



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI

FARKLI DOZLARDA  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  NANOPARÇACIK KATKILI  
HİDROJELLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI

CANAN ÖZSUCU

Haziran 2019



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI

FARKLI DOZLARDA  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  NANOPARÇACIK KATKILI  
HİDROJELLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI

CANAN ÖZSUCU

Yüksek Lisans Tezi

Danışman


Prof. Dr. Orhan YALÇIN

Haziran 2019

**Canan ÖZSUCU** tarafından **Prof. Dr. Orhan YALÇIN** danışmanlığında hazırlanan ‘**Farklı Dozlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparçacık Katkılı Hidrojellerin Dielektrik Özelliklerinin Araştırılması**’ adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :  Doç. Dr. Ramazan COŞKUN Yozgat Bozok Üniversitesi

Üye :  Prof. Dr. Orhan YALÇIN Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye :  Dr. Öğrt. Üyesi Muhittin ÖZTÜRK Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../....../2019 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../....../2019 tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

....../....../2019

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Canan ÖZSUCU

## ÖZET

### FARKLI DOZLARDA NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> NANOPARÇACIK KATKILI HİDROJELLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZSUCU, Canan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik AnaBilim Dalı

Danışman

:Prof. Dr. Orhan YALÇIN

Haziran 2019, 63 sayfa

Bu tez çalışmasında, farklı miktarlarda (%2.5, %5.0, %7.5 ve %10) NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklar katkılanmış hidrojel, radikal kopolimerizasyon tekniği kullanılarak opto-elektronik ölçümler için hazırlandı. Numunelerin morfolojik, yapısal ve fiziksel özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X ışını difraksiyonu (XRD) tekniği ile incelendi. Optik özellikleri UV-VIS spektroskopisi kullanılarak belirlendi. Numunelerin dielektrik ve iletkenlik özellikleri, oda sıcaklığında ve 100 Hz - 40 MHz frekans aralığında empedans spektroskopisi ile incelendi. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojel, Cole-Cole eğrileri esas alan karmaşık empedans ve bu eğrilerin Smith Chart diyagramındaki eşdeğer empedans devreleri gösterildi. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojel, yüksek frekans bölgesinde arayüzey etkileşimleri ve dipolar polarizasyon mekanizması etkili iken düşük frekans bölgesinde dielektrik ve iletkenlik özellikleri üzerinde elektrot polarizasyonu etkili olmuştur. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojel, optik ve dielektrik özellikleri birlikte değerlendirildiğinde, teknolojiye opto-elektronik ve sensör uygulamaları için heyecan verici bir materyal olduğu sonucuna varıldı.

*Anahtar Sözcükler:* Hidrojel, nanopartiküller, dielektrik özellikler, Cole-Cole diyagramı, Smith-Chart, iletkenlik

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF THE DIELECTRIC PROPERTIES OF DIFFERENT DOSES NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> NANOPARTICLES DOPED HYDROGELS

ÖZSUCU, Canan

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor

:Prof. Dr. Orhan YALÇIN

June 2019, 63 pages

In this thesis, different doses (2.5%, 5.0%, 7.5% ve 10%) NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles doped hydrogels were prepared for opto-electronic measurements by using the radical copolymerization technique. Morphological, structural and physical properties of the samples were examined by scanning electron microscopy (SEM) and X ray diffraction (XRD) technique. Optical properties of the NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles doped hydrogels were determined using UV-VIS spectroscopy. Dielectric and conductivity characteristics for all samples were investigated by impedance spectroscopy at room temperature in the frequency range of 100 Hz to 40 MHz. The complex impedance based Cole-Cole plots of the NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles doped hydrogels and the equivalent impedance circuits adapted to their Smith Chart diagram were given. The electrode polarization was effective on the dielectric and conductivity properties of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles doped hydrogels in the low frequency region, while interfacial interactions and dipolar polarization mechanism were found to be effective in the high frequency region. Optical and dielectric properties of the NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles doped hydrogels were concluded to be an exciting material for opto-electronic and sensor applications in the technology.

*Keywords:* Hydrogels, nanoparticles, dielectric properties, Cole-Cole diagram, Smith-Chart, conductivity.

## ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans tezinde son zamanlarda bilim dünyasında oldukça ilgi gören farklı miktarlarda NPs katkılı hidrojellerin dielektrik özellikleri incelendi. Yaygın olarak kullanılan sentezleme yöntemlerinden biri olan radikalik kopolimerizasyon tekniği ile katkısız hidrojeller sentezlendi. Saf hidrojellerin içine %2.5, 5.0, 7.5 ve 10 dozlarında  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık eklenerek numuneler üretildi. Empedans Spektroskopisi (ES) analiz yöntemiyle geniş bir frekans aralığında dielektrik özellikleri incelendi. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile nanoparçacıkların hidrojellerin üç boyutlu ağ yapısı içindeki dağılımları gözlemlendi. X Işını Kırınımlı (XRD) analiz tekniği ile numunelerin üç boyutlu, çapraz bağ ve kristal yapısı analiz edildi. Enerji Dağılımlı X Işını (EDX) yöntemiyle numunelerin barındırdığı elementler tespit edildi.  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık yüklü hidrojellerde katkı oranı arttığında iyonik iletkenliğin de arttığı görüldü. Katkı miktarı ile doğru orantılı olarak empedans değerlerinde artma olduğu tespit edildi. Elde edilen dielektrik malzemenin frekansa bağımlı olarak dış elektrik alan etkisinde kutuplanma oluştuğu ve yüksek frekans aralığında dielektrik rahatlama gözlemlendi. Yarım daire davranışı sergileyen numunelerin Cole-Cole çizgilerinden Smith Chart diyagramındaki eş değer elektrik devre karşılığı elde edildi. Malzemenin dielektrik sabitine ait gerçek bileşeni ile kapasitans ölçümlerinin oldukça yakın davranışlar gösterdiği görüldü. Diğer bir deyişle dielektrik sabiti gerçek bileşeninin malzemenin enerji depolayabilme yeteneğini ifade ettiği saptandı. Sentezlenen dielektrik malzemenin elektronik ve elektrik güç devrelerinde kullanılabileceği görüldü. Devrede sensör, süper kapasitör devre elemanı olarak farklı yönleriyle tasarımlara dahil edilebileceği tespit edildi.

Öncelikle mühendislik alanında kullanımı olabilecek bu numunelerin araştırılmasında tez konumu belirleyen; üretilmesi, ölçülmesi ve yorumlanması aşamalarında tez danışmanlığını gerçekleştiren, hayatı algılayış vizyonuma katkı sağlayan, tez analiz sürecinde her türlü desteği veren değerli hocam Prof. Dr. Orhan YALÇIN'a ve çalışmalarımı sürdürmemde bana destek olan, yol gösteren Dr. Muhittin ÖZTÜRK'e tüm samimi duygularıyla teşekkür ediyorum. Tezde incelenen hidrojellerin sentezlenmesi sürecinde büyük katkı ve destek gösteren Yozgat Bozok Üniversitesi Kimya Bölümü

Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Ramazan COŞKUN ve üretilen örneklerin empedans analizör ölçümlerinde bana yardımcı olan Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Mustafa OKUTAN hocalarıma, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Yaşamımın her anında karşılıksız sevgi ve inançlarıyla yolumu aydınlatan değerli annem Nuran ÖZSUCU ve babam Namık ÖZSUCU'ya en büyük şükranlarımı sunuyorum. Her zaman destekçim olan değerli ağabeyim Savaş ÖZSUCU'ya teşekkür ediyorum. Çalışmamda en küçük katkısı olan herkese ayrı ayrı teşekkür ederim. Tez çalışmam ve esnasında üretilen makalenin bilim, insanlık yaşamına güzellikler sunmasını temenni ediyorum.

Bu tezde Ultraviyole ve görünür ışık soğurma spektroskopi (UV-VIS) ölçümlerinin alımına FEB2015/11-BAGEP numaralı ve “hızlı anodizasyon için hücre tasarımı ve imalatı: bazı manyetik nanotellerin büyütülmesi ve fmr/vsm/uv-vis teknikleri ile manyetik karakterizasyonu” adlı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimine ve çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
FOTOĞRAF VB. MALZEMELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xiv
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
BÖLÜM II KURAMSAL BİLGİ .....	3
2.1 Dielektrik Malzeme .....	3
2.2 Optik Özellikler .....	5
2.3 Dielektrik Özellikler .....	5
2.4 Polarizasyonların Sınıflandırılması ve Dielektrik Durulma .....	9
2.5 Smith Chart Diagramı.....	13
BÖLÜM III DENEYSEL KISIM .....	15
3.1 Katkısız Hidrojellerin Sentezlenmesi .....	15
3.2 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparçacıkların Hidrojellere Yüklenmesi.....	16
3.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	17
3.4 X ışını Kırınımı Mikroskobu (XRD) .....	18
3.5 EDX (Enerji Dağılımlı X Işını) Analizi.....	19
3.6 Empedans Spektroskopi (ES) .....	20
BÖLÜM IV DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi .....	21

4.2 XRD Analizi .....	23
4.3 EDX Analizi .....	25
4.4 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Katkılı Hidrojellerin Empedans Spektroskopi Analizi.....	27
BÖLÜM V SONUÇLAR.....	44
KAYNAKLAR .....	50
ÖZ GEÇMİŞ .....	62
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER .....	63



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin içindeki elementlerin ağırlıklarının yüzdesel dağılımı .....	27
--	----



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Polarizasyon çeşitlerinin frekans ile olan gelişimleri .....	10
Şekil 2.2. Tek durulma zamanlı karmaşık empedans için Cole-Cole çizgileri.....	12
Şekil 2.3. Smith Chart diyagramı.....	13
Şekil 3.1. NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> katkılı hidrojelin şematik gösterimi .....	16
Şekil 3.2. XRD çalışma diyagramı .....	18
Şekil 3.3. XRD şematik diyagramı .....	19
Şekil 4.1. Kütlece %10 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelin XRD spektrumu .....	24
Şekil 4.2. Kütlece %2.5 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelin EDX görüntüsü.....	25
Şekil 4.3. Kütlece %5.0 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelin EDX görüntüsü.....	26
Şekil 4.4. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks dielektrik sabitinin gerçek bileşeninin frekansla değişimi.....	28
Şekil 4.5. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks dielektrik sabitinin sanal bileşeninin frekansla değişimi .....	29
Şekil 4.6. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin tanjant kayıp faktörünün frekansla değişimi .....	30
Şekil 4.7. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin faz açısının frekansla değişimi .....	31
Şekil 4.8. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin iyonik iletkenliğin frekansla değişimi .....	32
Şekil 4.9. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin soğurma ve dalga boyu grafiği .....	33
Şekil 4.10. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin $(\alpha h\nu)^2$ karşı $h\nu$ değişimi.....	34
Şekil 4.11. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks empedansın gerçek bileşeninin frekans ile değişimi.....	35
Şekil 4.12. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks empedansın sanal bileşeninin frekansla değişimi .....	36

Şekil 4.13. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin mutlak kompleks empedansın frekansla değişimi .....	37
Şekil 4.14. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks elektrik modülünün gerçek bileşeninin frekansla değişimi .....	38
Şekil 4.15. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks elektrik modülünün sanal bileşeninin frekansla değişimi .....	39
Şekil 4.16. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin mutlak kompleks elektrik modülünün frekansla değişimi .....	40
Şekil 4.17. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin empedans düzlem çizgileri (a) Cole-Cole diyagramı, (b) Smith Chart diyagramına uyarlanmış hali .....	41
Şekil 4.18. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kapasitansının frekansla değişimi .....	42
Şekil 4.19. Farklı miktarlarda NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin logaritmik iyonik iletkenliğin frekansla değişimi .....	43

## FOTOĞRAF VB. MALZEMELER DİZİNİ

Fotoğraf 4.1. Kütlece %2.5 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelin 2 µm (a) ve 200 µm (b) ölçekli SEM görüntüsü .....	21
Fotoğraf 4.2. Kütlece %5.0 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelin 2 µm (a) ve 200 µm (b) ölçekli SEM görüntüsü .....	22
Fotoğraf 4.3. Kütlece %7.5 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelin 2 µm (a) ve 200 µm (b) ölçekli SEM görüntüsü .....	23
Fotoğraf 4.4. Kütlece %10 NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelin 2 µm (a) ve 200 µm (b) ölçekli SEM görüntüsü .....	23

## SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
Ni	Nikel
O	Oksijen
Fe	Demir
S	Kükürt
O	Oksijen
C	Karbon
$\epsilon^*$	Kompleks dielektrik sabit
$\epsilon'$	Kompleks dielektrik sabitin gerçek kısmı
$\epsilon''$	Kompleks dielektrik sabitin sanal kısmı
$Z^*$	Kompleks empedans
$Z'$	Kompleks empedansın gerçek kısmı
$Z''$	Kompleks empedansın sanal kısmı
$Z_s$	En düşük empedans
$Z_\infty$	En yüksek empedans
$M^*$	Kompleks elektrik modülü
$M'$	Kompleks elektrik modülün gerçek kısmı
$M''$	Kompleks elektrik modülün sanal kısmı
f	Frekans
ac	Alternatif akım
$\sigma_{ac}$	AC iletkenlik
$\sigma_0$	Sınırlayıcı sıfır frekans iletkenliği
L	İndüktans
$\epsilon_0$	Boşluğun dielektrik geçirgenliği
$\epsilon_r$	Dielektik sabit
$\sigma^*$	Karmaşık iyonik iletkenlik
$\sigma'$	İyonik iletkenliğin gerçek kısmı
$\sigma''$	İyonik iletkenliğin sanal kısmı
$ \sigma $	İyonik iletkenlik

$\omega$	Açısal frekans
C	Kapasitans
$C_0$	Boşluğun kapasitansı
V	Gerilim
Q	Elektriksel yük
A	Levha alanı
l	Levhalar arası mesafe
D	Yüzey yük yoğunluğu/ dielektrik yer değiştirme
$D_0$	Vakum ortamındaki dielektrik yer değiştirme
E	Elektrik alan
P	Polarizasyon
p	Elektriksel dipol moment
d	Elektriksel yükler arası mesafe
$\tan\delta$	Tanjant kayıp faktörü
i	Sanal sayı birimi
$\tau$	Durulma zamanı
$\alpha$	Sıcaklığa bağlı parametre
R	Rezistans
X	Reaktans
$\theta$	Faz açısı
r	Yarıçap

### **Kısaltmalar**

### **Açıklama**

AAM	Akrilamid
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
EDX	Enerji Yayımlı X Işını Analiz Tekniği
ES	Empedans Spektroskopi
MBAAM	Metilenbis (akrilamid)
NP	Nanoparçacık
OH	Hidrooksit
PAAM	Poliakrilamid
PAni	Polianilin
RC	Direnç ve Kondansatör Elektrik Devresi

SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SP	Süperparamanyetik
XRD	X Işını Kırınımlı Ölçüm Tekniği



# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Hidrojeller, monomer ve/veya polimerlerden oluşan çağraz bağ yapısına sahip hidrofilik (suya karşı duyarlı) ve içinde büyük miktarlarda su hapsedebilme özelliği olan polimerlerdir. Hidrojeller suyu emebilme kapasiteleri, dış etkilere karşı (elektrik, manyetik alan, optik, termal, sıcaklık, pH vb. gibi) birçok uyarıcıya yanıt verebilme ve uzun ömürlü oluşları sentetik çeşitlerinin üretilmesinde teşvik edici rol almıştır. Dış etkilere cevap verebilen özellikleri sebebiyle dielektrik özellikleri inceleme konusu olmuştur. Dielektrik malzemeler elektrostatik enerjiyi depolayabilme yeteneğine sahip malzemelerdir. Metal oksit nanoparçacıklar (NP'ler) polimer dolgu maddesindeki ara yüzeyin artırılması sonucu dielektrik sabitinin değerini artırır. Ölçeklenebilir, hafif, hacmi ve ağırlığı azaltılmış elektronik cihazlar karmaşık yapılarda şekillendirilebilir. Polimerlerin karakteristik özelliği olan yüksek bozulmaya karşı mukavemet göstermeleri süper kapasitörlerde kullanılacak önemli bir kıstas sunar. Ayrıca polimerler mükemmel fiziksel özelliklerini korurken farklı elektronik ve elektriksel uygulamaların ihtiyacını karşılayabilirler. Dış etkenlere karşı cevap verebilen hidrojeller kontrol edilebilme özelliği sunarlar. Bu nedenle elektronik devrelerde, biyomedikal elektroniğinden, haberleşme sistemlerine, elektrik sistemlerine kadar birçok mühendislik alanına uyarlanabilen oldukça geniş uygulama alanı vardır. Son dönemde bilim dünyasında bu sebeple oldukça ilgi görmüş; önemli bir araştırma konusu olmuştur. Biyouyumluluk özelliği ile insan vücuduyla uyum göstermektedir. Akıllı jeller olarak bilinen hidrojeller uyarımla birlikte ilaç salınımı, harici olarak uygulandığında yarayı merhemle buluşturma ve yaranın mikrop kapmasını önlemektedir. Daha eski kullanımı ise kontakt lens olarak hayatımıza girmiştir. Akıllı jeller, uyarımla değişim gösterdiği için sensör ve biyosensör olarak da kullanılacağını göstermiştir (Ahmed, 2015; Guo vd., 2019; Sheha vd., 2012).

