınarak yapısal ve morfolojik özellikleri elde edilmiştir. Daha sonra  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  malzemesinin farklı frekans ve sıcaklıklarda reel ve imajiner dielektrik sabitleri ile empedans değerleri belirlenmiştir. Son olarak AC ve DC iletkenlik grafikleri verildikten sonra Nyquist diyagramları kullanılarak iletkenlik mekanizması açıklanmaya çalışılmıştır.

## BÖLÜM 2. KRİSTAL YAPI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER

### 2.1. Basit Kübik Örgü

Kübik spinel kristal yapının örgüsü basit kübik örgüdür. O nedenle ilk olarak basit kübik örgü anlatılmalıdır. Kristalin geometrik özellikleri ile ilgilenen kristalografiye göre her atom, merkezine yerleştirilen geometrik bir nokta ile gösterilir. Böylece elde edilen desen geometrik özellik olarak noktalar ile aynıdır. Bu desene kristal örgü denir. Şekil 2.1.'de bir basit kübik örgünün yapısı ve temel örgü vektörleri görülmektedir.

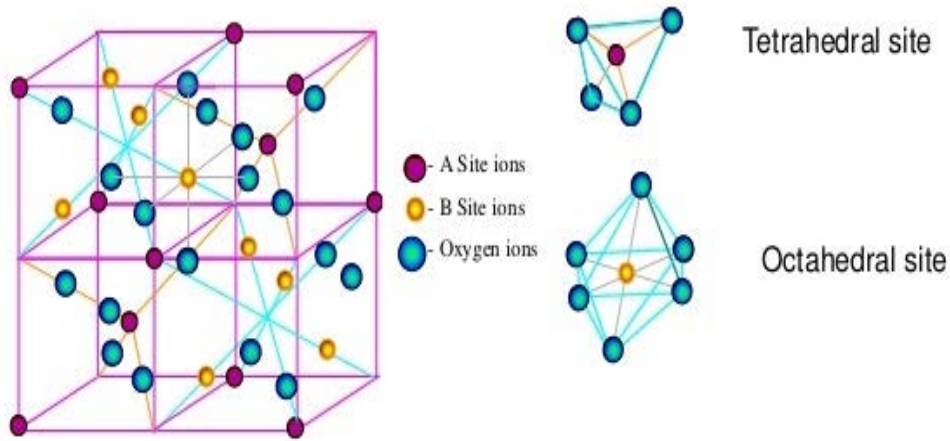
İdeal bir kristal, kristal örgü noktalarına yerleştirilen özdeş atomlar veya atom grupları tarafından oluşturulur (Dikici, 2013, Çetin, 2018).



Şekil 2.1. Basit kübik örgü vektörleri

## 2.2. Kübik Spinel Kristal Yapı

Birim formülü iki oktahedral ve bir tetrahedral ile oksitlerden oluşan sıkı paketlenmiş kübik yapılar normal spinel yapılar olarak adlandırılır. Spinel bir yapıda belirli bir kation dağılımını açıklayabilmek için mevcut metallerin geçişinin alan kararlılık enerjileri (CFSE) hesaplanmalıdır. Bu enerjiler hesaplandıktan sonra elde edilecek kristal yapının temsili bir şekli, Şekil 2.2.'de görülmektedir (Kumbhar, 2013).



Şekil 2.2. Kübik spinel yapı

## 2.3. Elektriksel Özellikler

Bir yapı veya bileşenin tasarımında, malzeme seçimi ve üretimine ait işlem adımlarının kararlaştırılmasında malzemenin elektriksel özellikleri çoğu zaman önemli bir konu başlığını oluşturur. Örneğin, bir entegre devre paketinde kullanılan malzemelerin elektriksel davranışları farklıdır, bazılarının özellikle elektrik iletkenliğinin çok yüksek olması gerekirken, bazılarının ise özellikle yalıtkan olması istenir. Bir iletken katı malzemenin en önemli elektriksel özelliklerinden birisi, elektrik akımını kolay iletmesidir. Ohm kanununa göre, akım ile uygulanan voltaj

$$V = I.R \quad (2.1)$$

şeklinde ilişkilidir. Burada R akımın geçtiği malzemenin direncidir. V, I ve R'nin birimleri sırasıyla volt (J/C), amper (C/s) ve ohm (V/A)' dur. R'nin değeri numune geometrisiyle değişir ve birçok malzeme için akımdan bağımsızdır. Elektriksel öz direnç  $\rho$  ise numune geometrisinden bağımsızdır ve aşağıda ifade edildiği gibi R ile ilişkilidir:

$$\rho = RA/l \quad (2.2)$$

Burada l gerilimin ölçüldüğü iki nokta arasındaki mesafe, A ise akımın geçtiği yöne dik kesit alanıdır,  $\rho$ 'nun birimi ohm-metre ( $\Omega.m$ )'dir. Ohm kanunu ve denklem 2.2 kullanılarak aşağıdaki denklem elde edilir ( Kuru, 2017.

$$\rho = VA/l \quad (2.3)$$

### 2.3.1. Elektrik iletkenliği

Bir malzemenin elektriksel özelliklerini belirtmek için, elektrik iletkenliği  $\sigma$  kullanılır. Bu basit olarak öz direncin tersidir;

$$\sigma = 1/\rho \quad (2.4)$$

Bu, malzemenin elektrik akımını iletme kabiliyetinin bir göstergesidir,  $\sigma$ 'nın birimi ohm-metre biriminin tersidir [ $(\Omega.m)^{-1}$  veya  $1/ohm.m$ ]. Katı malzemelerin elektrik iletkenliği birbirlerine göre 27 kat gibi, çok büyük bir aralıkta değişirken, diğer fiziksel özellikleri bu kadar geniş bir değişkenlik aralığına sahip değildir. Malzemeleri sınıflandırmada kullanılan önemli bir özellik, elektrik akımını iletim kabiliyetidir ve bu sınıflandırmada iletkenler, yarı iletkenler ve yalıtkanlar olmak üzere üç temel grup vardır. Metaller iyi bir iletkenlerdir, tipik olarak  $10^7 (\Omega.m)^{-1}$  mertebesinde elektrik iletkenliğine sahiptirler. Diğerleri ise  $10^{-10}$  ile  $10^{-20} (\Omega.m)^{-1}$  arasında değişen çok düşük elektrik iletkenliğine sahip malzemelerdir; bunlar, elektriksel açıdan yalıtkan kabul edilir. Orta seviyede iletkenliğe sahip olanlar,



genellikle  $10^{-6}$  ile  $10^4$   $(\Omega.m)^{-1}$  arasında bir değere sahiptir ve yarı iletken olarak adlandırılır ( Kuru, 2017).

### 2.3.2. İletkenlik mekanizmaları

Düzensiz katılarda elektriksel iletkenlik mekanizmalarının incelenmesi malzemenin içyapısına dair geniş bir bilgi birikimi sağlar.

Şimdi DC iletkenlik mekanizmasını açıklayalım. Evrensel güç kanununa (Universal Power Law) göre iletkenlik, doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) iletkenliklerinin toplamına eşittir.

$$\sigma_{tot} = \sigma_{dc} + \sigma_{ac} \quad (2.5)$$

$$\sigma_{tot} = \sigma_{dc} + A\omega^s \quad (2.6)$$

Düşük sıcaklıklarda toplam iletkenliğin  $\sigma_{tot}$  sıcaklık bağımlılığı, DC iletkenliğinkinden  $\sigma_{dc}$  çok daha düşüktür. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklarda toplam iletkenliğin sıcaklığa bağımlılığı kuvvetlenir ve frekans bağımlılığı azalır. Yüksek sıcaklıklarda tüm frekanslardaki iletkenlik DC iletkenlik ile örtüşmektedir.

Başka bir iletkenlik mekanizması ise AC iletkenliktir. AC iletkenliğin genel bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_{ac}(\omega) = A\omega^s \quad (2.7)$$

A ve s deneysel veriler neticesinde çizilen  $\ln\sigma_{ac} - \ln\omega$  grafiklerinden elde edilen parametrelerdir. s parametresi, 0 ile 1 arasında değerler alabilir. s değerinin sıcaklığa karşı çizilen grafiklerinde AC iletkenliğin hangi mekanizmaya uyduğu bulunabilir (Kuru, 2017).