Elektrik alan uygulandığında malzeme yüklerin yönelimi ile elektrostatik enerji dielektrik malzeme içinde depolanır. Hidrojellerin iletkenlik özelliklerinin artırılmasına yönelik olarak nanoparçacık ile katkılanmış ve üretilen numunelerin enerji depolama kapasiteleri, kayıp faktörleri ve iletkenlik özellikleri bu tez kapsamında incelenmiştir. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılanmış ileri seviye elektronik ve elektrik güç sistemlerinde kullanılabilirlik sunar. Hidrojeller üç boyutlu ağ yapısı sayesinde suda şişebilen ve suyu

bağ yapısı içine hapseden polimerler olmaları nedeniyle farklı iletkenlik düzeyindeki çözeltileri bağ yapıları içine homojen olarak alırlar. Poliakrilamid (PAAm) hidrojel, manyetik özellikleri olan NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkları homojen olarak hapsedebilmektedir. Manyetik ve elektriksel olarak incelendiğinde süperparamanyetik (SP) özellikli nanoparçacık (NP) katkılı hidrojellerde manyetik adsorbant uygulamalarına imkan sunduğu saptanmıştır (Chen vd., 2013, Coşkun vd., 2018).

Polimerler bozulmaya karşı yüksek mukavemet gösteren, nanopartikül polimerik omurga yapısına sahip polimer nanokompozitlerdir. Üç boyutlu ağları, bileşimleri ve şekillerinin değiştirilmesiyle polimer arayüz mühendisliğine imkan tanır. Böylece dielektrik sabitinin geniş bir aralıkta değiştirilmesine olanak sağlar (Guo vd., inpress 2019).

İletkenlik özelliğini artırma etkisi olan NiO nanoparçacıklara, harici elektrik alan uygulandığında polarizasyon sonucu frekansa bağımlı olarak dielektrik gevşeme gösterir. Elektrik alan ile olan ilişkisi sırasında malzeme enerji depolama ve enerji kaybı ile yanıt verir. Polianilin (PAni) dielektrik, elektrik, manyetik, optik, elektrokimyasal ve katalitik özellikleriyle dikkat çekmektedir (Butkewitsch ve Scheinbeim, 2006; Pradhan vd., 2008; Sheha vd., 2012; Tauc, 1973).

Empedans spektroskopisi ise geniş bir frekans aralığında malzemelerin elektriksel özelliklerini ayırt etmek için kullanılan araçlardan birisidir (Mančić vd., 2009).

Bu tezde farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık ile katkılanmış hidrojellerin dielektrik özelliklerindeki meydana gelen değişim empedans spektroskopisi ile incelendi. Taramalı elektron mikroskopuyla nanoparçacıkların üç boyutlu ağ yapısı içindeki dağılımları, XRD ile fiziksel olarak kristal yapıları incelendi. EDX ölçümleriyle de üretilen malzemelerin içinde bulunan elementler tespit edildi.

## BÖLÜM II

### KURAMSAL BİLGİ

#### 2.1 Dielektrik Malzeme

Dielektrik malzemeler içerisindeki yük dağılımı ile dış elektrik alan uygulandığında yönelim göstererek; uygulanan elektrik alan yönünde elektronlar, atomlar, moleküller maddenin yapısı içinde imkân verdiği ölçüde yer değiştirirler. Dielektrik malzemeler aynı zamanda elektrostatik alan etkisiyle bu yönelimleri esnasında enerji depolarlar. Başka bir ifadeyle nötr atomun çekirdeğindeki artı yük ve çekirdek çevresine dağılmış eksi yük olarak bilinen elektronlar bulunur. Harici elektrik alan uygulandığında madde içindeki yükler elektrik alana göre yer değiştirir ve buna kutuplanma denir. Böylece madde içindeki elektriksel yük merkezi kayar. Kutuplanma sonucu malzemede elektriksel yük birikimi oluşur ve bu özelliği kondansatör üretiminde kullanılır (Roy, vd., basımda 2019; Wang, vd., 2010; Öztürk, 2018; Deryal, 2011; Job, vd., 2003; Das, vd., 2019).

Birbiriyle paralel olan iki levha plaka kullanarak arasına dielektrik malzeme yerleştirilmesi sonrasında plakalara gerilim uygulandığında; biri eksi yükü yüklenirken, diğeri artı yükü yüklenir. Bu durumda içerdeki dielektrik malzeme elektrik alana maruz kalır ve elektrik alan pozitiften negatife doğru yönelmesi sonucu malzeme içinde bulunan pozitif yükler, plakadaki negatif yükler tarafından çekilir. Diğer plakadaki pozitif yükler ise dielektrik malzeme içindeki negatif yükleri kendine doğru çekecektir. Oluşan bu dipol etkileşimle birlikte malzemede yük yoğunluğu değişir ve enerji depolanır. Buna kapasitans denir  $C$  ile gösterilir (Deryal, 2011; Nalwa, 1999; Osaka ve Datta, 2001).

Değeri;

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.1)$$

hesaplanır. Burada  $Q$  elektriksel yük,  $V$  kondansatöre uygulanan voltajı ifade eder. Paralel plakalar arası vakumlandığında kapasitans;

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{l} \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)'de gösterildiği şekilde elde edilir. Denklemde  $A$  levha yüzeyinin alanını  $l$  iki levha arasındaki mesafeyi gösterir.  $\epsilon_0$  evrensel bir sabittir ve vakumun geçirgenliğini ifade etmek için kullanılır.  $\epsilon_0$  değeri ise  $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$  dir.

İki plaka arasına vakum yerine kapasiteyi artıracak bir dielektrik malzeme konulduğunda;

$$C = \epsilon \frac{A}{l} \quad (2.3)$$

ile hesaplanır. Burada  $\epsilon$ , dielektrik ortamın geçirgenliği olup vakumun geçirgenliğinden büyüktür. Genellikle dielektrik sabiti olarak adlandırılan göreceli geçirgenlik ise Denklem (2.4)'te verilmiştir.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.4)$$

Teknolojik uygulamalarda dielektrik malzemenin karakteristiği hakkında bilgi edinmek için dielektrik sabitinin frekans ile değişimi incelenmektedir. Uygulanan elektrik alan zamanla yönü değişmesi akımın yönünde de değişiklik meydana getirir. Buna alternatif akım (ac) denir. Akımın yönü değiştiğinde polarize olan dielektrik malzemedeki dipoller elektrik alanın değişimine bağlı olarak yön değiştirme eğilimindedir. Hizalanabilme özelliği her bir kutuplanma çeşidine göre değişim gösterir. Kutuplandıktan sonra dipollerin yeniden yönelime kadar geçen zamanın frekans karşılığı gevşeme frekansıdır. Dipoller gevşeme frekansını aşarsa dipollerin yeniden yönelmesine devam etmeyeceğinden dielektrik sabitinin artışına etkide bulunamaz (Callister, 2007; Das, vd., 2019; Kumar vd., 2016).

Dielektrik malzemelerde dış elektrik alan etkisinde oluşan polarizasyonun gevşemesi için gereken minimum yeniden yönelim süresine karşılık gelen frekansa 'rahatlama (gevşeme) frekansı' denir. Bir dipole uygulanan elektrik alan frekansı, gevşeme frekansını aştığı zaman, dipolün yönelim yönünü kaydırmaya devam edemez. Dolayısıyla dielektrik sabite katkıda bulunmaz. Tamamlanan kutuplanma mekanizmasında frekans artışı sonrası bağımsız olarak düşüş görülür. Düşük frekans spektrum bölgesinde frekans bağımlılığı

mevcuttur. Dielektrik malzemeye elektrik alan uygulandığında enerji emilmesine dielektrik kayıp denir. Gevşeme frekansı esnasında dielektrik kayıp önemlidir. Verimde kaybın düşük olması esastır (Öztürk, 2018; Tsonos, 2019; El-ghandour, vd., 2019; Kumar, vd., 2016).

## 2.2 Optik Özellikler

Bir numune üzerine ışık gönderildiği zaman, ışığın bir miktarının soğurulduğu bir miktarının numuneden geçtiği ve bir miktarının da numuneden yansıtıldığı bilinmektedir.

$$\alpha(\nu)h\nu = B(h\nu - E_g)^m \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'de  $E_g$ ,  $B$ ,  $h\nu$  sırasıyla enerji bant aralığı, sabit katsayı, foton enerjisi olarak tanımlanır.  $\alpha(\nu)$ , soğurma katsayısıdır. Burada  $m$  geçiş sürecini karakterize eden bir sayıdır. Beer-Lambert tarafından aşağıdaki şekilde belirlenir;

$$\alpha(\nu) = \frac{2,303 \times Abs(\lambda)}{d} \quad (2.6)$$

Denklem (2.6)'de ' $d$ ' ve  $Abs(\lambda)$  sırasıyla numunenin kalınlığını ve absorbansını ifade eder. Soğurmanın doğru olarak belirlenebilmesi için  $m$  değerinin  $1/2$ ,  $3/2$ ,  $2$  veya  $3$  değerlerini alması gerekmektedir. En doğru değerler  $m = 1/2$  olduğunda bulunmaktadır (Elwakil ve Maundy, 2010; Cole ve Cole, 1941, Okutan vd., 2018; Sheha vd., 2012).

## 2.3 Dielektrik Özellikler

Kompleks dielektrik sabitin gerçek kısmına ait Denklem (2.7)'de dielektrik malzemenin  $A$  yüzey alanını,  $d$  ise kalınlığını.  $C$  ise kapasitansı ifade etmektedir (Purohit ve Choudhary, 2019; Das, vd., 2019).

$$\epsilon' = \frac{Cd}{\epsilon_0 A} \quad (2.7)$$

Dielektrik özelliklerin analiz edilmesinde dielektrik geçirgenlik önemli bir parametredir. Dielektrik geçirgenliğin bileşenleri olan gerçek ve sanal kısımlar dielektrik malzemenin enerji depolama ve kayıplarının ifade etmektedir (Mantas, 1998; Praharaj ve Rout, 2019).

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - i\varepsilon''(\omega) \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'de kompleks dielektrik geçirgenliğin gerçek ve sanal bileşenlerini göstermektedir.  $\varepsilon'(\omega)$  dielektrik geçirgenliğin gerçek kısmını,  $\varepsilon''(\omega)$  sanal bileşenini sembolize eder.

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)} \quad (2.9)$$

Denklem (2.9)'da dielektrik geçirgenliğin gerçek bileşeni  $\varepsilon'(\omega)$  verilen enerjiyi depolayan, sanal kısmı  $\varepsilon''(\omega)$  ise kayıp olarak ortaya çıkan enerjiyi ifade etmektedir. Dielektrik geçirgenliği sanal bileşeninin, gerçek bileşenine oranı “kayıp tanjant faktörü” olarak tanımlanır.

$$Z^*(\omega) = Z'(\omega) - iZ''(\omega) = R(\omega) - iX(\omega) \quad (2.10)$$

Zamanla yönü değişen akım uygulandığında, akıma karşı koyan Denklem (2.10) 'deki kompleks büyüklük  $Z^*(\omega)$  ile gösterilir ve öz direnç empedansı olarak tanımlar. Öz direnç empedansının ölçümlerinde hacim ve yüzey özelliklerinin farkları ayırt edilir. Akımı iletme özelliklerinin analiz edilmesi yönünden oldukça önemlidir.  $Z'(\omega)$  ve  $Z''(\omega)$  kompleks empedansın gerçek ve sanal kısımlarını sembolize eder.  $R(\omega)$  ve  $X(\omega)$  sırasıyla rezistans, reaktans kompleks empedansın gerçek ve sanal kısımlarını oluşturur (Purohit ve Choudhary, 2019).

Faz açısı ( $\theta$ ) Denklem (2.11)'deki şekilde ifade edilir. Empedans fazı, gerilim ve akım arasındaki faz farkından kaynaklanır.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Z''(\omega)}{Z'(\omega)} \right) \quad (2.11)$$

$\varepsilon^*(\omega)$  ve  $Z^*(\omega)$  ile arasındaki bağıntı Denklem (2.12) ve (2.13)'de gibi tanımlanır (Pradhan vd., 2008).

$$Z'(\omega) = \varepsilon'' \left[ \omega C_0 (Z'(\omega))^2 + (Z''(\omega))^2 \right] \quad (2.12)$$

ve

$$Z''(\omega) = -\varepsilon' \left[ \omega C_0 (Z'(\omega))^2 + (Z''(\omega))^2 \right] \quad (2.13)$$

$$Z^* = R_\infty + \frac{R_0 - R_\infty}{1 + (i\omega\tau)^\alpha} = Z' - iZ'' \quad (2.14)$$

Cole-Cole empedans modelinden olan sabit fazlı elemandır. Denklem (2.14)'da  $R_0$  düşük frekanstaki rezistansı ve yüksek frekansta  $R_\infty$  rezistansını gösterir.  $(i\omega\tau)^\alpha = \omega^\alpha \left[ \cos\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right) + i\sin\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right) \right]$  ifade eder.

Sabit faz elemanın empedansı  $Z_{CPE} = \frac{1}{(i\omega\tau)^\alpha}$ , C kapasitansı ve  $\alpha$  sıcaklığı bağlı parametre olup;  $0 < \alpha \leq 1$  aralığında değerler alır.

Dielektrik malzemelere iletkenlik özelliği kazandırıldığında, yüksek iyonik iletkenlik ve yüksek dielektirik geçirgenlik nedeniyle rahatlamalar ara yüzeyde net şekilde gözlemlenemez. İletkenlik nedeniyle dielektrik mekanizmayı yöneten ara yüzeydeki polarizasyon belirsiz hale gelir. Ara yüzeydeki bu polarizasyonu tespit edebilmek için, elektrik modül ölçümleri gerçekleştirilir. Dipol yönelme ile iyonik iletimin düşük frekans bölgelerinde ayırt edilebilmesi için kompleks elektrik modül kullanılır. Denklem (2.15) ve (2.16)'da kompleks elektrik modül  $M^*(\omega)$  olarak verilir (Zhang vd., 2016; Mantas 1998; Oumezzine vd., 2017; Gajula vd., 2019; Kaya vd., 2014; Dult vd., 2015).

$$M^*(\omega) = M'(\omega) + iM''(\omega) \quad (2.15)$$

ve

$$M^*(\omega) = \frac{1}{\varepsilon^*(\omega)} \quad (2.16)$$

Dielektrik sabit ile ters orantılı olan elektrik modül, empedans ile doğru orantılı olarak değişim gösterir. Kompleks elektrik modülünün, kompleks empedans ve dielektrik geçirgenliği arasındaki bağıntı Denklem (2.17) ve (2.18)'deki şekilde verilir.

$$M^*(\omega) = i\omega\varepsilon_0 Z^*(\omega). \quad (2.17)$$

$$M^*(\omega) = \frac{1}{\varepsilon'(\omega) - \varepsilon''(\omega)} \quad (2.18)$$

Serbest elektronu bulunan maddeler iletkenlik özelliği gösterirler. Bu nedenle dışardan elektrik alan uygulandığında atomlar, moleküller arasında serbest elektron ya da iyon akışı meydana gelir. Böylece akımı iletme özelliği gösterirler (Callister, 2007).