### 2.3.3. Empedans

Empedans kavramı AC devrelerde direnç eşdeğeri olarak kullanılır. Zamanla değişkenlik gösteren değerlerin bulunduğu kondansatör ve endüktans gibi elemanlarda empedans kullanılır. Aşağıda empedansın reel ve sanal kısımları görülmektedir (Serway, 1998).

$$Z = R + jX \quad (2.8)$$

Devreye bağlı bulunan saf omik dirençlerin eşdeğeri R kısmına (reel), kondansatör ve endüktansların eşdeğeri ise X kısmına (sanal) yazılır. AC gerilimin uygulandığı devrelerde direnç (R) yerine empedans (Z) kavramı kullanılır. AC devrelerin analizinde Ohm Kanunu aşağıdaki hali alır.

$$V = Z.I \quad (2.9)$$

$$Z = |Z| \angle \Phi_Z \quad (2.10)$$

Şebeke geriliminin faz açısı

$$\Phi_V = 0 \quad (2.11)$$

olduğunda ifade aşağıdaki gibidir.

$$|V| = |Z| \cdot |I| \angle (\Phi_Z + \Phi_I) \quad (2.12)$$

Sol tarafın faz açısı 0'dır. Eşitliğin sağ tarafı da sıfıra eşit olmalıdır. Bunun gerçekleşme şartı ise empedans ve akımın faz açılarının değer olarak birbirlerine eş, işaret olarak birbirine ters olmasıdır.

$$\Phi_Z + \Phi_I = 0 \quad (2.13)$$

Kapasitif bir yükün empedansında, sanal kısım ters yönde döner ve empedansın faz açısı negatif çıkar.

$$\Phi_Z = -\Phi_I \quad (2.14)$$

Kapasitif yüklerde akım fazörü gerilim fazörünün faz farkı kadar önünden ilerler. Direnç sadece reel kısımdan oluşan bir büyüklük olmasına rağmen, empedansın sanal kısmı bulunur. Kondansatör, türev ifadesi ile açıklandığı için empedans kavramının da açıklanması gerekir. Empedans;

$$Z = R + jX \quad (2.15)$$

şeklinde yorumlanır. R saf direnç eşdeğerini belirtirken, X ise devrede bulunan kondansatör ve endüktansların reaktanslarının eşdeğerini belirtir. Kondansatörün reaktansı  $X_C$ , endüktansın reaktansı ise  $X_L$ 'dir.

$$jX = -jX_C + jX_L \quad (2.16)$$

Saf kondansatör bağlı bir devreyi inceleyeceğimizden  $X_L = 0$  olarak kabul edilir ve yukarıdaki ifade aşağıdaki hale dönüşür.

$$jX = -jX_C \quad (2.17)$$

Bir direnç ve bir kondansatörün bağlı olduğu devre göz önüne alındığında empedans, aşağıdaki gibi olur.

$$Z = R + jX = R - jX_C \quad (2.18)$$

Bu ifade bize oldukça fazla bilgi verir. Empedansın içerisinde sanal kısmın önünde bulunan + işareti - işaretine dönüşür. Bu da kapasitif reaktansın ters yönde

dönmesine neden olur. Dolayısıyla, kondansatör empedansının faz açısı negatif yönde çıkar.

$$V = Z \cdot I \quad (2.19)$$

$$|V| < \Phi V = |Z| \cdot |I| < \Phi Z + \Phi I \quad (2.20)$$

Bu ifadeden anlaşılan, gerilimin faz değerinin, akımla empedansın faz değerlerinin toplamı olduğudur. Kapasitif devrede empedansın faz değeri negatif olduğundan aşağıdaki eşitlikler çıkartılır.

$$\Phi V = \Phi Z + \Phi I \quad (2.21)$$

$$\Phi V - \Phi I < 0 \quad (2.22)$$

Son ifade akımın faz açısının gerilimin faz açısından büyük olduğunu ifade etmektedir. Yani akım fazörü, gerilim fazörüne göre önde ilerler. Kapasitif devrelerde akım gerilimden ileridedir ve empedansın sanal kısmı negatif değer alır.

#### 2.3.4. Dielektrik sabitleri

Elektronların hareketine izin vermeyen yalıtkan olarak anılan malzemelere dielektrik malzeme denir. Bant teorisi bu tür yalıtkan kabul edilen malzemelerin özelliklerinin açıklanabilmesi için kullanılan bir teoredir. Bant teorisi, bir katıdaki elektronların hareketini açıklar. Bu teoriye göre her malzemedeki elektronlar tarafından doldurulacak değerlik bandı ve iletim bandı adı altında sürekli enerji bantları ve elektronların bulunamayacağı enerji aralıkları mevcuttur (Kuru, 2017).

Elektronların bir kısmı değerlik bandında bir kısmı da iletim bandında bulunur. Aşmaları gereken enerji aralığını yendikten sonra elektronlar bantlar arası geçiş yapabilir. Dielektrik malzemelerde değerlik bandı ile iletim bandı arasındaki enerji aralığı fazla olduğundan dielektrik malzemeler normal şartlarda iletim bandında

elektron bulunduramazlar ve bunun sonucu olarak da elektrik akımını iletemezler. Elektrik iletimi yapamayan yalıtkan malzemeler elektrik alandan etkilenirler. Elektrik alan etkisinde, elektron ve atomlar yer değiştirir. Bunun sonucunda elektrik yük merkezleri kayar ve elektriksel kutuplanma (polarizasyon) oluşur. Oluşan polarizasyon, dielektrik içindeki elektrik alanını zayıflatır.

Dielektrik sabiti ve bağıl geçirgenlik ifadesinin anlaşılması için Şekil 2.3.'de gösterilen paralel plakalı bir kapasitör ele alınabilir. Şekildeki kapasitörde A yüzey alanını, d ise paralel plakalar arası mesafeyi ifade eder, plakalar arasının vakumlanmış olma durumuna göre levhalara gerilim uygulandığında, bir levha + yüklenirken diğeri - yüklenecektir. Sonuç olarak kapasitörün sığasını, toplam yükü uygulanan gerilime oranlayarak ifade edebiliriz.

$$C = Q/V \quad (2.23)$$

Levhaları arasında vakum bulunan paralel bir kapasitör ele alalım. Kapasitans değeri

$$C = \epsilon_0 A/d \quad (2.24)$$

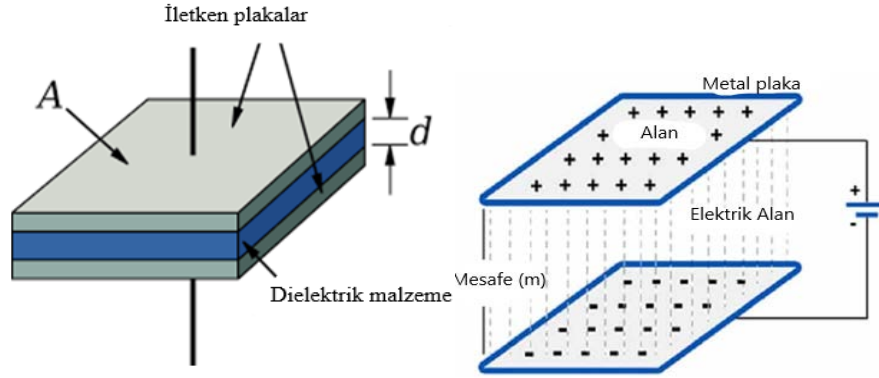
formülü ile hesaplanabilir. A levha alanını ve d levhalar arası mesafeyi gösterir.  $\epsilon_0$  parametresi vakuma ait geçirgenlik katsayısı olarak bilinen değeri  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m olan bir sabittir. Levhalar arasına bir dielektrik malzeme konulması durumunda kapasitansa ait denklem aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$C = \epsilon_r A/d \quad (2.25)$$

Dielektrik sabit olarak bilinen bağıl geçirgenlik katsayısı  $\epsilon_r$  dielektrik ortamın elektriksel geçirgenliğinin boşluğun elektriksel geçirgenliğine oranı ile hesaplanır.  $\epsilon_0$  değeri ise  $\epsilon$  değerinden küçüktür.

$$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0 \quad (2.26)$$

Bu sonuç 1'den büyük bir değerdir. Bu iliŐki, levhalar arasına dielektrik malzemenin yerleŐtirilmesiyle yük depolama kapasitesindeki artışı gösterir. Dielektrik sabit bir malzeme özelliği olup, kapasitör tasarımımda birinci önceliğe sahiptir.