Saf polimerlerde boş iletim bandı ile valans bandı arasındaki aralık 2 eV'dan büyüktür. İyon katkılanmış polimerlerde anyon ve katyonlardan oluşan elektrik yükü mevcuttur. Elektrik alana maruz kaldıklarında anyon ve katyonlar zıt yönde davranış sergilerler ve malzemelerin iyonik polimer iletkenlikleri, iyonik katkı ile elektronik katkılarının birleşmesine eşittir. Sıcaklık ve frekansa bağlı olarak her iki katkının da iletkenlik üzerinde etkisi olabilir. İyon katkılı polimerin zamanla değişen akıma karşı tepkisi iyonik iletkenlik olarak ifade edilir. Denklem (2.19) karmaşık iyonik iletkenlik olarak tanımlanır.

$$\sigma^*(\omega) = \sigma'(\omega) + i\sigma''(\omega) \quad (2.19)$$

İyonik iletkenlik gerçek ve sanal bileşenlerden oluşur. Gerçek bileşeni  $\sigma'(\omega)$  ve sanal bileşeni  $\sigma''(\omega)$  ifade eder.  $\sigma'(\omega)$ , dielektrik malzeme içindeki enerji kayıpları ( $\varepsilon''(\omega)$ ) ve  $\sigma''(\omega)$ ; depolanan enerji ( $\varepsilon'(\omega)$ ) ile birbiriyle bağıntılıdır. Denklem (2.20) ve (2.21)'deki şekilde bağıntı ifade edilir (Capaccioli vd., 1998).

$$\varepsilon'(\omega) - \varepsilon_\infty = \frac{\sigma''(\omega)}{\varepsilon_0\omega}. \quad (2.20)$$

ve

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{\sigma'(\omega)}{\varepsilon_0\omega} \quad (2.21)$$

Dielektrik malzeme içinde depo edilen enerji ile yani kapasitansla, karmaşık iyonik iletkenlik ilişkilidir. Bu bağıntı Denklem (2.22)'deki gibi tanımlanır (Pradhan vd., 2008).

$$\sigma^*(\omega) = \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r \tan(\delta) = \omega \varepsilon_0 \frac{c}{c_0} \tan(\delta) \quad (2.22)$$

Düşük frekans dağılımı, orta frekans platosu, yüksek frekansta dağılım olmak üzere üç farklı iletkenlik spektrumunda frekans bağımlılığı oluşur. Jonscher'in ortaya koyduğu evrensel dinamiği, iletkenliğin frekans ile bağımlılığı veya iyonik iletkenlik Denklem (2.23)'de verilir (Jonscher, 1977 ve 1980).  $\sigma_0(\omega)$  sınırlayıcı sıfır frekans iletkenliği,  $\sigma_{AC}(\omega)$  ac iletkenlik,  $\omega = 2\pi f$  açısal frekansı,  $A$  üstel sabiti sembolize eder.

$$\sigma_{AC}(\omega) = \sigma_0(\omega) + A\omega^s \quad (2.23)$$

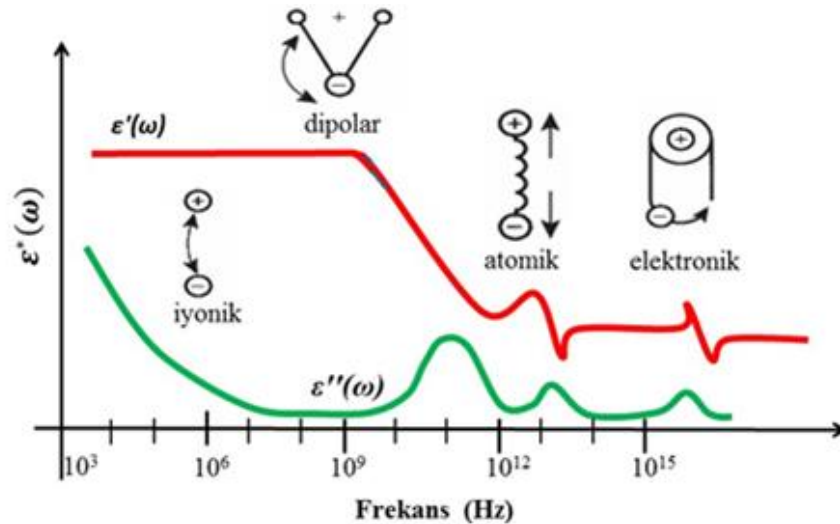
#### 2.4 Polarizasyonların Sınıflandırılması ve Dielektrik Durulma

Dış elektrik alan uygulandığında, atom ve moleküllerdeki yüklerin veya iyonların dipol momentlerinin alan yönünde yönelmesine polarizasyon denir. Birden fazla polarizasyon veya dielektrik mekanizma, dielektrik malzeme üzerinde toplam geçirgenliğe etki edebilir. Mikroskobik seviyede ise malzemede birden fazla dielektrik mekanizma eş zamanlılık gösterebilir (Callister, 2007, Öztürk, 2018).

Farklı frekanslarda dielektrik özelliklerini belirleyen polarizasyon çeşitleri mevcuttur (iyonik, elektrot, dipol polarizasyon vb.). Elektrot polarizasyon özellikle düşük frekansta, katkılı hidrojellerin dielektrik özelliklerini etkileyen polarizasyon çeşitidir. Yüksek frekans bölgesinde ise dipol polarizasyon etkilidir. Yük hareketliliği olan atom ve moleküller içinde ise elektronik, iyonik, atomik ve dipolar dört ayrı tipte polarizasyon çeşiti ile incelenir. Ancak dış alan etkisi altında kaldığında serbest yükler malzeme içinde bölgesel olarak yük hareketliliği sınırlandırıldığı için yukardaki dört polarizasyon çeşitinden farklı olarak ara yüzey ya da elektrot polarizasyon meydana gelir. Elektrot polarizasyon, dış elektrik alan uygulandığında, bu alan etkisiyle pozitif ve negatif yüklerin yönelimlerinden oluşur. Elektrot arasında alanın etkisiyle serbest hareket eden yükler, alanın zıt yönünde yönelime zorlandıklarında oluşan polarizasyon çeşitidir. İyonik polarizasyon ise iyonik yapıdaki malzemelerde dış elektrik alanın etkisiyle anyon

ve katyonların zıt yöndeki hareketinden dolayı oluşan bir yer değiştirir. Bu durumda dipol moment meydana gelir. Elektronik polarizasyonda dielektrik malzemedeki atomlara dışardan elektrik alan etkisi bulunmadığı için elektronlar çekirdek etrafında homojen olarak dağılmış vaziyettedir ve yük merkezleri çakışıktır. Elektrik alan uygulandığında homojen dağılmış elektronlar yer değiştirir ve yük merkezi değişir buna elektronik polarizasyon denir. Hemen hemen tüm atomların içinde bu polarizasyon oluşur, ancak dielektrik sabitine olan etkisi düşüktür.

Atomik polarizasyon, iyonik bağlardan oluşan dielektrik malzemede elektrik alan uygulandığında kızıl ötesi ya da bu frekans aralığına yakın bölgede iyonik bağların bozulmasıyla meydana gelir. Geçici bir kutuplanma çeşitidir. Pozitif ve negatif yüklü iyonlar alanın etkisiyle etkileşim içine girerek birbirlerinden uzaklaşırlar ya da yaklaşarak kutup çiftini oluştururlar. Atomik seviyedeki bir kutuplanmadır. Dipol polarizasyon, elektronların dielektrik malzeme içinde düzenli yerleşimleri Debye tarafından incelenerek bu yerleşimlerin dipol momentler oluşturdukları görülmüştür. Dışardan elektrik alan uygulanmadığında bu dipol momentler gelişigüzel yönelim gösterirler. Dielektrik malzemelerde iç sürtünme katsayısı ve moleküler yapıları yüksek olması nedeniyle yönelim hayli yavaştır ve polarizasyon durulma şeklinde görülür. Kendinden kutuplu olma özelliğine sahip, polar maddelerde bu polarizasyon aktif olarak gerçekleşir.

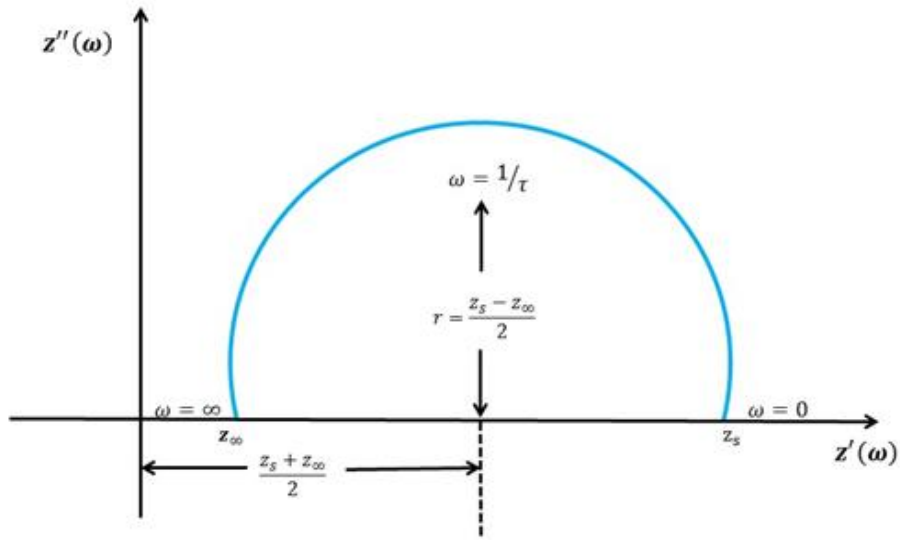


**Şekil 2.1.** Polarizasyon çeşitlerinin frekans ile olan gelişimleri (Öztürk, 2018; El Khaled vd., 2016)

Dielektrik malzemeyi oluşturan atom ve moleküllerin hareket etme özelliğinin ölçüldüğü zamana “durulma zamanı” denir. Elektrik alan etkisi kalktığında yönelim tersi yönde başlar ve malzeme kendi eski haline tekrar dönmek ister. Durulma zamanına ters orantılı olan durulma frekansı her dielektrik malzemede karakteristik olarak mevcuttur. Durulma frekansı altındaki frekanslarda elektrik alan uygulanırsa, alan yönünde yüklerin yönelmesiyle dipol polarizasyon kolayca meydana gelir. Bu aşamada enerji kaybı göz ardı edilebilecek kadar düşüktür. Durulma frekansının üzerindeki frekanslarda uygulanan elektrik alanda yüklerin yönelimi ve polarizasyon oluşumu kolay değildir. Bu frekans bölgesinde kutuplanma elektrik alana uyum sağlamakta zorlanır ve bir faz farkı meydana gelir. Bu nedenle malzemede, dielektrik durulma frekansı üzerindeki dipolar kutuplanma tamamen kaybolur ve maksimum enerji kaybı oluşur. Mikrodalga bölgede iyonik ve dipol iletkenlik güçlüdür, elektronik ve atomik yönelim bu bölgede sabit ve daha zayıftır. Malzemenin ara yüzey ya da elektrot polarizasyonu özellikle, iyonlar ve serbest elektronların hareket etme kabiliyetinin az olması nedeniyle düşük frekanslarda etkindir. Dielektrik sabite katkıda bulunan yavaş mekanizmalar frekansın artışıyla birlikte yerini hızlı başka mekanizmalara bırakır. Her mekanizmanın kendine has “kesme frekansı” vardır ve bu kritik frekans tepe değerine karşılık gelen dielektrik kayıp faktörü mevcuttur. (Puranik vd., 1991; Öztürk 2018; Zengin, 2007)

### *Cole-Cole Rahatlama Modeli*

Dielektrik malzemenin karakteristik özelliklerinin incelenmesinde sıcaklık ve frekans ölçümleri önemlidir. Özellikle frekansla değişimine bağlı çizilen düzlem çizgileri doğru analize imkan sunar. Bu nedenle dielektrik sabitinin sanal ve gerçek kısmına karşılık gelen ( $\epsilon'' - \epsilon'$ ) enerji kayıpları ve yük depolama aynı kartezyen koordinat sisteminde düzlem çizgilerini içinde barındırır. Cole- Cole diyagramı olarak adlandırılır (Cole ve Cole, 1941; Kumar vd., 2016; Elwakil and Maundy, 2019).



**Şekil 2.2.** Tek durulma zamanlı karmaşık empedans için Cole-Cole çizgileri (Öztürk, 2018)

Dielektrik malzemenin merkezi  $Z'' = 0$  yatay ekseninde; kayıp faktörünün  $\frac{1}{\tau}$  tepe değerine sahip yarı dairesel şekilde tek rahatlama frekansı vardır. Birden daha fazla rahatlama frekansı olan malzemelerde, Cole-Cole düzlem çizgileri  $Z'' = 0$  ekseninin altında kalacak simetrik ya da simetrik olmayan yatay yarı dairelere getirirler. Yarıçap değeri dielektrik sabitin sanal bileşeninin maksimuma ulaştığı değere eşit olmaktadır. Eğri üzerinde ise frekans pozitif yönde (saat yönünün tersinde) değişim gösterir (Öztürk, 2018; Zengin, 2007).

Birden fazla rahatlama frekansı olan malzemelerde  $Z'' = 0$  eksenini altında  $r = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{2}$  yarıçapına sahip yarı daire meydana gelir. Kompleks dielektrik sabitin sanal bileşeni maksimum değer aldığı anda yarıçap değerine ulaşmış olur. Eğri üzerinde frekans pozitif yönde (saat yönünün tersi yönde) hareket eder. Bu durum kompleks empedans ve elektrik modül için de geçerlidir (Öztürk, 2018; Tsangaris vd., 1998).

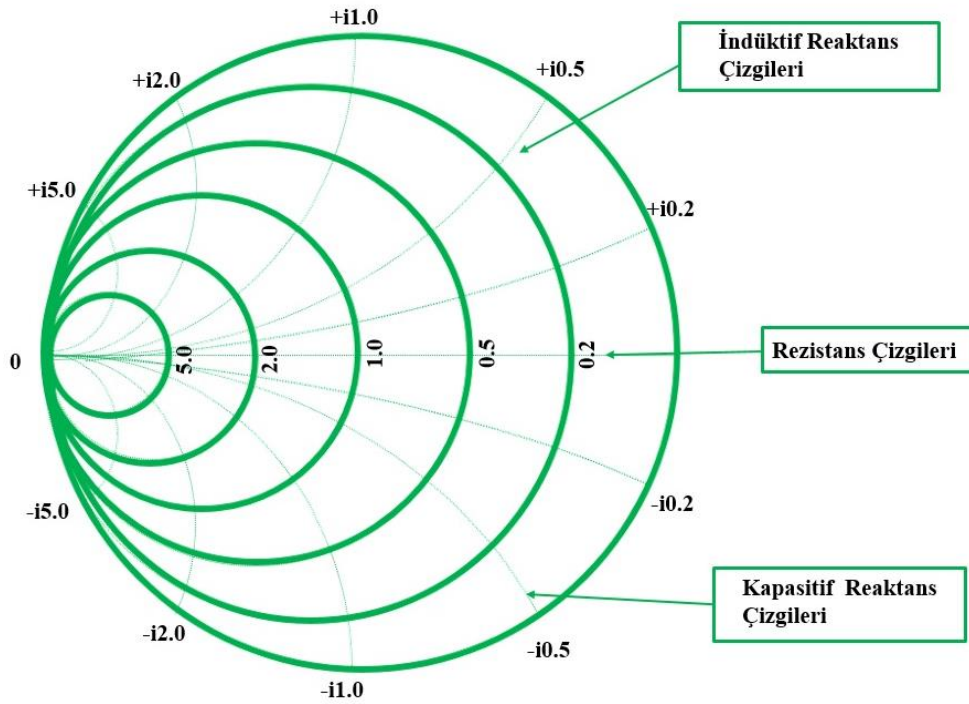
### Debye Durulma Modeli

Debye rahatlama modeli tek durulma zamanı olan malzemelere ait durulma frekansı, frekansa bağlı bir fonksiyon olarak dielektrik geçirgenliğe tepkisi olarak ifade edilir. Rahatlama frekansının olduğu geçiş bölgesinde dielektrik sabitin gerçek kısmı sabit

kaldığı görülür. Ayrıca rahatlama frekansının olduğu tepe değerinin altında ve üstünde küçük değer alır (Debye, 1929; Poole ve Darwazeh, 2016).

## 2.5 Smith Chart Diyagramı

Philip H. Smith 1939 yılında geliştirdiği Smith Abağı diyagramı özellikle elektrik ve elektronik mühendisliği alanındaki hesaplamalarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Salt haliyle üst üste gelen ortogonal daire kümelerinden oluşur. Devrenin analizleri esnasında Smith Chart diyagramı devredeki empedansın; rezistans, indüktif ve kapasitif reaktans bileşenlerini hesaplamada oldukça basitleştiren bir yöntem sunar. Ayrıca iletim hatlarında indüktif, kapasitif etkileri, rezistans kayıplarını bularak hat uzunluğu ve yansıma hesaplamalarının yapılmasına imkan verir. Dalga boyundaki zayıflamalar ve haberleşme bileşenlerinden anten, ortam, alıcı ve verici tasarımı, malzeme üretiminde kullanılır (Poole ve Darwazeh, 2016; Silva, 2001; Ibbotson, 1999).



Şekil 2.3. Smith Chart diyagramı (Smith, 1939)

Karmaşık empedans  $Z^*$ ,  $Z^* = R \pm iX$  gerçek ve sanal bileşenlerden meydana gelir. Elektronik devrede ya da iletim hattında ' $R$ ' rezistansı, ' $X$ ' ise reaktanstır. Kompleks empedansta ' $-iX$ ' kapasitans özelliğine sahip devreyi, ' $+iX$ ' ise indüktansı ifade

eder.  $Z_C = -i(1/\omega C)$  ve  $Z_L = i(\omega L)$  sırasıyla tanımlanır. Smith Aşağısını reaktans ve rezistansı simgeleyen çizgiler oluşturur. Grafikte rezistans koordinatları merkez çizgisinin sağ kısmına teğet olarak ilerler. Teğet daireler sabit olan  $R$  direnci sembolize eder ve teğet noktaları sonsuzluk veya ortak nokta olarak tanımlanır. Dıştaki en büyük daire sabit sıfır değerini, en yüksek direnci ise en küçük daire simgeler. Smith Aşağısı iki yarıya bölünerek alt kısmı reaktansın kapasitif olduğu  $Z_C = -i(1/\omega C)$  koordinatları, ark eğrileri ise kapasitif reaktansın sabit değerlerine karşılık gelir. Smith Aşağısının üst kısmı ise  $Z_L = i(\omega L)$  indüktif reaktansı, yine ark eğrileri sabit indüktif reaktansı ifade eder. Smith Chart diyagramındaki daireler ve ark çizgileri mikrodalga frekans bölgesinde RL ve RC devrelerini sembolize eder (Smith, 1939; Coşkun vd., 2019; Öztürk, 2018; Alkoç vd., 2002).