Şekil 2.3. Paralel plakalı kapasitör

## BÖLÜM 3. DENEYSEL ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

### 3.1. Xrd (X-ışını Difraktometresi )

17. yüzyıla kadar kristallerin simetrisi ve atomların düzeni ile ilgili bilimsel bir bilgi elde edilememekteydi. 1895 yılında Wilhelm Röntgen tarafından X-ışınlarının keşfedilmesi ve 1912 yılında da Max Von Laue'nin X-ışınlarının bir kristalden saçılma açıları ile kristal düzlemleri arasındaki ilişkiyi bulması sonucunda X-ışınları kırınımı metodu ortaya çıkmıştır (Friedrich, 1912).

Bu yöntem; kristale gönderilen X-ışınlarının bazı özel yönlerde kırınımı ile elde edilen verilerin yorumlanması sonucunda, kristalin atomik ve moleküler yapısını belirlemek için kullanılan bir metottur. X-ışınlarının kristallerin yapı analizinde kullanılmasının temel sebepleri; dalga boylarının (1-100 Angström) kristallerin düzlemleri arasındaki mesafeye yakın boyutlarda olması ve yüksüz oldukları için kristalin içine yeterince girebilmeleridir.

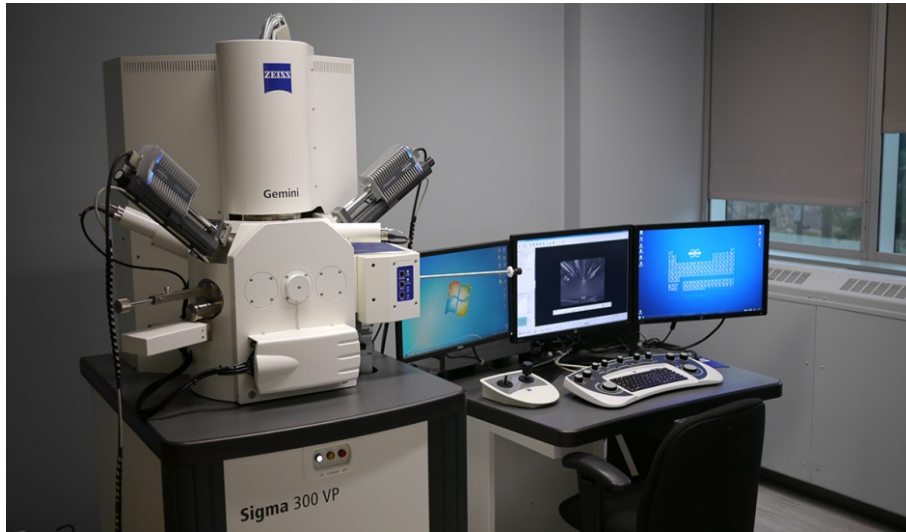


Şekil 3.1. XRD cihazı

Şekil 3.1.'de temsili bir X-Işınları Kırınım cihazı görülmektedir. Bu tez kapsamında hazırlanan numunenin ölçümleri buna benzer bir cihaz ile yapılmış ve elde edilen veriler analiz edilerek numunenin kristal yapısı belirlenmiştir.

### 3.2. Sem (Taramalı Elektron Mikroskobu)

1965'de kullanılmaya başlanan taramalı elektron mikroskobu (SEM), katı numunelerin yüzeyinde çeşitli sinyaller üretmek için yüksek enerjili elektronlardan oluşan odaklanmış bir elektron demeti kullanır. Bu etkileşimlerinden elde edilen sinyaller, dış morfoloji (doku), kimyasal bileşim ve numuneyi oluşturan kristal yapı ve oryantasyon da dahil olmak üzere numune hakkında bilgi verir. Birçok uygulamada, yüzeyin seçilen bir alanı üzerinden veriler toplanır ve 2 boyutlu bir görüntü oluşturulur. Alan olarak genişliği 1 cm ve 5 mikron aralığında bulunan değerler geleneksel SEM yöntemleri kullanılarak görüntülenebilir. SEM, numune üzerindeki seçilen noktasal yerleri analiz etme özelliğini barındırır. Bu özellik, kimyasal bileşimleri, kristal yapıyı ve kristal yönelimleri niteliksel veya yarı niceliksel olarak belirlemede yarar sağlar. Şekil 3.2.'de temsili bir SEM cihazının şekli görülmektedir. Bu tez kapsamında hazırlanan numunenin görüntüleri buna benzer bir cihaz yardımıyla elde edilmiş ve sonuçlar kısmında sunulmuştur.

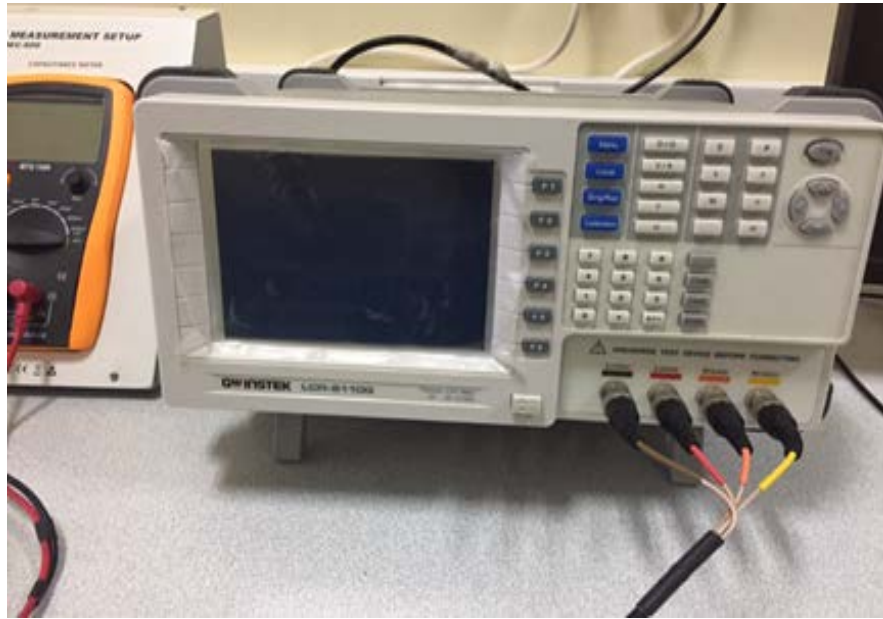


Şekil 3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı



### 3.3. LCR-metre Ölçüm Metodu

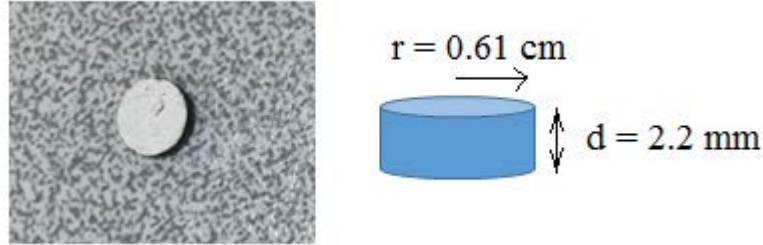
LCR-metre cihazı, empedans ölçümlerinde kullanılan bir cihazdır. Bu cihazla yapılan ölçümler sonucunda temel olarak AC direnç, kapasitans ve indüktans değerleri elde edilir. Bunun yanında LCR-metrenin frekans kalibrasyonları frekans ölçer kullanılarak, gerilim seviyesi kalibrasyonları da çalışma frekansına bağlı olarak ya multimetre ya da yüksek frekans güç sensörleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kalibrasyonda kullanılacak cihazların, standartların ve ölçüm noktalarının seçimi LCR-metrenin çalıştığı frekans aralığına, ölçüm doğruluğuna ve bağlantı şekline göre değişmektedir. Şekil 3.3.'de tezde kullanılan numunenin dielektrik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli ölçümlerin yapıldığı LCR-metre cihazı görülmektedir. Bu cihaz yardımıyla yapılan ölçümler sonucunda başlangıç olarak farklı frekans değerleri için kapasitans ve konduktans elde edilir. Daha sonra gerekli formüller yardımıyla dielektrik özelliklerin belirlenmesinde büyük önemi olan dielektrik sabiti, empedans, iletkenlik gibi nicelikler hesaplanır. Son olarak aynı ölçümler farklı sıcaklık değerleri için de tekrarlanarak, malzemenin sıcaklığa karşı duyarlılığı da elde edilmiş olur (Kuru, 2017a).



Şekil 3.3 .LCR-metre cihazı

## BÖLÜM 4. MALZEMENİN HAZIRLANIŞI

Başlangıç malzemeleri olarak  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  kullanılmıştır. Nitrat tuzları 10 ml saf suda çözüldükten sonra elde edilen karışım,  $80^\circ\text{C}$  de 30 dakika karıştırılmış ve homojen bir çözelti elde edilmiştir. Daha sonra karışıma 2M NaOH eklenerek, pH değeri 11-12 civarına ulaşana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Homojen haldeki karışım birkaç kez saf su ile yıkanmış ve  $100^\circ\text{C}$ 'de gece boyunca fırında bekletilmiştir. Son olarak hazırlanan numune  $800^\circ\text{C}$ 'de 4 saat bekletilerek toz haline getirilmiştir. Elde edilen toz numune ölçüm için 3000 T basınç altında sıkıştırılarak pelet haline getirilmiştir ve her iki yüzüne iletkenlik için gümüş pasta kaplanmıştır. Hazırlanan pelet malzeme ve ölçüleri Şekil 4.1.'de görülmektedir.

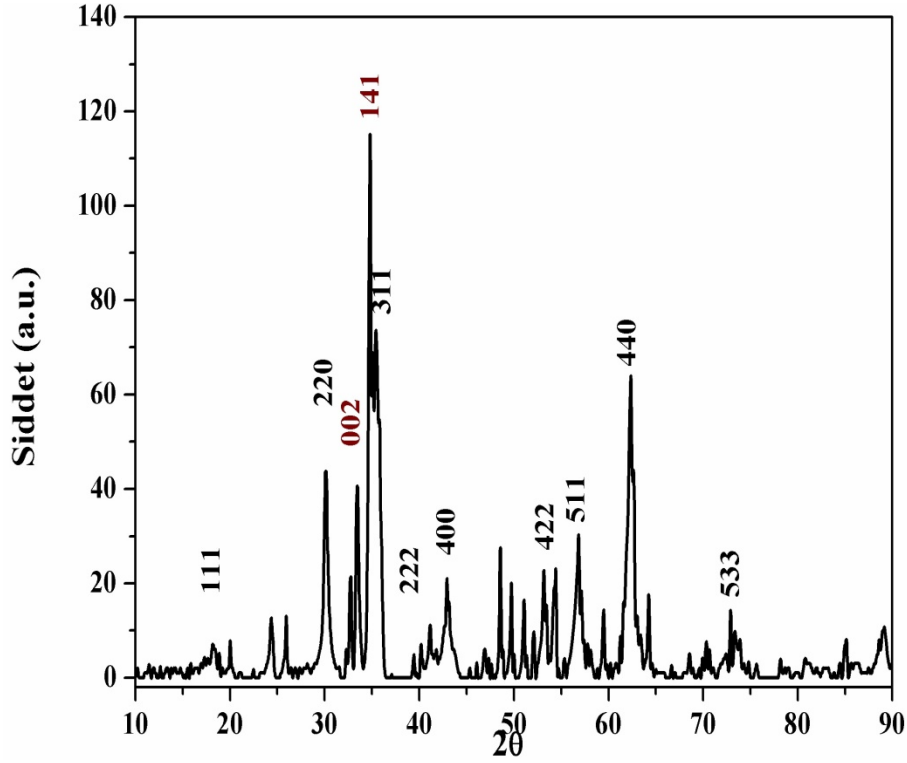


Şekil 4.1. Pelet haline getirilmiş toz numune

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR

### 5.1. Malzemenin Yapısal Karakterizasyonu

$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nano-parçacıklarının X-Işını Kırınımı (XRD) sonucu elde edilen analiz sonuçları Şekil 5.1.'de görülmektedir.  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  numunesinin XRD analizleri, Rigaku XRD cihazı kullanılarak 10 derece ile 90 derece açı ölçüm aralığında elde edilmiştir. Şekildeki yansıma düzlemleri incelendiğinde hazırlanan numunenin kübik spinel kristal yapıya sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1.  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrit nanoparçacıklarının XRD analizi.

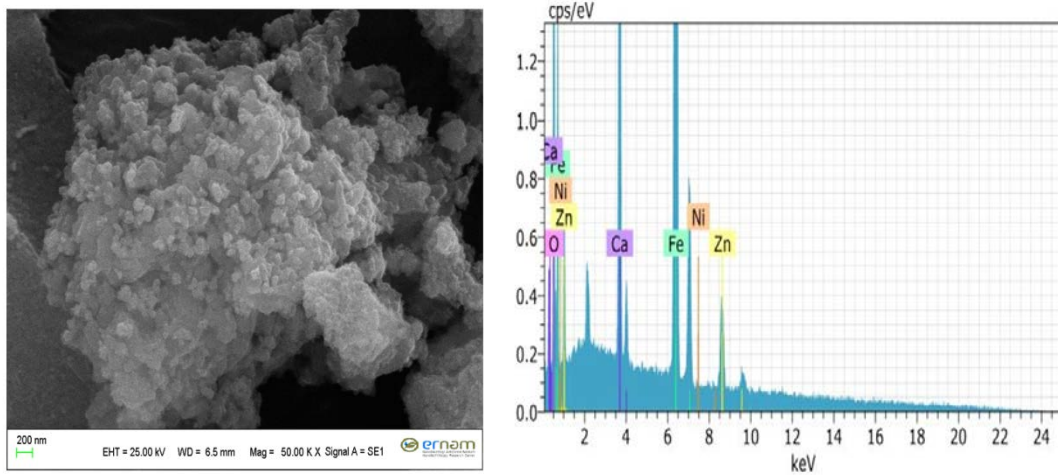
$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nano-parçacıklarının yapısal özelliklerini açıklamak için Tablo 5.1.'de kristal boyutu (D), örgü sabiti (a), hacim (V), X-ışını yoğunluğu ( $d_x$ ) ve

spesifik yüzey alanı değeri XRD grafiği ve Debye Scherrer denklemi kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo.5.1.  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  malzemesinin yapısal özellikleri ile ilgili bazı parametreler.

Malzeme Adı	Kristal Boyutu D(nm)	Örgü Parametresi a( $\text{Å}$ )	Hücre Hacmi V( $\text{Å}^3$ )	X-ışını Yoğunluğu $d_x$ (g/cm <sup>3</sup> )	Spesifik Yüzey Alanı S (m <sup>2</sup> /g)
$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$	12.77	8.538	622.39	4.69	100.18

Sentezlenen  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrit malzemesinin fiziksel ve elektriksel özelliklerini belirlemek için, sentezlenen numunenin morfolojisi ve tane şekli hakkında bilgi edinmek faydalı olacaktır. Bu nedenle hazırlanan ferrit malzemenin mikro yapısı ve elementel analizi SEM, Zeiss EVO LS10 cihazı kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca malzemenin içeriğinin belirlenebilmesi için de EDX analizi yapılmıştır.  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  malzemesinin SEM sonuçları ve EDX analizi Şekil 5.2.'de sunulmuştur.



Şekil 5.2.  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrit malzemesinin SEM görüntüsü ve EDX analizi

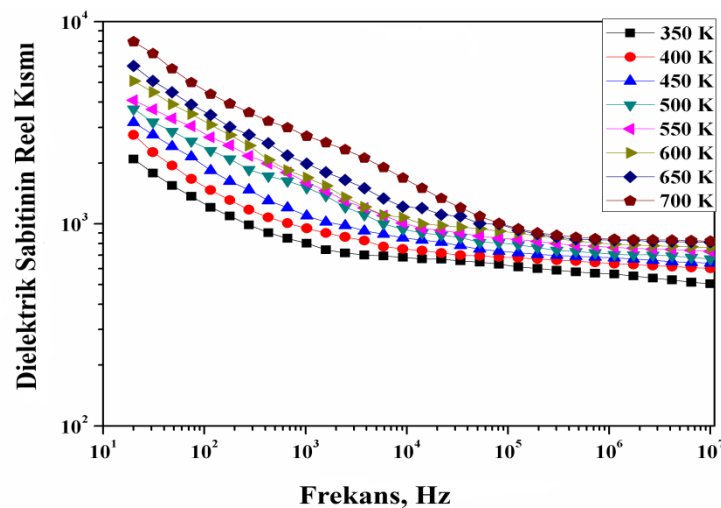
Şekil 5.2.'den de görüleceği gibi hazırlanan numunenin parçacık boyutları, XRD sonuçlarıyla da uyumlu bir şekilde nano boyuttadır. Hesaplanan XRD sonuçlarına göre kristal boyutu 12.77 nm bulunmuştur. Bu kristalin SEM görüntüleri

incelendiğinde ise oluşan tanelerin büyüklüğünün, 50-100 nm aralığında ve XRD sonuçlarında bulunan değerlerden daha büyük olduğu gözlenmiştir. EDX analizi, sistemin temel dağılımını doğrulamak için kullanılan bir yöntemdir. Şekil 5.2.'de  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  numunesinin EDX sonuçları da gösterilmiştir ve EDX sonuçları üretilen numunenin içeriğini doğrulamaktadır.