Dielektrik malzemenin iletim özellikleri hakkında karakteristik bilgi veren karmaşık dielektrik sabiti, empedans, elektrik modülünün yarım daire düzlem çizgilerinin oluşması yani Cole-Cole çizgilerinin meydana gelmesi Smith Aşağısının elektriksel devreleri olan RL ve RC eşdeğer devrelerini ifade eder. Cole-Cole çizgilerinin maksimum noktaları dielektrik rahatlamının bulunduğu noktaları, minimum noktaları ise direncin sıfır olduğu en küçük değeri gösterir. Cole-Cole düzlem çizgilerinin  $\epsilon''$ -  $\epsilon'$ ,  $Z''$ -  $Z'$ ,  $M''$ -  $M'$  koordinatlarının, yatay eksenlerini kestiği noktalarda direnç sonsuz ve sıfır değerdedir (Smith, 1939; Poole ve Darwazeh, 2016; Kumar vd., 2016).

Kısa devre hattının reaktansı, uzunluğa bağlı olarak  $-1$  ila  $+1$  arasında değişebilir. Dolayısıyla, yük empedansının reaktif bileşenini iptal etmek için kritik uzunluktaki bir hat kullanılabilir. Saplama çizgiye paralel bağlandığı için empedanstan ziyade giriş parametreleriyle çalışmak biraz daha kolaydır (Carr, 2002; Öztürk, 2018).

## BÖLÜM III

### DENEYSEL KISIM

#### 3.1 Katkısız Hidrojellerin Sentezlenmesi

Hidrojeller, bilim dünyasında son dönemlerde oldukça ilgi gören sentetik malzemelerdir. Çevresel etkilere karşı yanıt verebiliyor olmaları, suda şişme özellikleri ve biyouyumlulukları nedeniyle teknolojik uygulamalar ve biyomedikal alanlarında kullanım imkânı sunar. Çevresel etkenler; elektrik alan, manyetik alan, pH, optiğe karşı cevap verebilme özellikleri dolayısıyla akıllı jeller denilmektedir. Kaynaklarına göre hidrojeller, sentetik ve doğal olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çapraz bağ yapılarına göre kimyasal ve fiziksel, elektrik yüklerine göre; iyonik, iyonik olmayan, amfolitik, zwitter-iyonik hidrojeller, konfigürasyona göre kristal, yarı- kristal, amorf; polimerik, kompozisyonlara göre; homo- polimerik hidrojeller, ko-polimerik ve çoklu polimerik hidrojeller olmak üzere sınıflandırılırlar.

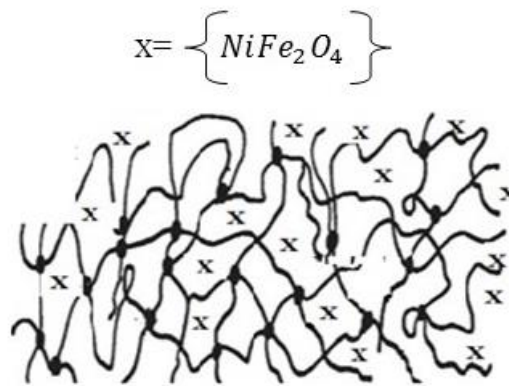
Hidrojeller birden çok metot kullanılarak sentezlenebilir. En yaygın sentezleme radikalik kopolimerizasyon tekniğidir. Suda şişmeleri nedeniyle bu özelliklerinin artırılması için tepkimeye monomer ilave edilir. Sentezlenen ideal hidrojelde istenen özellikler; katkılандırılacak parçacığın hızlı emilim sağlaması, soğurma kapasitenin yüksek olması, düşük çözünürlük, pH tarafsızlığı, kararlılık, depolama ve şişmede dayanıklılık, kokusuz, renksiz olmasıdır (Ahmed, 2015; Coşkun vd., 2019; Tauc, 1973).

Sentezlenen hidrojeller ideal özelliklerin hepsini barındırması mümkün değildir. Bu nedenle ideale en yakın hidrojelin üretilmesi için farklı metotlar birleştirilerek sentezlenebilir. Sentezleme esnasında sıvı çözeltiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tezde kullanılan hidrojeller, sulu ortamda radikalik kopolimerizasyon yöntemi ile sentezlendi. Bu amaçla monomer olarak 2- akrilamido- 2- metilpropan sülfonik asit (AMPS) ve itakonik asit (IA), çapraz bağlayıcı olarak N, N'-metilenbis akrilamit (MBAAm) ve başlatıcı olarak da potasyum persülfat (KPS) kullanıldı. 9.0 mmol AMPS, 1.0 mmol IA, 1.0 mmol MBAAm ve 0.15 mmol KPS polimerizasyon tüpüne konuldu. 5.0 mL saf su eklendikten sonra homojen bir karışım oluncaya kadar vorteksle karıştırıldı. Hazırlanan çözelti 0,4 cm çapındaki pipetlere çekildi ve uçları kapatıldıktan sonra sıcaklığı 50 °C'e

ayarlanmış su banyosuna daldırıldı. 24 saat sonra su banyosundan alınan pipetlerden, oluşan hidrojeller çıkartıldı ve yaklaşık aynı ebatlarda kesildi. Saf su ile yıkanarak 55°C’de etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutuldu ve çalışmalarda kullanıldı (Coşkun vd., 2019; Yalçın vd., 2013; Okutan vd., 2015).

### 3.2 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparçacıkların Hidrojellere Yüklenmesi

NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklar ticari olarak Alfa Aesar (EG-Nr.: 235-353-3) şirketinden satın alınmıştır. Bu NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklar hidrojellere aşağıdaki yöntem kullanılarak yüklendi. Bu amaçla dört ayrı polimerizasyon tüpünün her birine katkısız jellerin hazırlanması için kullanılan monomerlerden, çapraz bağlayıcıdan ve başlatıcıdan yukarıda belirtilen miktarları alınarak her bir tüpe konulduktan sonra üzerlerine 5’er mL saf su ilave edilerek çözümleri sağlandı. Daha sonra birinci tüpe 0.052 g NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (kütlece % 2.5), ikinci tüpe 0.110 g NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (kütlece %5), üçüncü tüpe 0.220 g NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (kütlece % 7.5), dördüncü tüpe de 0.440 g NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (kütlece %10) eklendi ve vorteks kullanılarak dağıtıldı. Her biri ayrı ayrı 0.4 cm çaplı pipetlere alındı. Uçları kapatılan pipetler sıcaklığı 50°C’de ayarlı su banyosuna daldırıldı. 24 saat sonra su banyosundan alındı. Pipetlerden çıkarılan jeller saf suyla yıkandı ve yaklaşık eşit parçalarda kesildi. 55°C’de etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutuldu. Katkılandırılmış hidrojellerin şematik gösterimi Şekil 3.1’de gösterildi (Okutan vd., 2018).



Şekil 3.1. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> katkılı hidrojelin şematik gösterimi (Coşkun vd., 2019)

### 3.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

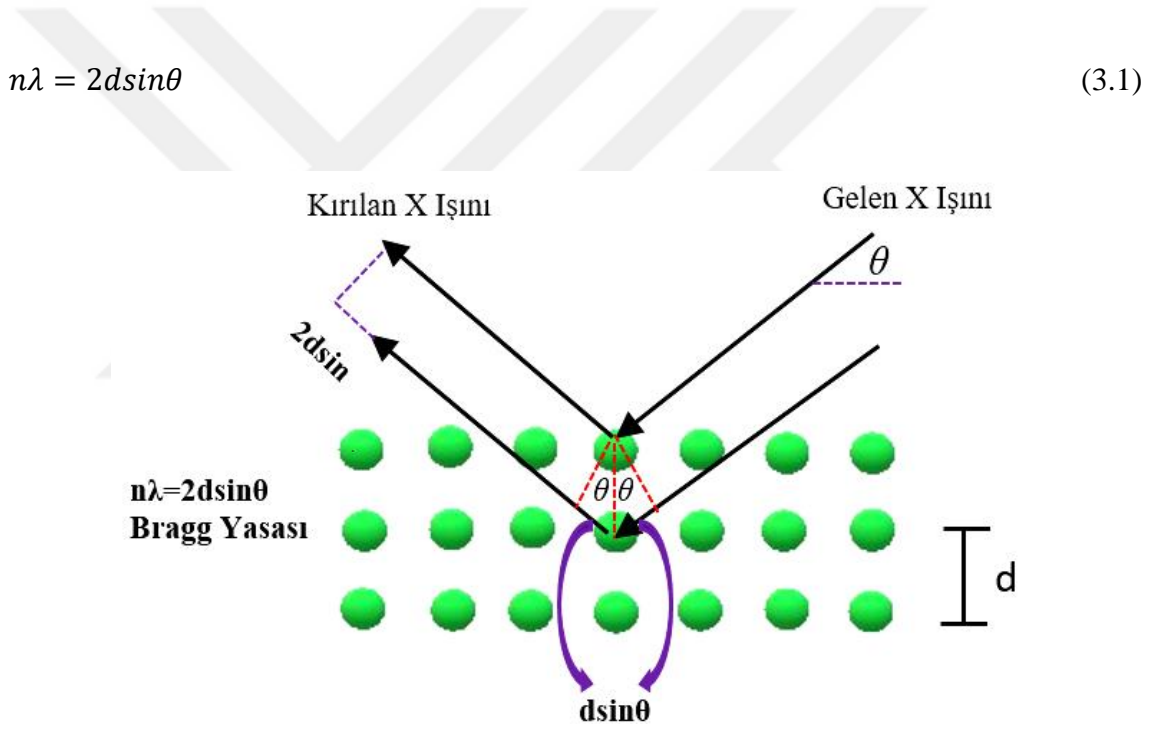
1930'lu yıllarda Manfred von Ardenne'nin önderliğini yaptığı araştırma grubu tarafından geliştirilen SEM, 1965 yılında ticari olarak kullanılmaya başlandı. İnsan gözünün algılayabileceği aralığın kısıtlı olması nedeniyle, tarama elektron mikroskobu detayların incelenmesinde tercih edilen teknolojilerden biridir. Çalışma prensibi; elektronların hızlandırılmasıyla, dalga boyları daha kısa hale gelir. Böylece daha yüksek ayırım gücü sunar. Optik mikroskoplar görüntülemeye yüzey görüntülerini alabilirken; taramalı elektron mikroskobunun ayırım gücünün yüksek olması, büyütme imkanı da sağlamaktadır. Geniş ölçüde kullanım alanı olan SEM, örnek ve görüntü sinyallerini sayısal hale getirme, kimyasal analiz, ölçümlerin birleştirebilmesi ve bilgisayarda işlenmesini mümkün kıldığından geniş çapta tercih edilmektedir (Zhou vd., 2007; Idris ve El-Zahhar, 2019).

SEM elektron mikroskoplarının ayırım gücü, 35 keV uyarma gerilimindedir ve üç bölümden oluşur. Bunlar elektronik donanım, optik kolon ve numune odacıdır. Optik kolon içinde yer alan elektron tabancası, elektron demetinin oluşumunu sağlar. Elektronları numuneye doğru ivmeli olarak yönlendirmekte ve yüksek gerilimin uygulandığı anot plakasında demetler toplanarak yönlendirme gerçekleşmektedir. Numuneyi taramada kondansatör ve objektif mercekler kullanılır. Tarama bobinleri ise gelen elektron demetini uygun şekilde saptırır (Erdin, 1986; Mendea vd., 2016).

Numuneler analiz edilirken sağlıklı taramanın yapılabilmesi için partiküler elektron demetinin odaklandırılıp malzemeye yönlendirildiğinde elektron sayısındaki fark sebebiyle elektrostatik alan oluştururlar. Bu alan elektronların sapmasına ve sağlıklı taramayı önler. Bu nedenlerden numune SEM ölçümlerine hazırlanırken temizlenmeli, kurutulmalı (dehidrasyon) ve kaplanmalıdır. Kurutulmayan numuneler, algılayıcılar üzerinde yoğunlaşmaya ya da buharlaşan gaz mikrobun kirlenmesine veya flaman ömrüne olumsuz etki etmektedir. Temizleme aşamasında freon gazı, kuru hava püskürtülmesinin yanı sıra ultrasonik cihazlar, alkol, eter, aseton alkol, aseton kullanılarak da temizlenebilir. Yüzey kaplamasında ise örnek yüzeyinden istenen sinyallerin alınması için önemlidir. (Erdin, 1986) Bu tezde numuneler kurutulmuş, altın ile kaplanarak Zeiss Evo 40 marka (SEM) taramalı elektron mikroskobunda ölçümleri alınmıştır.

### 3.4 X Işını Kırınımı Mikroskobu (XRD)

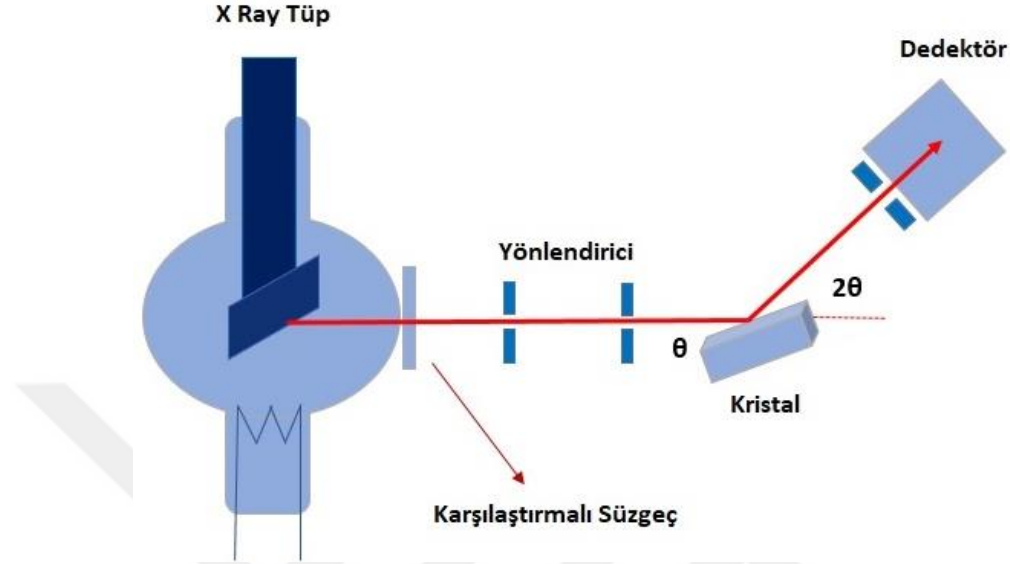
Doğadaki malzemelerin büyük bir kısmı kristal yapıda olması ve her mineralin benzersiz  $d$  aralık kümesine sahip özellikler sergilemesi sebebiyle XRD tercih edilen analiz tekniğidir. X ışınlarının malzemeye yönlendirilip, kırınıma uğraması prensibine (Bragg yasası) dayanır. Katot ışın tüp içindeki filamentin ısıtılarak elektron, hareketlendirilir ve bir üst enerji bandına geçer. Domino etkisi oluşturan elektronlar ışımaya meydana getirir. Bu ışınlar hedef malzemenin iç kabuk elektronlarını çıkarmak için yeterli enerjiye sahip olduklarında karakteristik X ışını spektrumunu üretilir. Mercekle toplanan ışınlar, analiz edilecek numunenin üzerine odaklandırılır. Ancak monokromatik X ışınlarının üretilmesi için süzülmesi gerekir.



Şekil 3.2. XRD çalışma diyagramı (Touloukian, 1977)

Denklem (3.1)'de Bragg yasasına göre gelen dalgada kırınım meydana gelir. Kırınım sonucunda oluşan yeni ışın malzemenin kafes boşluklarının tespit edilmesine yardımcı olur. Homojen ince öğütülmüş kütledeki numune üzerinden kırılmış X ışınları; dedektörle  $2\theta$  açı aralığında döndürülerek taranmasıyla X ışınlarının yoğunluğu kaydedilir. X ışın geometrisi Bragg denklemine uygun girişim meydana getirir ve yoğunluk zirvesi oluşur. X ışınları dedektörle algılanarak, sinyal kaydedilir ve işlenerek yazıcı ya da monitör gibi cihaza göndererek, monitörün görüntüleyebileceği sayma hızına dönüştürülür. Referans

minerallerin kırınım değerleriyle, numune üzerindeki analizler karşılaştırılır ve örnek hakkında bilgi edinilir (Touloukian, 1977; El-ghandour vd., 2019; Pei vd., 2019; Dalbauer vd., 2019; Dutrow and Clark, 2019).



Şekil 3.3. XRD cihazı şematik diyagramı

Bu tezde kullanılan örneklerin XRD spektrumları, Panalytical / Empryean marka X ışını kırınım mikroskobu kullanılarak alınmıştır.

### 3.5 EDX (Enerji Dağılımlı X ışını) Analizi

Malzemeyi oluşturan temel bileşenlerin tanımlanmasında tercih edilen yöntem X ışını teknolojisidir. Yüksek enerjili elektronlar numune yüzeyine gönderildiğinde elektron kopmasına sebep olur. Atomik kararlılığın korunabilmesi için kopmuş elektronlar dış yörüngede bulunan elektron boşluklarına sıçrama gerçekleştirir ve dış yörüngedeki elektron yüksek enerjiye sahip olması sebebiyle ışımaya yapar. Bu esnada X ışını meydana gelir. X ışını ise malzemeyi oluşturan elemente ait atomlarının bulunduğu enerji seviyesinden yani kabuğundan ayrılarak ışımaya yaptığı konusunda EDX cihazı tarafından algılanarak bilgisayar ortamında tepe noktaları meydana getirir. Böylece malzemede bulunan elementler ve oranları hakkında bilgi edinilir (Mendea vd., 2016, Egerton ve Watanabe, 2018; Ay, 2017). Bu tezde kullanılan numunelerin EDX ölçümleri Ametek EDAX marka cihaz kullanılarak alınmıştır.