## 5.2. Malzemenin Dielektrik Özellikleri

### 5.2.1. Dielektrik sabitleri

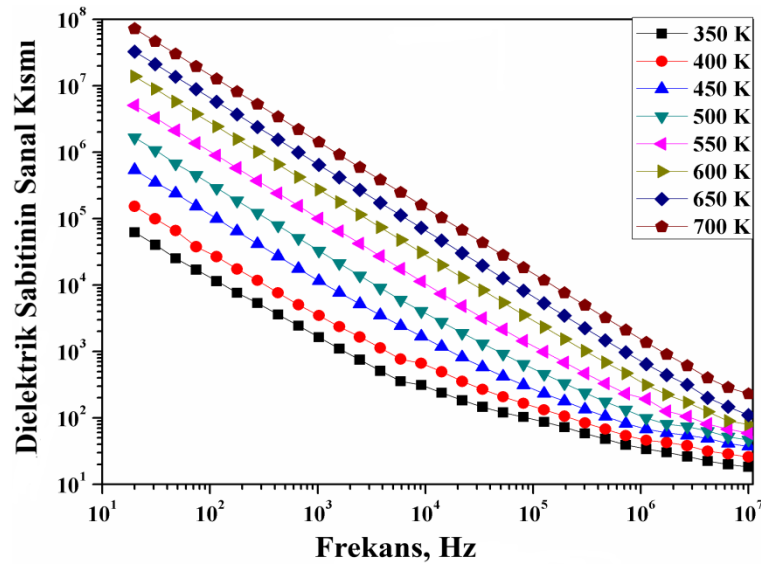
$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  kübik ferrit malzemesinin dielektrik sabitinin reel kısmının farklı sıcaklıklarda frekansa bağlı değişimi Şekil 5.3.'de görülmektedir. Şekilden de açıkça görülebileceği gibi reel dielektrik sabiti, düşük frekans bölgelerinde hızla azalırken, yüksek frekanslarda küçük düşüşler ya da frekanstan bağımsız davranışlar sergilemiştir. Bu davranış Koops'un fenomenolojik teorisi ile uyumlu olan Maxwell-Wagner arabirim polarizasyonu ile açıklanabilen normal dielektrik davranışdır (Koops, 1951; Kuru, 2018b; Maxwell, 1973; Singh, 2014).



Şekil 5.3. Dielektrik sabitinin reel kısmının 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı.

Şekil 5.3.'den çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise, sıcaklık arttıkça tüm frekanslar için dielektrik sabitinin de artmasıdır. Ferrit malzemeler için elektriksel kutuplaşma, düşük frekanslarda oktahedral bölgelerdeki  $\text{Fe}^{2+}$  ve  $\text{Fe}^{3+}$  iyonları arasındaki elektron

sıçramalarının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Ancak, yüksek frekanslarda  $Fe^{2+}$  ve  $Fe^{3+}$  iyonları arasındaki bu elektron değişimi, değişen alanı takip edemez. Bunun sonucunda polarizasyon belirli bir frekanstan sonra azalma eğilimindedir ve sabit davranış sergiler. Bu nedenle, elektronların tane sınırlarına ulaşması daha az olasıdır ve elektronların kutuplaşması azalır. Bununla birlikte, polarizasyon, kristal büyümesi sırasında Frenkel veya Schottky defektlerin oluşumu sırasında ortaya çıkan valans bandı ve iletim bandı arasında çok sayıda tuzak bulunduğu için kaynaklanabilir. Tüm bu özelliklerin bir sonucu olarak, dielektrik sabiti tüm sıcaklık değerlerinde artan frekans ile azalır.

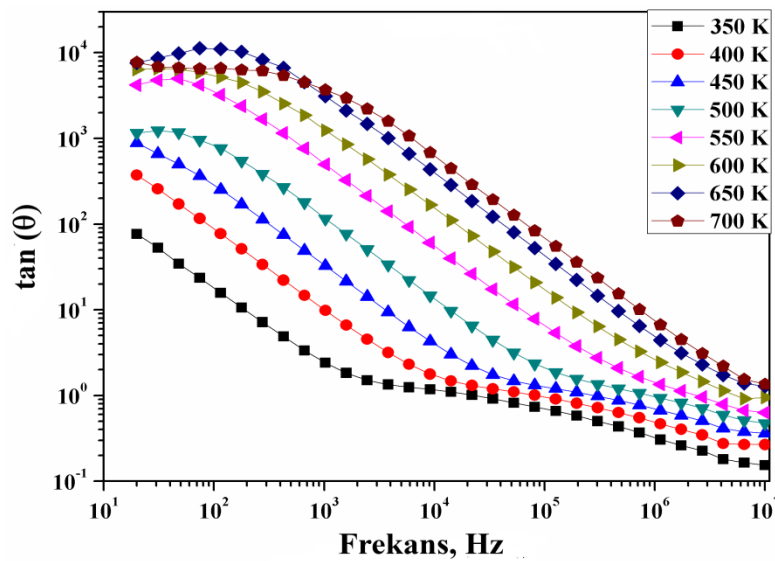


Şekil 5.4. Dielektrik sabitinin sanal kısmının 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı.

Dielektrik sabitinin sanal kısmı dielektrik kayıp olarak tanımlanır.  $Ca_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$  ferrit malzemesinin dielektrik kayıp faktörünün frekansa bağlı değişimi, 350-700 K sıcaklık aralığında farklı sıcaklık değerleri için Şekil 5.4.'te gösterilmiştir. Değişen elektrik alan ile elektrik polarizasyon bağımsız olarak hareket ederse, numunelerin yük depolama kapasitesi azalır ve dielektrik kayıp meydana gelir. Dielektrik sabiti gibi dielektrik kayıp da, artan frekansla azalır ve artan sıcaklık değerleri ile artar. Daha yüksek sıcaklıklarda, yük taşıyıcılarının hareketliliği ve sıcaklık değerleri tarafından sağlanan termal enerji nedeniyle elektron atlama oranı artar. Daha yüksek sıcaklıklarda, yükün hareketliliği ve ısınma hızı, sıcaklık tarafından sağlanan termal

enerjiye bağılı olarak artar. Bununla birlikte, düşük sıcaklıklarda elektron atlama oranını arttırmak için termal enerji yetersizdir. Böylece, dielektrik polarizasyon sıcaklıkta bir artışa neden olur, bu da düşük frekanslarda dielektrik kaybında artışa yol açar.

Şekil 5.5.'de  $\tan\theta$ 'nın sıcaklıkla değişimi farklı frekanslar için verilmiştir. Bu parametre şekilden de görülebileceği gibi sıcaklık arttıkça artmaktadır. Bu artış yük taşıyıcılarının malzeme içinde zıplama yaparak hareketlerinin arttığı anlamına gelmektedir.  $\tan\theta$ 'nın sıcaklıkla artışından çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise durulma zamanının azalmasıdır. Şekil 5.5. incelendiğinde  $\tan\theta$  değerinin artan frekans ile azaldığı da açıkça görülebilir. Bu davranış, malzemede bulunan Fe atomları arasındaki boşlukların büyüklüğüne ve malzemenin sinterleme sürecinde ortaya çıkan yük taşıyıcılarının varlığına işaret eder.