### 3.6 Empedans Spektroskopi (ES)

Dielektrik malzemelerin özellikle alternatif akımda yük iletim mekanizması hakkında bilgi veren Empedans Spektroskopi (ES) yöntemi tercih edilen ölçümlerden biridir. Empedans spektroskopi ile malzemenin dielektrik sabitinin, yüzey öz direnci, iletkenliği, modülüs, empedansın gerçek ve sanal bileşenlerini, kayıp faktörünü, kapasitans, dipol davranışları, yük iletim mekanizması gibi malzemenin karakteristik özelliklerinin belirlenmesini sağlar (Lasia, 1999; Nimith vd., 2019; Gajula vd., 2019; Kumar vd., 2016). Bu tezde kullanılan örneklerin empedans spektroskopi ölçümleri HP4194A marka cihazda alınmıştır.

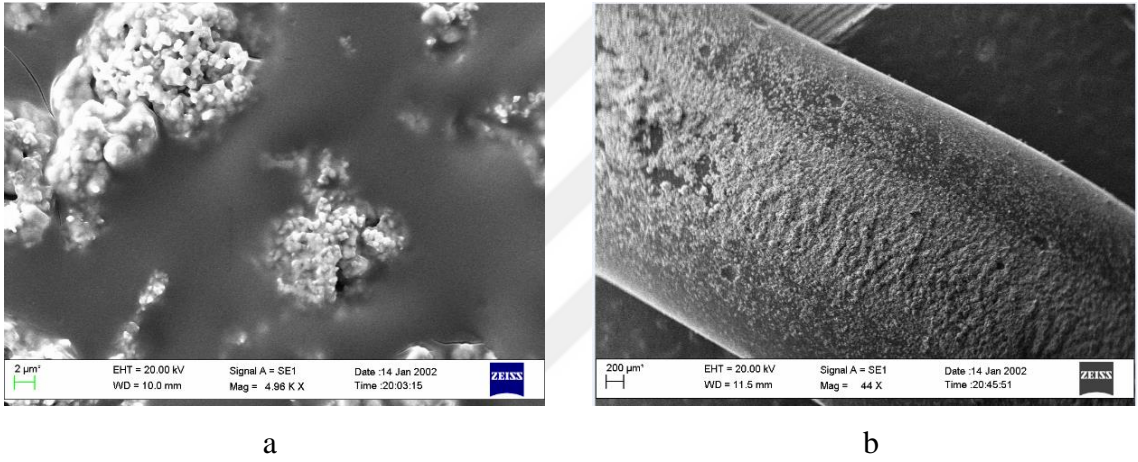


## BÖLÜM IV

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

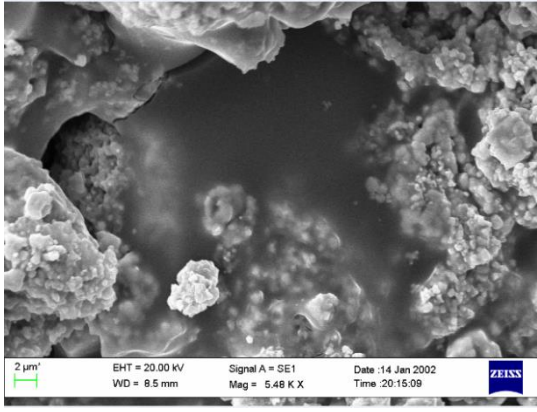
#### 4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi

İnsan gözünün ayırt edemeyeceği ayrıntıları analiz etmede kullanılan taramalı elektron mikroskobu, farklı miktarlardaki  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık katkılı hidrojeller içinde homojen ya da heterojenliği, boyut, gözenek geometrisini incelemek üzere; Fotoğraf 4.1 ve 4.2’de numunelere ait SEM görüntüleri verildi.

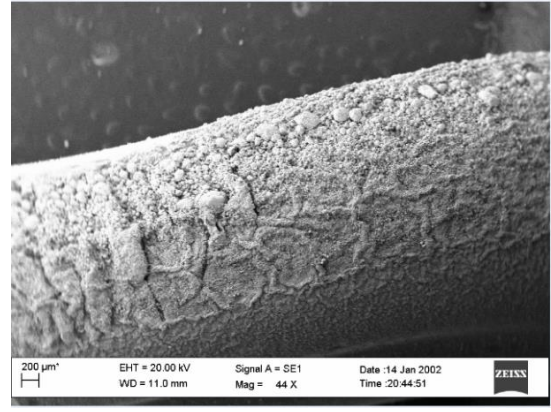


**Fotoğraf 4.1.** Kütlece %2.5  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık katkılı hidrojinin 2 µm (a) ve 200 µm (b) ölçekli SEM görüntüsü

Fotoğraf 4.1’ de %2.5  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık yüklü hidrojinin 2 µm (a) ve 200 µm ölçeklendirilmiş (b) yüzey SEM görüntüsü gösterildi. %2.5  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık katkılı hidrojel numunesinin 2 µm ölçeklendirilmiş SEM görüntüsü incelendiğinde nanoparçacıkların hidrojel kanalları içerisinde topaklandığı gözlemlendi. Aynı numunenin ölçeklendirme boyutu 200 µm kadar arttırıldığında katkılı hidrojel yüzeyinin daha pürüzsüz olduğu görüldü.



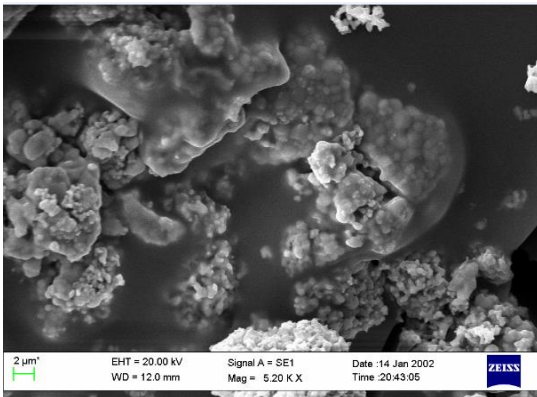
a



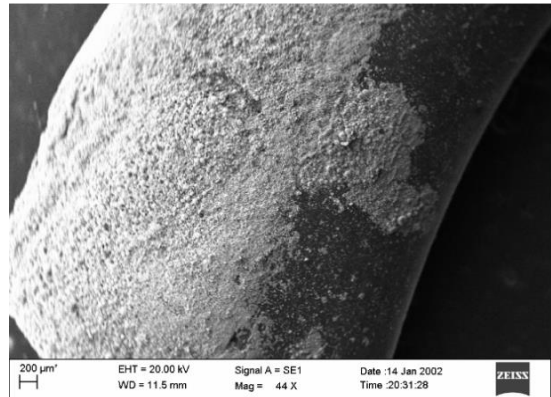
b

**Fotoğraf 4.2.** % 5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin 2µm (a) ve 200µm (b) ölçekli SEM görüntüsü

Fotoğraf 4.2’de %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin 2 µm (a) ve 200 µm ölçeklendirilmiş (b) SEM görüntüleri verildi. Fotoğraf 4.2a’de gösterilen %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılandırılmış hidrojinin 2 µm ölçekli SEM görüntüsü incelendiğinde hidrojel kanallar içinde dağılan nanoparçacık miktarının beklenildiği gibi daha fazla olduğu ve boşlukların azaldığı belirlendi. Fotoğraf 4.2b’de ise aynı numunenin (%5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin) ölçeklendirme boyutu 200 µm kadar artırıldığında nanoparçacıkların daha küçük alanlarda homojen olarak dağılım gösterdiği tespit edildi. Fotoğraf 4.1b ve 4.2b’ de gösterilen farklı derişim (% 2,5 ve %5.0) ve aynı ölçekli (200 µm) numuneler birlikte analiz edildiğinde %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin yüzeyinin daha pürüzsüz olduğu saptandı (Zhou vd.,2007; Johari ve Bhattacharyyai 1969; Davis ve White ,1986; Öztürk, 2018).

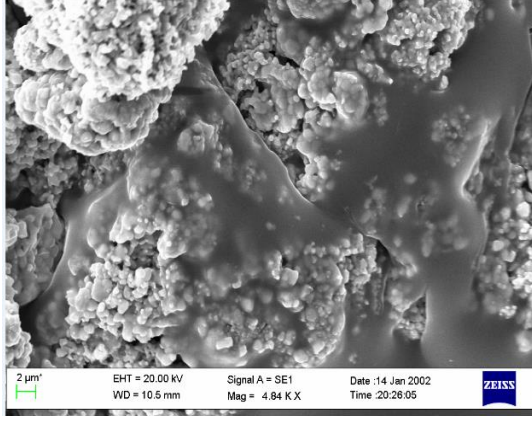


a

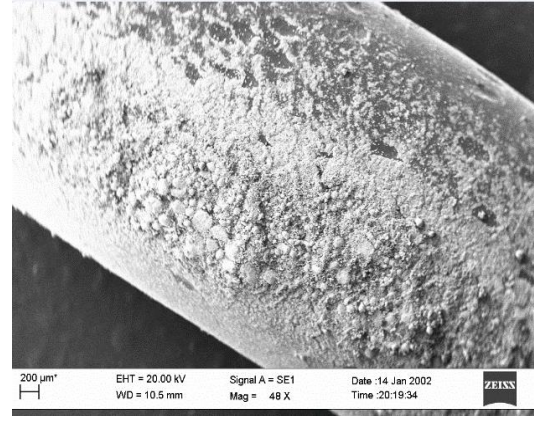


b

**Fotoğraf 4.3.** Kütlece %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin 2 µm (a) ve 200 µm (b) ölçekli SEM görüntüsü



a



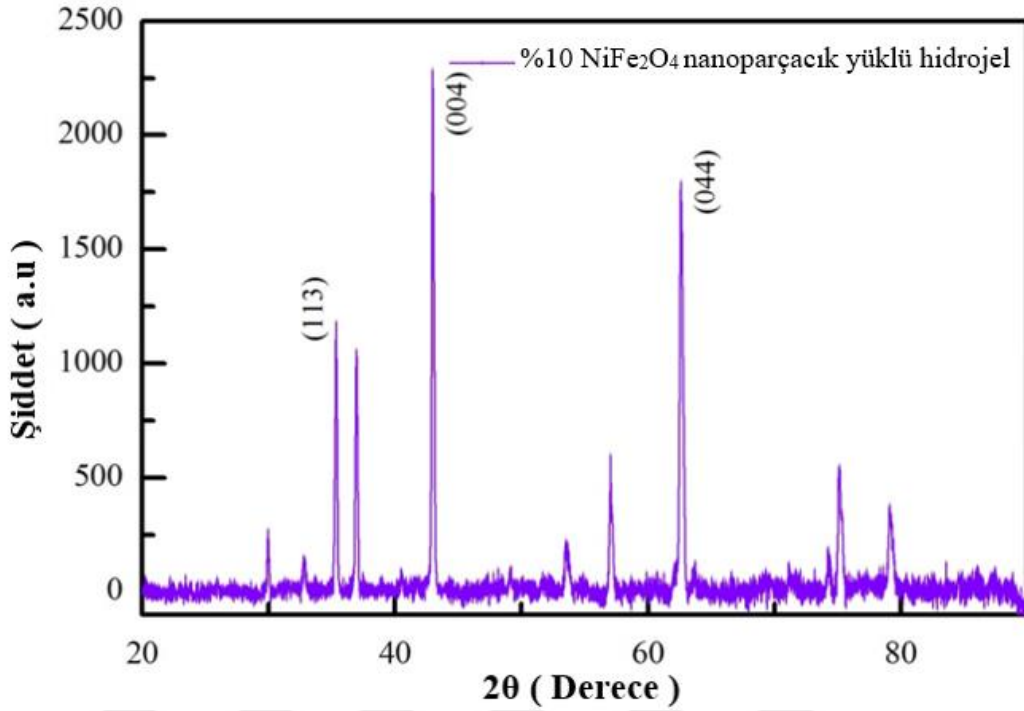
b

**Fotoğraf 4.4.** Kütlece %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin 2 μm (a) ve 200 μm (b) ölçekli SEM görüntüsü

Fotoğraf 4.3’de %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin 2 μm ölçeklendirilmiş (a) ve 200 μm ölçeklendirilmiş (b) taramalı elektron mikroskop görüntüsü verilmiştir. Ayrıca Fotoğraf 4.4’de %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin 2 μm ölçeklendirilmiş halini (a) ve 200 μm ölçeklendirilmiş (b) SEM görüntüsü verildi. Taramalı elektron mikroskobu, hidrojenin içerisindeki homojen ve heterojenliği, gözenek geometrisini gösterdiğinden; %2.5, %5.0, %7.5 ve %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojel örnekleri içindeki dağılımları gözlemlendi. Hidrojel içinde NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların katkılandırma miktarı arttıkça, kanal ve boşlukları doldurduğu, ağ yapısının sıklaştığı aynı zamanda yoğunluğun ve pürüzlülüğün de giderek arttığı tespit edildi (Davis ve White, 1986; Johari ve Bhattacharyya, 1969; Idris ve El-Zahhar, 2019; Mendea, 2016; Okutan vd., 2018).

## 4.2 XRD Analizi

Doğadaki malzemelerin büyük bir kısmı kristal yapıda olması ve her mineralin benzersiz d aralık kümesine sahip özellikler sergilemesi sebebiyle numunelerin kristal yapıları hakkında bilgi edinmek için XRD tekniği ile incelemeler yapıldı.

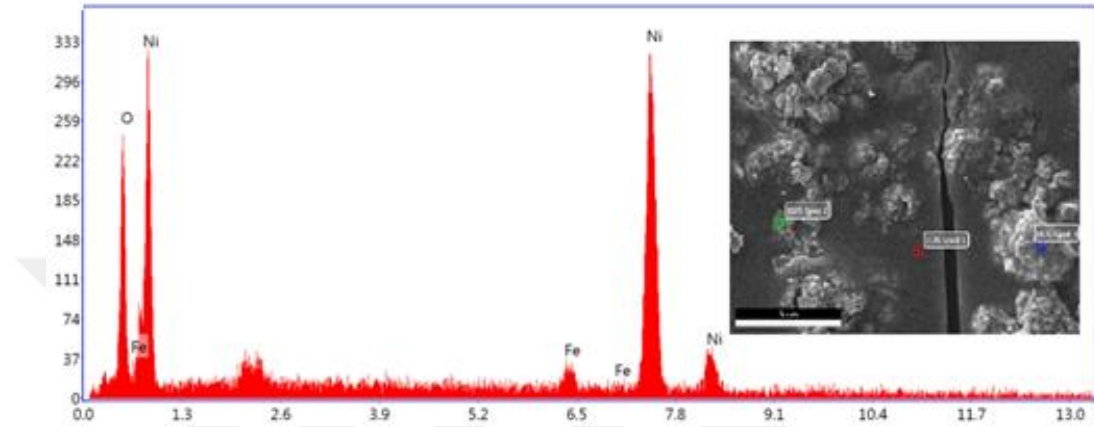


**Şekil 4.1.** Kütlece % 10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin XRD spektrumu

% 10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin XRD görüntüsü Şekil 4.1’de gösterildi. Nanoparçacık katkılı hidrojin XRD görüntüsünden dokuz ayrı tepe (pik) noktasına sahip olduğu görüldü. En yüksek pik değerinin (şiddetin) 2,10582 Å, en düşük pik değerinin ise 2,72840 Å açısında (pozisyonunda) yer aldığı saptandı. %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin XRD piklerinin sırasıyla 30°, 35°, 37°, 43,5°, 54°, 57°, 63°, 75° ve 79° derecelerine (2θ) karşılık geldiği tespit edildi. Ayrıca bu pik noktalarının sırasıyla (0 2 2), (1 1 3), (2 2 2), (0 0 4), (2 2 4), (1 1 5), (0 4 4), (2 2 6), (4 4 4) ‘h k l’ düzlemlerini tanımladığı belirlendi. Elde edilen bu verilerden yola çıkarak %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin kristal bir yapıya sahip olduğu sonucuna varıldı. Ayrıca bu malzeminin sahip olduğu pik değerlerindeki pozisyon, derece ve düzlemlerle birlikte değerlendirildiğinde NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların hidrojel kanalları içerisinde homojen olarak dağıldığı tespit edildi (Ghavidelaghdam vd., 2018; El-ghandour vd., 2019; Pei vd., 2019; Dalbauer vd., 2019).

### 4.3 EDX Analizi

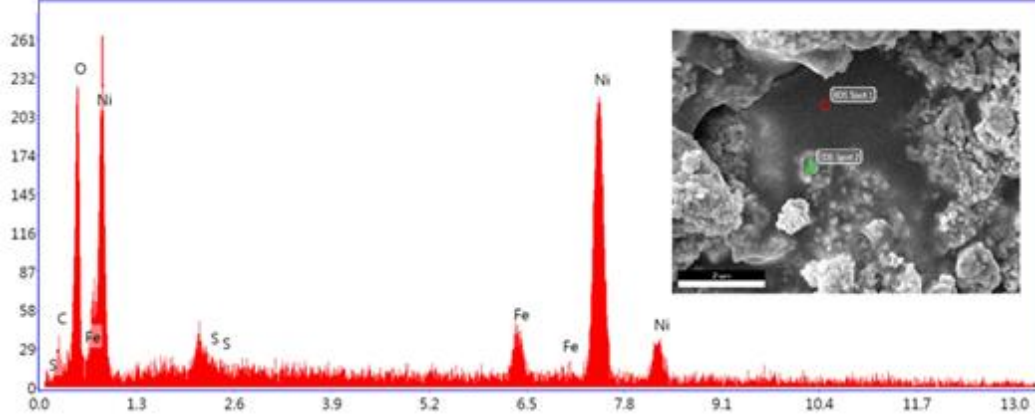
NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı numunelerde kimyasal bileşimlerin tespiti için EDX incelemeleri yapıldı. %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelın EDX görüntüsü ve 5 µm ölçekli SEM görüntüsü (ekli küçük resim) Şekil 4.2’de verildi.



Şekil 4.2. Kütlece %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelın EDX görüntüsü

Bu numunenin EDX analizinde sekiz ayrı pik noktası olduğu tespit edildi. Bu pik değerlerin NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığı oluşturan kimyasal bileşimlere ait olduğu EDX analizinde görüldü. Malzemeyi oluşturan temel bileşenlerin Nikel (Ni), Demir (Fe) ve Oksijen (O) elementleri olduğu doğrulandı. %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelın elementel analizinde en yüksek pik değerinin nikel elementine, en düşük pik değerinin ise demir elementine ait olduğu tespit edildi. Bu durumun tamamen elementlerin X ışınıyla olan etkileşimlerinin farklı olmasından kaynaklandığı sonucuna varıldı. Ayrıca %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelın EDX analizinde malzemeyi oluşturan temel bileşenlerin dışında hiçbir elementin olmadığı saptandı. Bu durum numunenin oldukça saf bir malzeme olduğunu doğrulaması bakımından önemli bulundu (Mendea vd., 2016; Okutan vd., 2018).

Şekil 4.3’de ise %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojelın EDX görüntüsü ve 5 µm ölçekli SEM görüntüsü (ekli küçük resim) gösterildi.



**Şekil 4.3.** Kütlece %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin EDX görüntüsü

Bu örneğin EDX analizinde tıpkı Şekil 4.2’de olduğu gibi yedi ayrı pik noktası görüldü. Bu pik noktalarının NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığı oluşturan kimyasal bileşimlere ait olduğu fakat farklı elementlerin de var olduğu tespit edildi. EDX analizinden NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığın temel bileşenleri olan Nikel (Ni), Demir (Fe) ve Oksijen (O) elementlerinin yanı sıra Kükürt (S) ve Karbon (C) elementlerinin de varlığı saptandı. Kükürt ve karbon elementinin arayer atomu olarak atomik kirlilikten kaynakladığı sonucuna varıldı. %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojin EDX analizinde en yüksek pik değerinin nikel, en küçük pik değerinde demir elementinde olduğu tespit edildi. Bu durumun %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojeldeki en yüksek ve en düşük pik değerleriyle uyumlu olması ölçümlerin sağlıklı olduğu sonucunu vermesi bakımından anlamlı bulundu. %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojin EDX analizinde tespit edilen arayer atomu yani atomik kirliliklerin varlığı, bu numunenin %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojele kıyasla daha az saflıkta olduğunu sonucunu vermesi bakımından önemli bulundu (Okutan vd., 2018; Mendea vd., 2016; Watanabe ve Egerton, 2018).

Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılanmış hidrojinlerin içindeki elementlerin ağırlıklarının yüzdesel dağılımları Çizelge 4.1’de detaylı olarak verildi.

**Çizelge 4.1:** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojenlerin içindeki elementlerin ağırlıklarının yüzdesel dağılımı

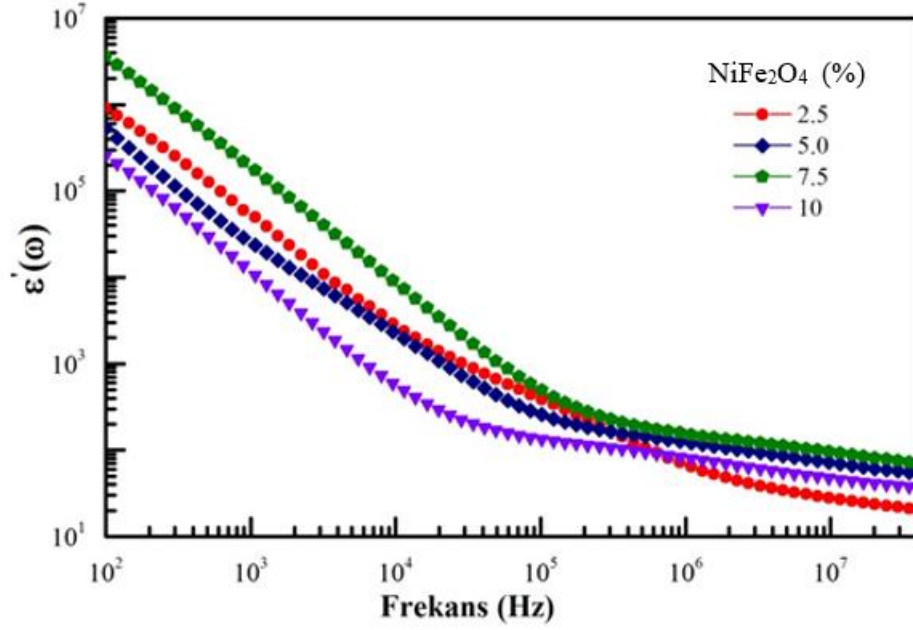
Elementler	NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparçacık yüklü hidrojenler (%)			
	2.5	5.0	7.5	10.0
C	17.93	4.05	6.25	6.44
O	25.30	17.57	21.01	20.23
S	4.69	1.87	3.15	2.42
Fe	25.08	36.08	37.2	38.75
Ni	27.00	40.43	32.31	32.15

NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı numunelerin hepsinde ‘O’, ‘Fe’, ‘Ni’ elementlerin olduğu saptandı. %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojenelde yüzdesel ağırlığı en yüksek elementin ‘Ni’ olduğu ve onu sırasıyla ‘Fe’ ve ‘O’ elementlerinin takip ettiği görüldü. Diğer taraftan %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojenelde yüzdesel ağırlığı en yüksek kimyasal bileşimin ‘Ni’ elementi olduğu ve tüm numuneler içinde en büyük değeri bu numunede aldığı saptandı. ‘S’ elementinin yüzdesel ağırlığının diğer elementlere kıyasla daha düşük olduğu saptandı. %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojenelerde ise en düşük ve en yüksek yüzdesel ağırlık sırasıyla ‘S’ ve ‘Fe’ elementlerine ait olduğu belirlendi. Artan derişimle birlikte ‘Fe’ elementinin yüzdesel ağırlığının da giderek arttığı görüldü. Numuneyi oluşturan diğer elementlerin yüzdesel ağırlıklarının derişime bağlı dalgalı bir tutum sergilediği tespit edildi.

#### 4.4 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Katkılı Hidrojenlerin Empedans Spektroskopisi Analizi

Empedans spektroskopisi analizi ile malzemenin 100 Hz –40 MHz geniş frekans aralığında dielektrik ölçümleri yapılarak dielektrik sabitleri,  $\epsilon'(\omega)$ ,  $\epsilon''(\omega)$ ,  $\epsilon^*(\omega)$ , kayıp faktörü  $\tan(\delta)$ , empedans;  $Z'(\omega)$ ,  $Z''(\omega)$ ,  $Z^*(\omega)$ , faz açısı, iyonik iletkenlik ( $\sigma$ ), elektrik modülü  $M'(\omega)$ ,  $M''(\omega)$ ,  $M^*(\omega)$ , soğurma gibi birçok özelliği incelenmiştir.

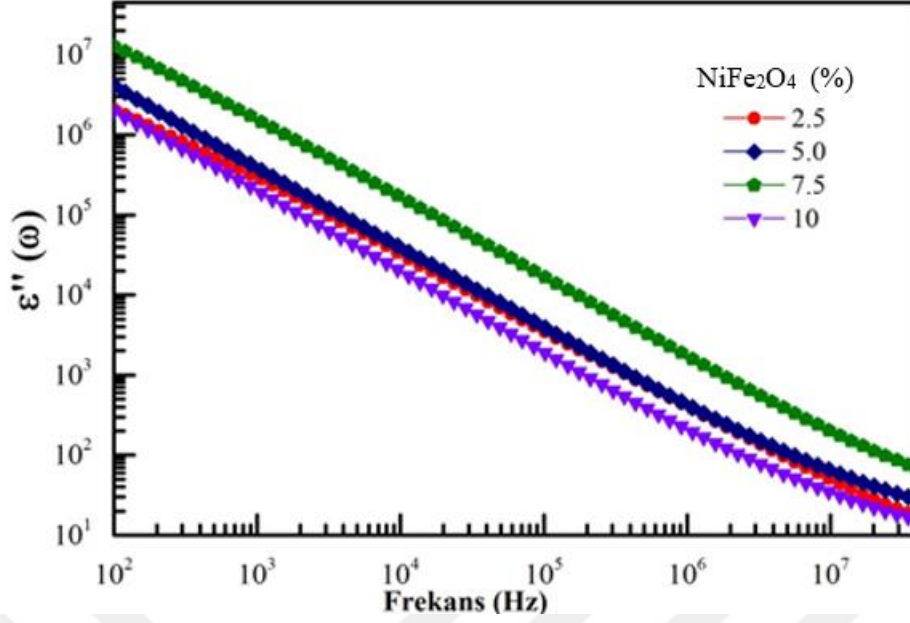
Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojenlerin karmaşık dielektrik sabitinin gerçek kısmının  $\epsilon'(\omega)$  frekansla derişimi Şekil 4.4’de gösterildi.



**Şekil 4.4.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks dielektrik sabitinin gerçek bileşeninin frekansla değişimi

Kütlece %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojel  $\epsilon'(\omega)$  değeri düşük frekanslarda diğer numunelere göre daha az direnç gösterdiği görülürken; %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojelde dielektrik sabitinin daha yüksek olduğu gözlemlendi. Dielektrik sabitinin gerçek bileşeninin düşük frekanslarda yüksek değerler almasının sebebi, dış elektrik alan uygulandığında yüklerin yer değiştirerek kutuplanması ve ara yüzeyde meydana gelen elektrot polarizasyondan kaynaklandığı saptandı. Yüksek frekansta ise periyodik dış çevirim hızı, elektrik alan etkisinde dipol yöneliminin ve ara yüzeyde oluşan serbet yük yoğunluğunda azalma olduğu gözlemlendi.  $\epsilon'(\omega)$  dielektrik malzemenin enerji depolayabilme kabiliyetini ifade ettiği tespit edildi (Wu vd., 2018; Sekrafi vd., 2019; Abushad vd., 2019; El-ghandour vd., 2019; Das vd., 2019; Yeh vd., 2005).

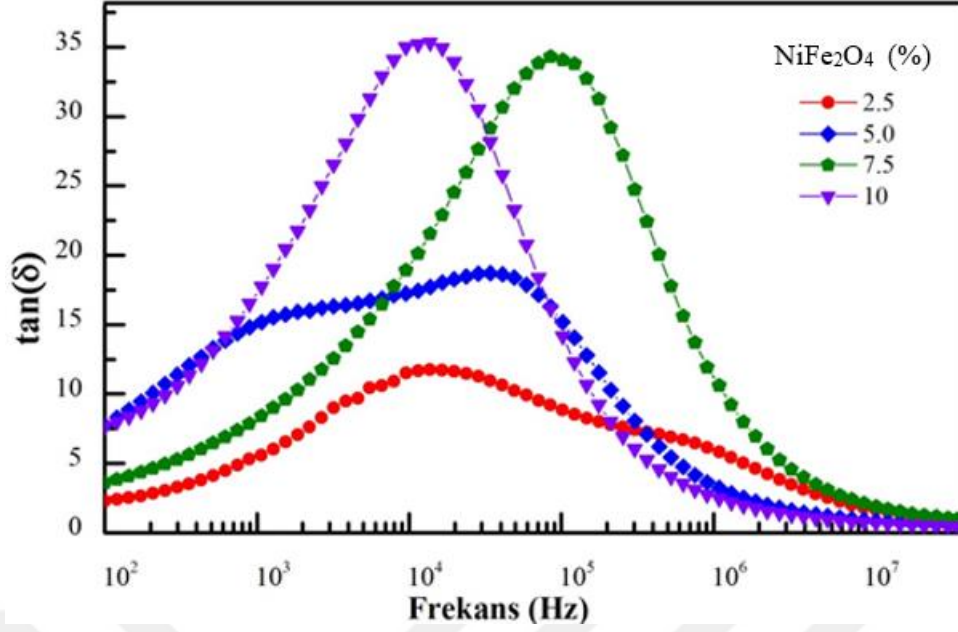
Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin karmaşık dielektrik sabitinin sanal kısmının  $\epsilon''(\omega)$  frekansla değişimi Şekil 4.5'de gösterildi.



**Şekil 4.5.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks dielektrik sabitinin sanal bileşeninin frekansla değişimi

$\epsilon''(\omega)$  frekans artışıyla birlikte doğrusal olarak azaldığı gözlemlendi. %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojin dielektrik sabitinin sanal bileşeni düşük frekanslarda diğer numunelere göre daha yüksek değerler aldığı, diğer (%2.5, %5.0, %10) NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yüklü numunelerin ise birbirlerine yakın değerler aldığı görüldü. Frekans arttıkça nanoparçacık yüklü numunelerde dielektrik sanal bileşen değerinde giderek azalma olduğu tespit edildi. Bunun sebebi ise elektrik alan uygulandığında düşük frekanslarda ara yüzeyde oluşan elektrot polarizasyon olduğu saptandı. Örneklerin bu bölgede dielektrik sabitinin sanal bileşeninin yüksek değerler almasının sebebi olarak dielektrik durulmaya engel olan iletkenlik katsayısı olduğu tespit edildi (Wu vd., 2018; Sekrafi vd., 2019; Abushad vd., 2019; El-ghandour vd., 2019; Kumar vd., 2016; Yeh vd., 2005).

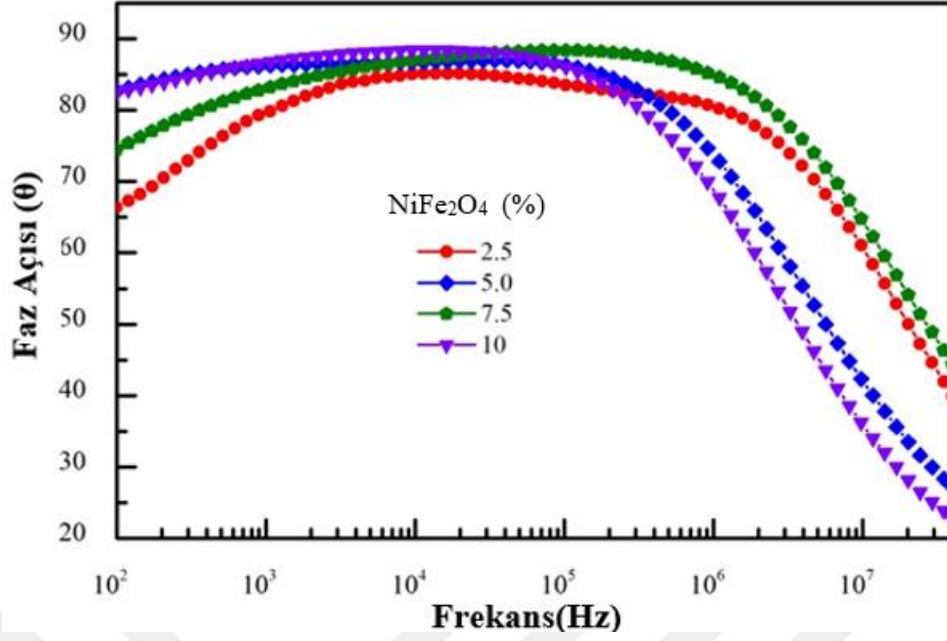
Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin kayıp faktörü  $\tan(\delta)$  frekansla değişimi Şekil 4.6'de gösterildi.



**Şekil 4.6.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin tanjant kayıp faktörünün frekansla değişimi

Tüm numunelerin  $\tan(\delta)$  değerlerinin orta frekans bölgesinde pik değerine sahip olduğu görüldü. %7.5 ve %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin katkı oranı artırıldığında  $\tan(\delta)$  pik değerlerinin de arttığı tespit edildi. %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojelde katkı oranı arttığında Stokes-Einstein etkisi altında kalarak  $\tan(\delta)$  yüksek frekans bölgesinden daha düşük frekans bölgesine kaydığı tespit edildi.  $\tan(\delta)$  değerinin en yüksek ve en düşük sırasıyla %10 ve %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelere ait olduğu gözlemlendi. Derişim oranları farklı olan numunelerin  $\tan(\delta)$  tepe genişliklerinin farklı olmasının, dielektrik mekanizmasının etkisi sonucu moleküler titreşimlerden kaynaklandığı görüldü. Elektrot polarizasyonun düşük frekanstaki etkisi, tanjant faktörünün yüksek değerler almasını sağladığı belirlendi (Wu vd., 2018; Sekrafi vd., 2019; Abushad vd., 2019; El-ghandour vd., 2019; Edward, 1970).