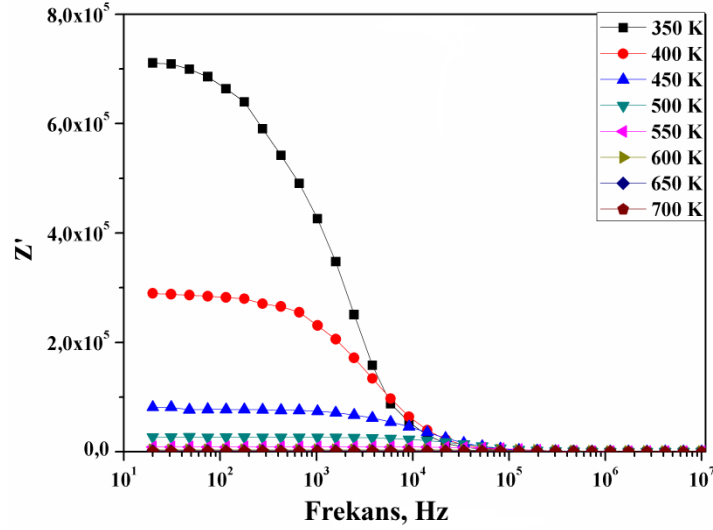


Şekil 5.5.  $\tan\theta$  nin 350-700 K sıcaklık aralığında frekansa bağımlılığı

### 5.2.2. Empedans

Empedans spektroskopisi, dielektrik malzemelerin iletkenlik ve dielektrik gevşeme süreçleri hakkında çok faydalı bilgiler sunar. Şekil 5.6.'da, empedansın reel kısmının ( $Z'$ ) frekans ile değişimi, 350-700 K aralığındaki farklı sıcaklık değerleri için gösterilmiştir. Artan frekans ve sıcaklık ile  $Z'$  belirli bir değere düşüp daha sonra bağımsız bir davranış sergilemiştir. Düşük frekans ve düşük sıcaklık değerlerinde  $Z'$

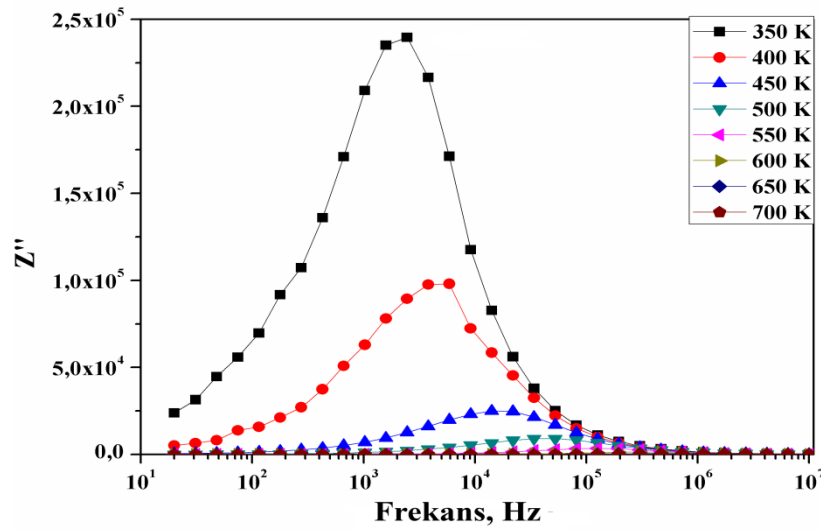
için elde edilen sonuçların yüksek olması, malzemede yüksek elektriksel polarizasyona bağlanabilir.  $Z'$  değerinin artan sıcaklıkla azalması, malzemede tek bir gevşeme sürecine işaret ederek, AC iletkenliğin artmasına neden olur (Kuru, 2017b; Oumezzine, 2017).



Şekil 5.6. Empedansın reel kısmının 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı.

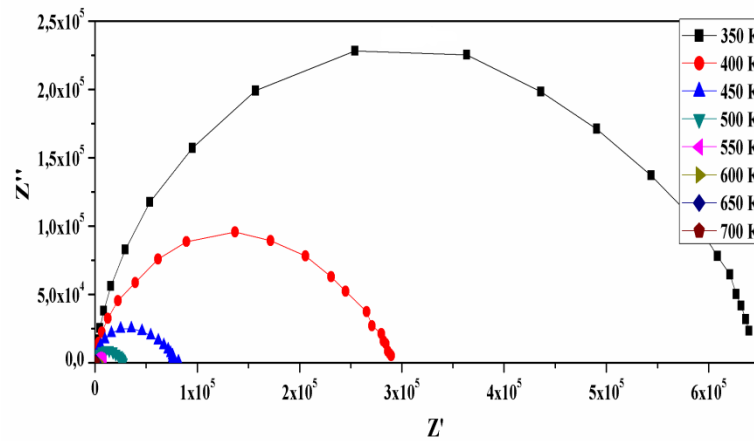
Şekil 5.7.'de,  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrit malzemesi için empedansın sanal kısmının ( $Z''$ ) frekansa göre değişimi 350-700 K aralığında seçilen farklı sıcaklık değerleri için gösterilmiştir. Tüm sıcaklık değerlerinde görüldüğü üzere,  $Z''$  artan frekansla artarak maksimum noktaya ulaşmış ve ardından azalmaya başlamıştır.  $Z''$  ayrıca sıcaklık arttıkça azalan bir eğilim göstermiştir. Grafikte görülen tepe noktası Debye gevşeme piki olarak adlandırılır ve uygulanan elektrik alan ile metal iyonları arasında sıçrama yapan elektronların frekansı aynı olduğunda ortaya çıkar. Ayrıca, artan sıcaklık değerleri ile bu tepe noktalarının yeri daha yüksek frekanslara doğru kaymaktadır. Bu davranış, hazırlanan örnekte bir gevşeme süreci olduğunu gösterir. Bunun yanı sıra artan sıcaklık ile tepe noktalarının genişliğinin artması, gevşeme sürecinin sıcaklığa bağlı olduğunun bir göstergesidir (Kumari vd., 2008).





Şekil 5.7. Empedansın sanal kısmının 350-700 K sıcaklık aralığında frekans bağımlılığı.

Empedans spektroskopisi, malzemelerin elektriksel özelliklerinin araştırılmasında kritik bir yöntemdir. Bir malzemenin iletkenliğinin belirlenmesinde tanelerin, tane sınırlarının ve elektrotların her birinin bir katkısı olabilir. Empedansın sanal kısmının, reel kısmına göre grafiği Nyquist diyagramı olarak bilinir ve  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  malzemesi için farklı sıcaklıklarda çizilen Nyquist diyagramları Şekil 5.8.'de görülmektedir.



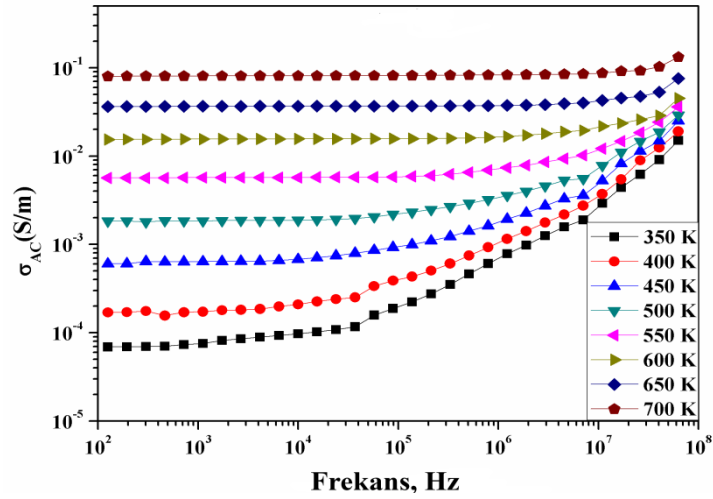
Şekil 5.8. 350-700 K sıcaklığı aralığında Nyquist diyagramları.