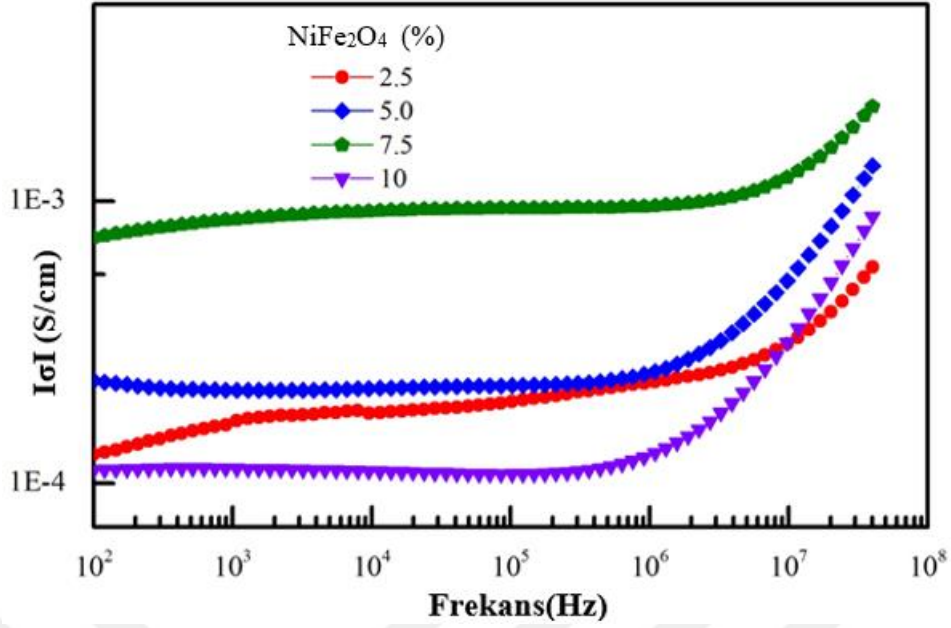
Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin faz açısının ( $\theta$ ) frekansla değişimi Şekil 4.7’de verildi.



**Şekil 4.7.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojinin faz açısının frekansla değişimi

Tüm numunelerin faz açılarının, benzer davranış göstererek 60° üzerinde değerler aldıkları ve 90° aşmadığı görüldü. Frekans arttıkça numunelerin belli bir frekans değerine kadar arttığı ve sonrasında yavaşça azaldığı gözlemlendi. %2.5 ve %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojinlerin frekansın artışıyla birlikte 40 MHz'e kadar faz açılarında azalma olmadığı görüldü. %5.0 ve %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin numunelerinin ise aynı değerler ile başlayarak 10<sup>5</sup> Hz'e kadar frekans artışıyla beraber benzer davranış sergiledikleri; 10<sup>5</sup> Hz'den sonra %2.5 ve %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojinlerin faz açıları giderek azaldığı gözlemlendi. Faz açısının frekansla değişimi, farklı dielektrik mekanizmalar etkisinde kalmasından kaynaklandığı tespit edildi. Düşük frekans bölgesinde elektrot polarizasyonunun dielektrik mekanizmayı etkilediği faz açısının yükseldiği, frekans yükseldikçe başka bir dielektrik mekanizma olan dipol polarizasyon ve dielektrik durulmanın yerini aldığı tespit edildi. ( $\delta = 90 - \varphi$ ) olduğu ve  $\tan \delta$  bir değerinden büyük olduğu ve Şekil 4.6'da tanjant faktörü ile uyumlu olduğu ve dielektrik malzemenin iletiminin Ohm kanuna uygun olduğu görüldü (Paul vd., 2016; Pospîsil vd., 2019; El-ghandour vd., 2019; Kumar vd., 2016).

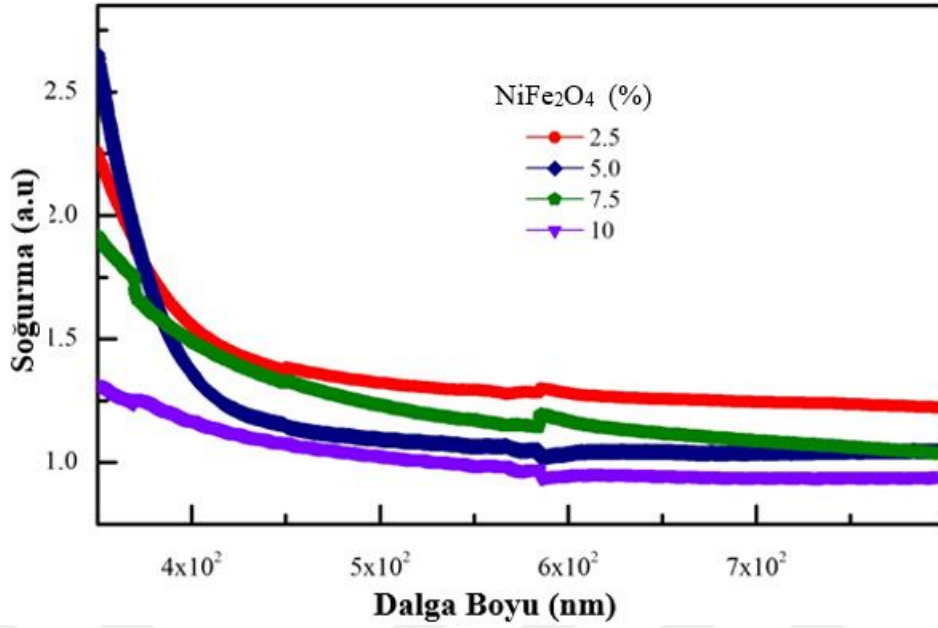
Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojinlerin iyonik iletkenliğin frekansla değişimine ait deney sonuçları Şekil 4.8'de verildi.



**Şekil 4.8.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelilerin iyonik iletkenliğin frekansla değişimi

NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı tüm hidrojellerde artan frekansla  $\sigma$  iletkenliğinin de arttığı gözlemlendi. Genel olarak 100 Hz ve 1 MHz frekans aralığında numunelerin başlangıç değerlerine göre çok büyük artışa sahip olmadığı görüldü. Frekans 1 MHz üzerine çıktığında iyonik iletkenliğin ivmeli olarak arttığı gözlemlendi. En yüksek ve en düşük iyonik iletkenliğe %7.5 ve %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü numunelere ait olduğu saptandı. Düşük frekans aralığında iyonik iletkenliğin ara yüzeyde oluşan empedans ve serbest yük polarizasyonu etkisi sonucu düşük değerlere sahip olduğu görüldü. Frekans arttıkça yüksek frekans aralığına geçen numunelerde ara yüzey empedansı ve serbest yük polarizasyonunun etkisinin giderek azaldığı belirlendi. Bu nedenle yüksek frekans aralığında hidrojel kanalları içinde NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların hareket etme kabiliyetlerinin arttığı tespit edildi (Musfir vd., 2019; Tsonos, 2019; El- ghandour vd., 2019).

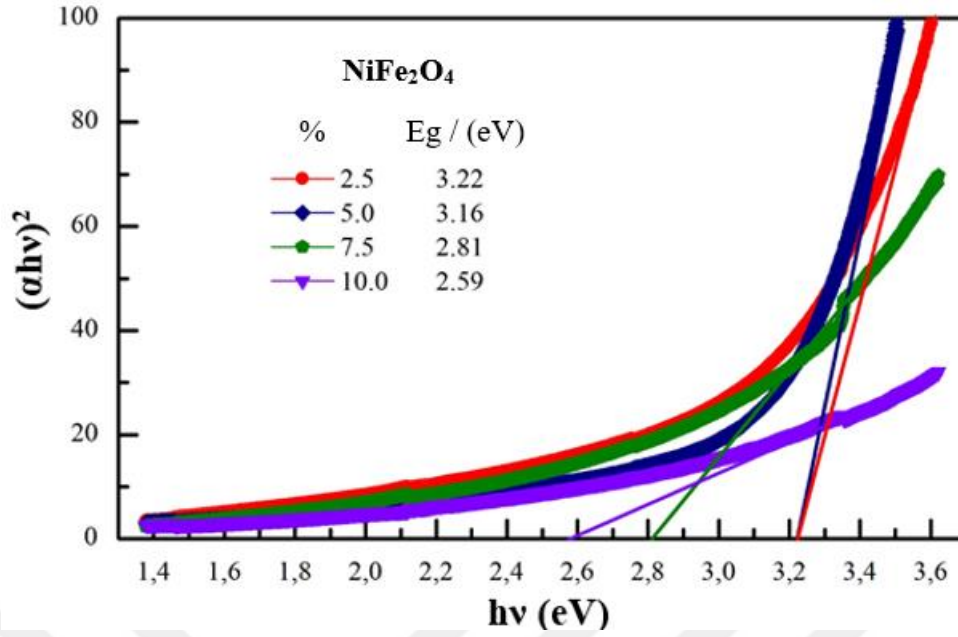
Değişen dalga boylarında farklı miktarlardaki NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü (%2.5, 5.0, 7.5 ve 10) hidrojelilerin soğurma ve dalga boyu etkileşim grafiği Şekil 4.9'a verildi.



**Şekil 4.9.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin soğurma ve dalga boyu etkileşim grafiği

Tüm numunelerdeki soğurmanın artan dalga boyuyla giderek azaldığı ve  $6 \times 10^2$  nm üzeri dalga boylarında ise dalga boyundan bağımsız davrandığı gözlemlendi. Tüm numuneler için absorptans spektrumunun  $354$  nm civarında en yüksek değerlere sahip olduğu belirlendi. Bu yüksek değerlerin NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> NPs yüklü hidrojellerin dipolar salınımları ve dört kutuplu innervasyonlarının bir sonucu olduğu tespit edildi. Dalga boyunun düşük olduğu bölgede en küçük ve en yüksek absorpsiyon değerlerinin sırasıyla %10 ve %5,0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> NPs yüklü hidrojelere ait olduğu saptandı. Ayrıca NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> NPs gibi küçük parçacıkların farklı absorpsiyon değerlerinin bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları, şekilleri, büyüklükleri ve dielektrik ortamları ile ilişkili olduğu sonucuna varıldı (Tauc, 1968; Jain vd., 2006; Bhaumik vd., 2019; Green vd., 2018; Jiang vd., 2011; Mir vd., 2014; Sheha vd., 2012; Tauc, 1973).

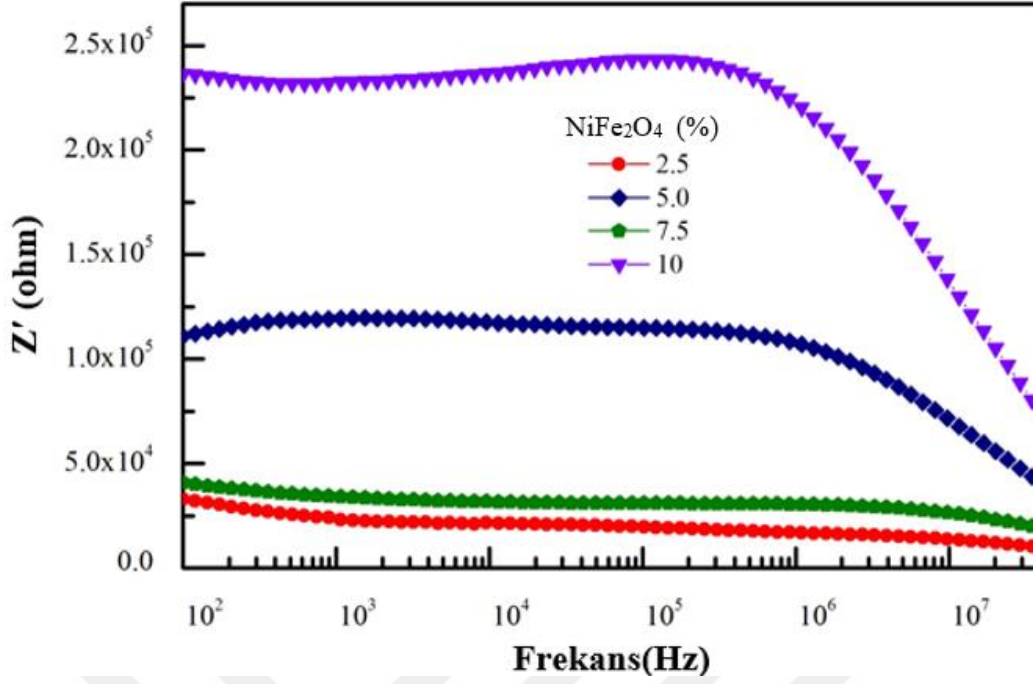
Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin  $(\alpha h\nu)^2$  karşı  $h\nu$  değişimi Şekil 4.10'da gösterildi.



**Şekil 4.10.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin  $(\alpha hv)^2$  karşı  $hv$  değişimi (Tanabe, 2007; Sheha vd., 2012; Tauc, 1973)

NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> NPs yüklü hidrojeller için optik bant aralığı Tauc yasası kullanılarak soğurma spektrumlarının dalga boyu ile değişiminden elde edildi. Yüklü numunelerin optik bant aralık büyüklüklerinin hidrojeller ağındaki NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların derişimine bağlı olduğu tespit edildi. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin enerji bant boşluğundaki azalmalarının kuantum etkileşimler ve nano skaladaki NPs elektronlarının Fermi-Dirac dağılımından kaynaklandı düşünöldü. Optik bant değişimdeki sınırlandırılmış bir kuyruğunun yokluğu, yasak boşlukta optik geçişler sağlayan enerji fotonlarının yüksek olmasından kaynaklandığı belirlendi. Ayrıca bu kuyruğun yokluğu yasak enerji aralığındaki elektronların mükemmel şekilde iletimi ile ilgili olduğu saptandı. Bu sonuçlardan NPs 'lerin hidrojel kanalları içinde homojen olarak dağıldığı ve neredeyse mükemmel bir yapıya sahip olduğu sonucuna varıldı (Tauc, 1968; Bhaumik vd., 2019; Green vd., 2018; Jiang vd., 2011; Mir vd., 2014; Jain vd., 2006; Sheha vd., 2012; Tauc, 1973).

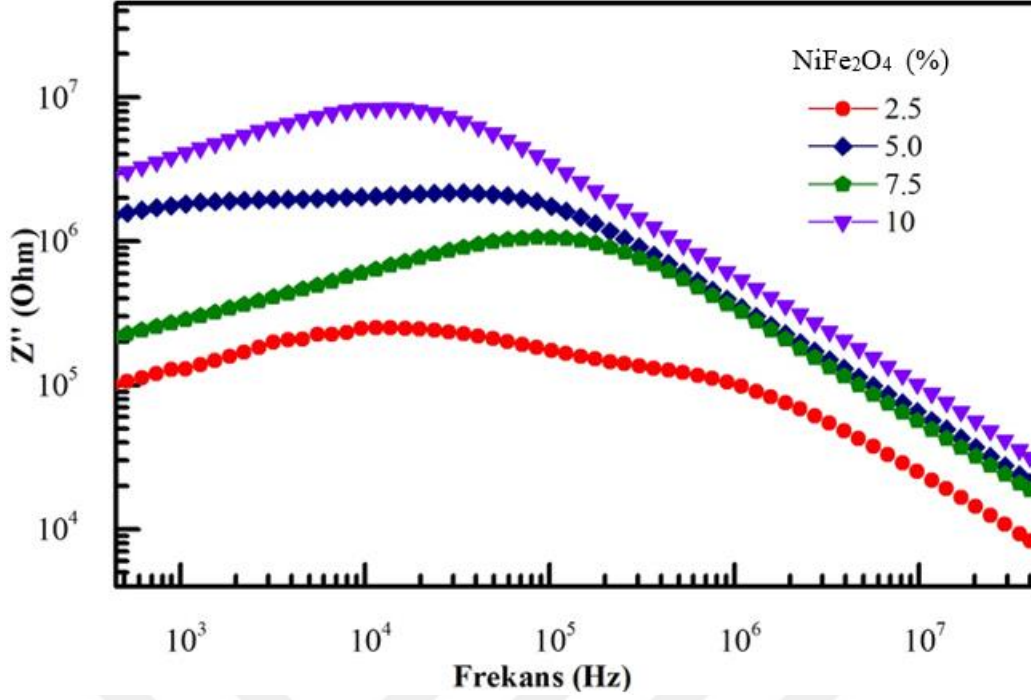
Farklı yoğunluklarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin kompleks empedans sabitinin gerçek kısmı olan rezistansın ( $Z'$ ) frekansla değişimi Şekil 4.11'de gösterildi.