Empedansı ve gevşeme sürecini etkileyen en önemli faktör mikro-yapısal etkilerdir. Ferrit malzemeler üst üste yığılmış kristal mikro-yapılardan, bunların içindeki iletken tanelerden ve bu taneleri ayıran elektriksel direnç gösteren tane sınırlarından oluşur (Dhaou vd., 2017). Nyquist diyagramları, Debye tipi gevşeme gösteren dielektrik

malzemeler için bir veya daha fazla sayıda yarım çember şeklinde oluşur (Nadeem vd., 2005). Eğer bir malzeme için çizilen Nyquist diyagramında maksimum iki yarım çember varsa, bu ferrit malzeme için iyonik polarizasyon olmadığı anlamına gelir (Kuru vd., 2018b). Şekil 5.8.'den açıkça görüleceği gibi tüm sıcaklık değerlerinde çizilen Nyquist diyagramları için sadece bir yarım çember bulunmaktadır. Bunun anlamı elektriksel geçişlerin ve dolayısıyla iletkenliğin çok baskın bir şekilde tane sınırlarından kaynaklandığı ve tanelerin katkısının neredeyse ihmal edilebileceğidir (Hashim vd., 2012). Artan sıcaklıklar için yarım çemberlerin yarıçapı ve şiddeti azalmaktadır. Bu davranış, gevşeme zamanının azalacağını bir göstergesidir. Şekil 5.8.'den ayrıca sıcaklık arttıkça yarım çemberlerin şekillerinin giderek düzeldiği de görülmektedir. Bunun yanı sıra yarım çemberlerin merkezlerinin empedansın reel kısmının oluşturduğu eksenin altında yer alması, malzemenin gevşeme sürecinin Cole-Cole modeli ile uyumlu olduğunu bir göstergesidir (Kuru vd., 2018b).

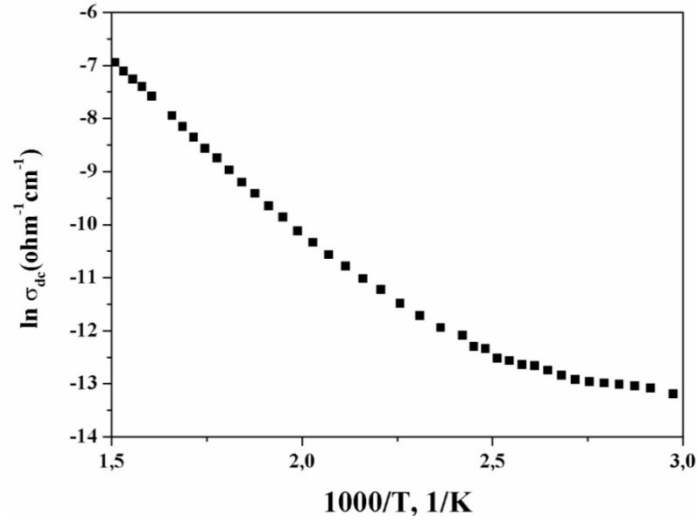
### 5.2.3. İletkenlik (DC-AC)

$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  malzemesi için 350-700 K aralığında seçilen farklı sıcaklıklarda, AC iletkenliğin frekans ile değişimi Şekil 5.9.'da görülmektedir. Grafikten açıkça görüleceği üzere, AC iletkenlik artan frekans ve sıcaklık değerleri ile artmaktadır. Ancak, bu artan davranış iki bölümden oluşmaktadır. AC iletkenlik düşük frekans bölgesinde, DC iletkenliğin baskın olduğunu işaret edecek şekilde neredeyse sabit bir değerde kalırken, daha yüksek frekans bölgelerinde frekans ile doğrusal bir artış göstermektedir (Şentürk vd., 2013). Ferrit malzemelerin elektriksel iletkenliği Verwey de Boer mekanizmasıyla açıklanabilir. Bu mekanizmada, yük taşıyıcı değişimi, aynı elementin iyonları arasında birden fazla değerlik seviyesi için gerçekleşir (Fawzi vd., 2010). Frekans artışı  $\text{Fe}^{2+}$  ve  $\text{Fe}^{3+}$  iyonları arasındaki elektron sıçramalarını ve böylece iletkenliği artırır (Ali vd., 2013). Ayrıca artan sıcaklıkla iletkenliğin artması  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  malzemesinin yarı iletkenler ile benzer bir davranış sergilediğini göstermektedir ve bu durum spinel ferritlerin yarı iletkenler olarak sınıflandırılabilirdiği bilgisiyle tutarlıdır (Fawzi vd., 2010).



Şekil 5.9. 350-700 K sıcaklık aralığında AC iletkenliğin frekansla değişimi

$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  numunesi için DC iletkenliğinin  $1000/T$ 'nin bir fonksiyonu olarak değişimi Şekil 5.10.'da gösterilmiştir. Numunenin DC iletkenlik davranışının, Arrhenius tipi iletkenlik ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bu iletim mekanizması elektrik yükü taşıyıcılarının sürüklenme mobilitesi ile ilgilidir ve malzemedeki elektriksel iletkenliğin termal uyarılma ile uyumlu bir şekilde artacağını ifade eder.



Şekil 5.10. DC iletkenliğinin  $1000/T$ 'nin bir fonksiyonu olarak değişimi

## BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

$\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrit nano-parçacıkları kimyasal birlikte-çökeltme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Malzeme için elde edilen XRD analizinde numunenin kübik spinel kristal yapıya sahip olduğu bulunmuştur. XRD sonuçları ve Debye Scherrer denklemi kullanılarak, kristalin örgü sabiti ( $a$ )  $8.538 \text{ \AA}$  ve kristal boyutu ( $D$ )  $12.77 \text{ nm}$  olarak elde edilmiştir. Malzemenin dielektrik sabiti ve empedansı ile ilgili incelemeler sonucunda, düşük frekans bölgesinde daha duyarlı olduğu sonucu bulunduğundan, bu bölgede çalışacak elektronik cihazlar için daha uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca malzemenin dielektrik sabiti ve empedansı diğer birçok ferrit malzemeye benzer şekilde artan sıcaklık ile azalmaktadır. Bu da diğer ferrit malzemelerle uyumlu bir davranış sergilediğini göstermektedir. Empedans sonuçlarından elde edilen Nyquist diyagramları,  $\text{Ca}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrit malzemesinin iletkenliğinin baskın bir şekilde tane sınırlarından kaynaklandığını ortaya koymuştur. Hazırlanan numunenin AC iletkenliği incelendiğinde sıcaklıkla arttığı ve yarıiletkenlere benzer bir davranış sergilediği sonucu elde edilmiştir. Ayrıca malzemenin AC iletkenliğinin düşük frekans bölgesinde frekansla değişmediği ve neredeyse sabit kaldığı bulunmuştur. Bu da malzemenin AC iletkenliğinin yüksek frekanslarda artış gösterdiği sonucunu çıkarmamızı ve bu davranışa uygun cihazlar için tercih edilmesi gerektiğini düşünmemize yol açmıştır. Son olarak malzemenin DC iletkenlik davranışının, Arrhenius tipi iletkenlik ile uyumlu olduğu yani termal uyarımlar ile DC iletkenliğin artacağı sonucu elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akhtar, M. N., Rahman, A., Sulong, A. B., Khan, M. A., 2017. Structural, spectral, dielectric and magnetic properties of  $\text{Ni}_{0.5}\text{Mg}_x\text{Zn}_{0.5-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanosized ferrites for microwave absorption and high frequency applications. *Ceram. Int.*, 43, 4357-4365.
- Ali, I., Islam, M. U., Ashiq, M. N., Iqbal, M. A., Khan, H. M., Karamat, N. J., 2013. Effect of Tb-Mn substitution on DC and AC conductivity of Y-type hexagonal ferrite. *J. Alloys and Comp.*, 579, 576-582.
- Bini, M., Tondo, C., Capsoni, D., Mozzati, M. C., Albini, B., Galinetto, P., 2018. Superparamagnetic  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles: The effect of Ca and Gd doping. *Mat. Chem. Phys.*, 204, 72-82.
- Çetin, A., “<https://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/kristal-yapilarda-yon-ve-duzlemler/>”, 2018.
- Dhaou, M. H., Hcini, S., Mallah, A., Bouazizi, M. L., Jemni, 2017. Structural and complex impedance spectroscopic studies of  $\text{Ni}_{0.5}\text{Mg}_{0.3}\text{Cu}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrite nanoparticle. *A., Appl. Phys. A- Mat Sci and Proc.*, 123, 8-1-9.
- Dikici, M., 2013. Katıhal Fiziği. Örgü Titreşimleri. Enerji Bandları. Nanoteknoloji. Süperiletkenlik. 3. Baskı, Seçkin Yayınları, 27-28.
- Granone, L. I., Ulpe, A. C., Robben, L., Klimke, S., Jahns, M., Renz, F., Gesing, T. M., Bredow, T., Dillert, R., Bahnemann, D. W., 2018. Effect of the degree of inversion on optical properties of spinel  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ . *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 20, 28267-28278.
- Fawzi, A. S., Sheikh, A. D., Mathe, V. L., 2010. Structural, dielectric properties and AC conductivity of  $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$  spinel ferrites. *J. Alloys and Comp.*, 502, 231-237.

- Friedrich, W., Knipping, P., von Laue M., 1912. Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen. Sitzungsberichte der Mathematisch-Physikalischen Classe der Königlich-Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München. 1912: 303.
- Goldmann, A., 2010. Modern Ferrite Technology, 2nd ed., Springer, New York.
- Hashim, M., Alimuddin, Kumar, S., Koo, B. H., Shirsath, S. E., Mohammed, E. M., Shah, J., Kotnala, R. K., Choi, H. K., Chung, H., Kumar, R., 2012. Structural, electrical and magnetic properties of Co–Cu ferrite nanoparticles. *J. Alloys and Comp.*, 518,11-18.
- Kalendová, A., Veselý, D., 2007. Needle-shaped anticorrosion pigments based on the ferrites of zinc, calcium and magnesium. *Anti-Corrosion Methods and Mat.*, 54, 3-15.
- Koops, C. G., 1951. On the Dispersion of Resistivity and Dielectric Constant of Some Semiconductors at Audiofrequencies. *Phys. Rev.*, 83, 121-124.
- Kumari, L. K., Prasad, K., Choudhary, R. N. P., 2008. Impedance spectroscopy of  $(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})(\text{Zr}_{0.25}\text{Ti}_{0.75})\text{O}^{-3}$  lead-free ceramic. *J. Alloys and Comp.*, 453, 325-331.
- Kumbhar, S., ‘Synthesis and Characterization of Spray Deposited Nickel-Zinc Ferrite Thin Films’, Presentation in Electrochemical Materials Lab., Shivaji University, Kolhapur, 2013.
- Kuru, T. Ş. 2017a. Bazı Yalıtkan ve Yarıiletken Malzemelerin Elektriksel ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Doktora Tezi.
- Kuru, T. Ş., Şentürk, E., Eyüpoğlu, V., 2017b. Overlapping Large Polaron Conductivity Mechanism and Dielectric Properties of  $\text{Al}_{0.2}\text{Cd}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$  FerriteNanocomposite. *J. Supercond. and Novel Magn.*, 30, 647-655.
- Kuru, T. Ş., Kuru, M., Bağcı, S., 2018a. Structural, dielectric and humidity properties of Al-Ni-Zn ferrite prepared by co-precipitation method. *J. Alloys Compds.* 753, 483-490.
- Kuru, T. Ş., Kuru, M., Bağcı, S., 2018b. Dielectric, humidity behavior and conductivity mechanism of  $\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.3}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrite prepared by co-precipitation method. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.*, 29, 17160-17169.

- Maxwell, J. C., 1973. *Electric and Magnetism*, Oxford University Press, New York.
- Muhammad, N., Nadeem, S., 2017. Ferrite nanoparticles Ni- ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn- ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> in the flow of ferromagnetic nanofluid. *European Phys. J. Plus*, 132, 377-1-12.
- Nadeem, M., Akhtar, M. J., Khan, A. Y., 2005. Effects of low frequency near metal-insulator transition temperatures on polycrystalline La<sub>0.65</sub>Ca<sub>0.35</sub>Mn<sub>1-x</sub>Fe<sub>1-y</sub>O<sub>3</sub> (where y=0.05-0.10) ceramic oxides. *Solid State Commun.*, 134, 431-436.
- Nikam, D. S., Jadhav, S. V., Khot, V. M., Phadatare, M. R., Pawar, S. H., 2014. Study of AC magnetic heating characteristics of Co<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for magnetic hyperthermia therapy. *J. Magn. Magn. Mat.*, 349, 208-213.
- Nordin, N., Kanagesan, S., Zamberi, N. R., Yeap, S. K., Abu, N., Tamilselvan, S., Hashim, M., Alitheen, N. B., 2017. Characterisation of sol-gel method synthesised MgZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles and its cytotoxic effects on breast cancer cell line, MDA MB-231 in vitro. *IET Nanobiotechnology*, 11, 343-348.
- Oumezzine, E., Hcini, S., Rhouma, F. I. H., Oumezzine, M., 2017. Frequency and temperature dependence of conductance, impedance and electrical modulus studies of Ni<sub>0.6</sub>Cu<sub>0.4</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel ferrite. *J. Alloys and Comp.*, 726, 187-194.
- Praveena, K., Sadhana, K., Matteppanavar, S., Liu, H. L., 2017. Effect of sintering temperature on the structural, dielectric and magnetic properties of Ni<sub>0.4</sub>Zn<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.4</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> potential for radar absorbing. *J. Magn. Magn. Mater.*, 423, 343-352.
- Quintero, J. J. M., Rodriguez, K. L. S., Torres, C. E. R. L., Errico, A., 2019. Ab initio study of the role of defects on the magnetic response and the structural, electronic and hyperfine properties of ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. *J. Alloys and Comp.*, 775, 1117-1128.
- Quinzeni, I., Berbenni, V., Capsoni, D., Bini, M., 2018. Ca- and Al-doped ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as possible anode materials. *J. Sol. State Electrochem.*, 22, 2013-2024.
- Serway, A. R., 1998. *Principles of Physics*, 2nd ed., Fort Wort, Texas; Saunders College Pub., London, UK.

- Singh, S., Singh, A., Yadav, B. C., Tandon, P., 2014. Synthesis, characterization, magnetic measurements and liquefied petroleum gas sensing properties of nanostructured cobalt ferrite and ferric oxide. *Mat. Sci. in Semicond. Proc.*, 23, 122-135.; Chand, P., Vaish, S., Kumar, P., 2017. Structural, optical and dielectric properties of transition metal ( $MFe_2O_4$ ;  $M = Co, Ni$  and  $Zn$ ) nanoferrites. *Physica B-Condens. Matter*, 524, 53-63.
- Smith, J., Wijn, H. P. J., 1959. Ferrites, Philips Research Laboratories, Gloeilampenfabrieken, Eindhoven.
- Şentürk, E., Köseoğlu, Y., Şaşmaz, T., Alan, F., Tan, M., 2013. C circuit and conductivity properties of  $Mn_{0.6}Co_{0.4}Fe_2O_4$  nanocomposite synthesized by hydrothermal method. *J. Alloys and Comp.*, 578, 90-95.
- Xiao, J., Yang, W. Y., Gao, S., Sun, C. X., Li, Q., 2018. Fabrication of ultrafine  $ZnFe_2O_4$  nanoparticles for efficient photocatalytic reduction  $CO_2$  under visible light illumination. *J. Mat. Sci. Techn.*, 34, 2331-2336.
- Yang, H. R., Bai, X. J., Hao, P., Tian, J., Bo, Y. Y., Wang, X. Z., Liu, H., 2019. A simple gas sensor based on zinc ferrite hollow spheres: Highly sensitivity, excellent selectivity and long-term stability. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 280, 34-40.
- Ying, Y., Wang, L. C., Li, W. C., Qiao, L., Zheng, J. W., Yu, J., Cai, W. L., Jiang, Q., Che, S. L., Zhang, L., Ling, L. S., 2018. Spin Glass in a Geometrically Frustrated Magnet of  $ZnFe_2O_4$  Nanoparticles. *J. Supercond. and Novel Magn.*, 31, 3553-3558.
- Yu, Z. X., Moussa, H., Chouchene, B., Liu, M. M., Schneider, R., Wang, W. Z., Moliere, M., Liao, H. L., 2019. One-step synthesis and deposition of  $ZnFe_2O_4$  related composite films via SPPS route for photodegradation application. *Nanotechnology*, 30, 045707-1-14.



## ÖZGEÇMİŞ

Aynur Kılıçarslan, 07.01.1990 yılında İstanbul Üsküdar'da doğdu. İlk, orta ve lise olmak üzere temel eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2008 yılında Mevlana Lisesi'nde orta öğretimini tamamladı. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nü kazandı, 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Fizik Bölümü yüksek lisans eğitimine başladı. Şuan İstanbul'da özel bir lisede fizik öğretmeni olarak çalışmaktadır.