**Şekil 4.11.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks empedansın gerçek bileşeni frekans ile değişimi

Kompleks empedansın gerçek bileşeni düşük frekanslarda diğer numunelere göre daha düşük değerleri %2.5 ve %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü numunelerde görülürken; en yüksek değerini %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı numunede olduğu tespit edildi. Numunelerin 10<sup>5</sup> Hz civarına kadar sabit değerler aldığı gözlemlendi. Yüksek frekanslarda ise kompleks empedansın gerçek bileşeninde azalma olduğu saptandı. Düşük frekans bölgesinde kompleks empedansın gerçek bileşeninin yüksek değerler almasının nedeni harici elektrik alanının etkisinde kalarak yüklerin yönelimi sonrasında polarizasyonunun oluşması ve ara yüzeyde elektrot polarizasyonunun meydana gelmesinden kaynaklandığı görüldü. Kompleks empedansın gerçek bileşeni 10<sup>5</sup> Hz'e kadar sabit değerler almasının nedeni ise ara yüzey polarizasyonundan kaynaklandığı belirlendi (Oumezzine vd., 2017; Gajula vd., 2019; El-ghandour vd., 2019).

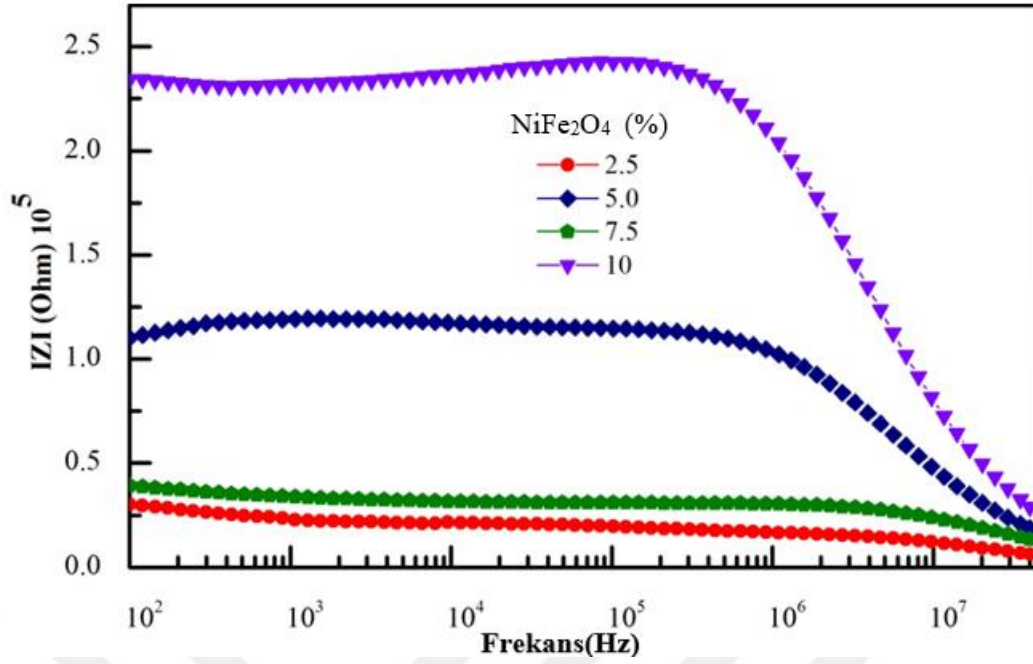
NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığın farklı miktarlarda katkılı hidrojellerin (%2.5, 5.0, 7.5 ve 10) kompleks empedansa ait sanal bileşeninin (reaktans) frekans ile değişimi Şekil 4.12'de gösterildi.



**Şekil 4.12.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks empedansın sanal bileşeninin frekans ile değişimi

Numuneler frekans yükseldikçe, kompleks empedansın sanal bileşeni olan reaktansın arttığı, 10<sup>5</sup> Hz'den sonra ise doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu gözlemlendi. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin kompleks empedansın sanal bileşeninin en düşük değerinin %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojele ait olduğu, en yüksek değer ise %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı numunenin aldığı gözlemlendi. Frekansın artması ile birlikte yüksek frekans bölgesine geçen NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin reaktans farklarında azalmalar meydana geldiği tespit edildi. Düşük frekans aralığında kompleks empedans reaktansının yüksek olmasında yük yöneliminin olması, ara yüzey ve elektrot polarizasyonun oluşmasından kaynaklandığı saptandı. Frekans artarak yüksek frekans aralığına ulaştığında ara yüzey ve elektrot polarizasyon etkisini kaybederek, dielektrik mekanizmasında yeniden yönelimin etkisine girdiği gözlemlendi (Gajula vd.,2019; Oumezzine vd., 2017; El-ghandour vd., 2019).

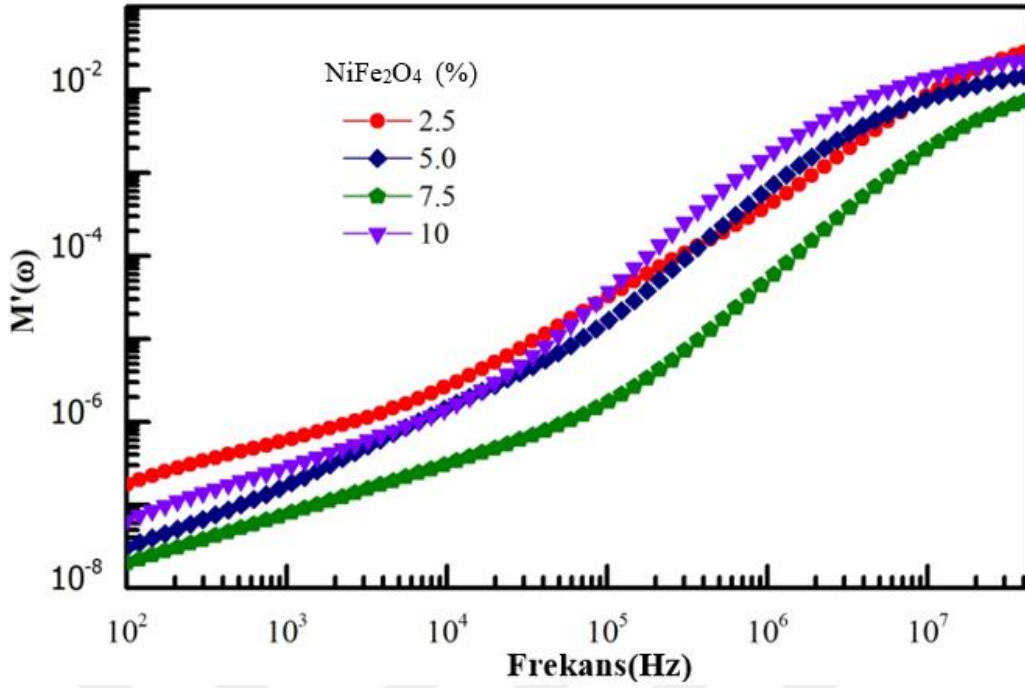
NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığının farklı miktarlarda katkılı (%2.5, 5.0, 7.5 ve 10) hidrojin kompleks empedansın frekans ile değişimi Şekil 4.13'de gösterildi.



**Şekil 4.13.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin mutlak kompleks empedansın frekans ile değişimi

Mutlak kompleks empedans, farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü kompleks empedansın gerçek bileşeninin frekansla değişimine oldukça benzerlik gösterdiği gözlemlendi. %2.5, %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin empedansı, düşük frekanslarda diğer numunelere göre, daha düşük değerler alırken; en yüksek değeri %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı numunenin aldığı görüldü. Numunelerin empedansı 10<sup>5</sup> Hz civarına kadar sabit değerler aldığı tespit edildi. Yüksek frekanslarda ise NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin empedansında azalma olduğu belirlendi. Düşük frekans bölgesinde empedansın yüksek değerler almasının nedeni dış ortamdan uygulanan elektrik alanın etkisinde kalarak yüklerin yönelimi sonrasında polarizasyonun meydana gelmesi ve ara yüzeyde, elektrot polarizasyonunun oluşmasından kaynaklandığı saptandı. Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin empedansının 10<sup>5</sup> Hz'e kadar sabit değerler almasının ara yüzey polarizasyonundan kaynaklandığı belirlendi. Yüksek frekans aralığında ise yüklü hidrojel numunelerinin empedans değerlerinin yüzey etkenlerin etkisi olduğu tespit edildi (Gajula vd., 2019; Oumezzine vd., 2017; El-ghandour vd., 2019).

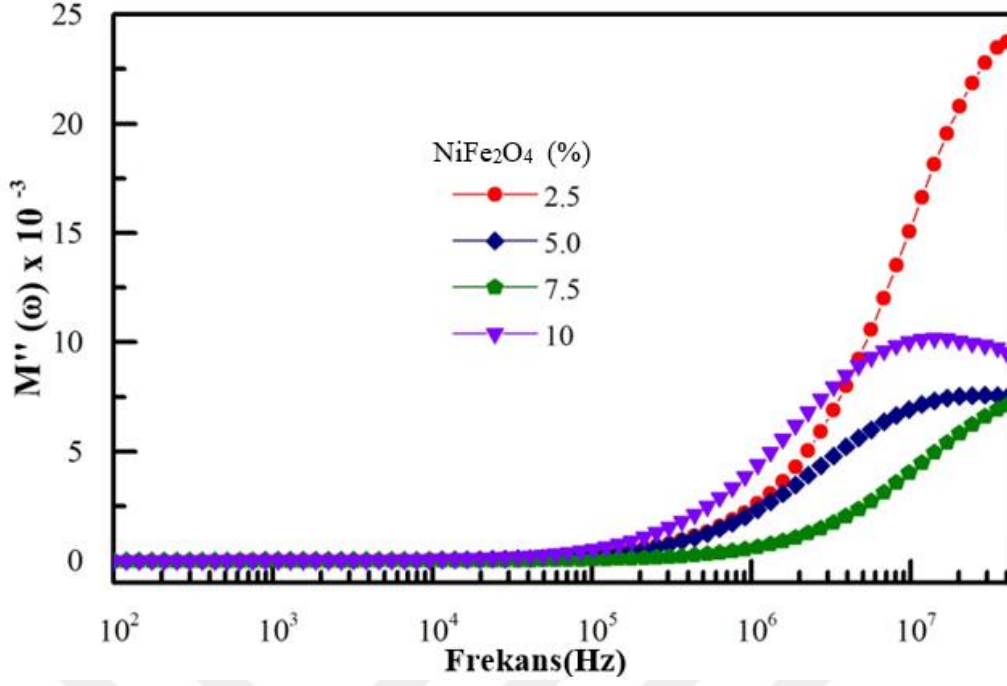
Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojellerin kompleks elektrik modülünün gerçek bileşeninin frekansla değişimi Şekil 4.14'de verildi.



**Şekil 4.14.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin kompleks elektrik modülünün gerçek bileşeninin frekans ile değişimi

NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellerin  $M'(\omega)$  asimtotik olarak tüm numunelerde benzer şekilde arttığı gözlemlendi. Düşük frekans bölgesinde tüm numunelerin kompleks elektrik modülünün gerçek bileşeninin  $M'(\omega)$  elektrot polarizasyonun etkisinde olduğu tespit edildi. Frekans artışıyla birlikte  $M'(\omega)$  en yüksek ve en düşük değerlerini %10 ve %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojellere ait olduğu görüldü. Numunelerin kompleks elektrik modülünün gerçek bileşen değerinin frekansla birlikte maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlendi. Bunun sebebi olarak yüksek frekanslarda elektrot polarizasyon etkisinin azalması ve dielektirik durulmanın meydana geldiği tespit edildi (Kaya vd., 2014; Dult vd., 2015; Kumar vd., 2016; El-ghandour vd., 2019 ).

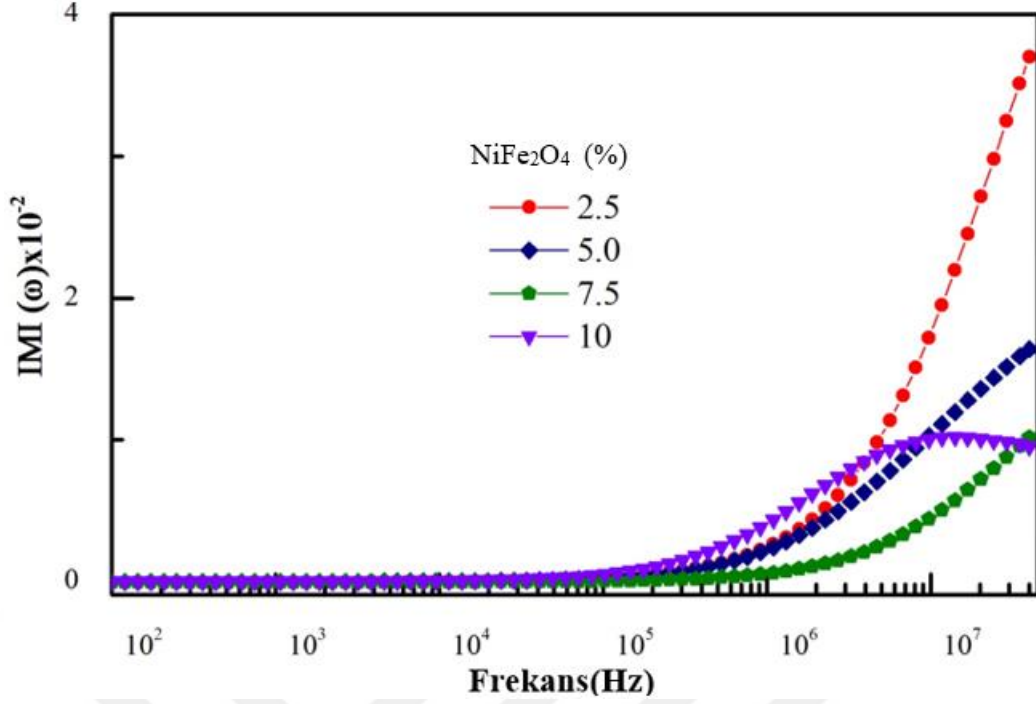
NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığın farklı miktarlarda katkılı hidrojellerin kompleks elektrik modülünün sanal bileşeninin frekans ile değişimi Şekil 4.15'de verildi.



**Şekil 4.15.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelilerin kompleks elektrik modülünün sanal bileşeninin frekans ile değişimi

Düşük frekans aralığında tüm numunelerin kompleks elektrik modülünün sanal kısmının sıfır değerine sahip olduğu gözlemlendi. Bunun nedeni olarak düşük frekanslarda meydana gelen elektrot polarizasyonunun etkisi olduğu saptandı. Artan frekans bölgelerinde ise  $M''(\omega)$  yüksek değerler aldığı görüldü. En yüksek ve en düşük kompleks elektrik modülüne ait sanal bileşen değeri %2.5 ve %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojele ait olduğu görüldü. Yüksek frekansta dielektrik durulmanın meydana gelmesi nedeniyle tepe değerlerinin oluştuğu gözlemlendi (Kaya vd., 2014; Dult vd., 2015; Kumar vd., 2016; El-ghandour vd., 2019).

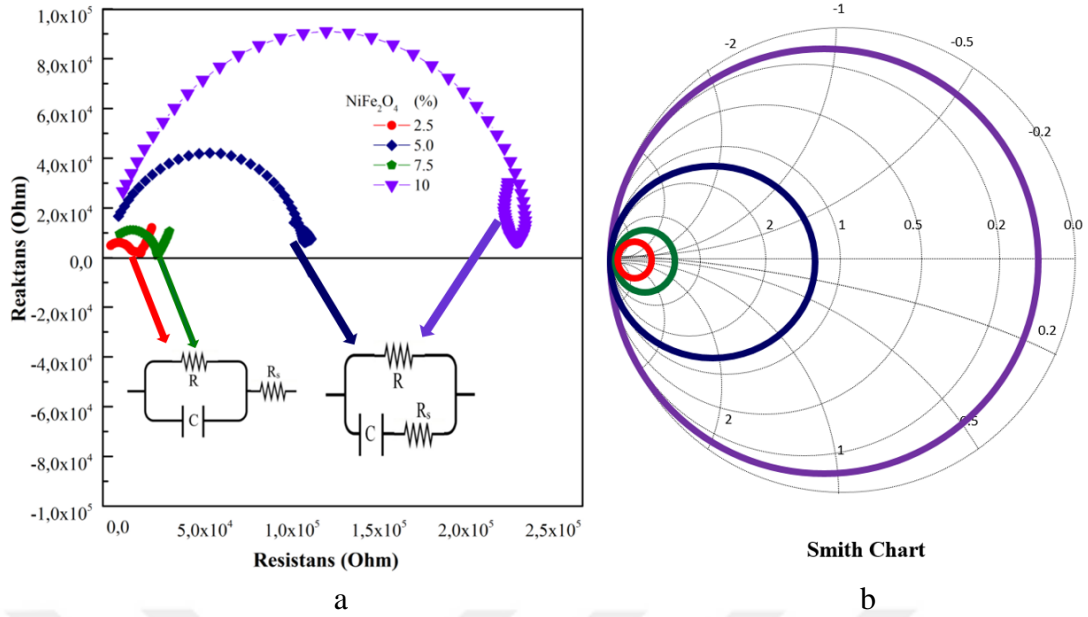
NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığın farklı miktarlarda katkılı hidrojelilerin mutlak elektrik modülünün frekans ile değişimi Şekil 4.16'da verildi.



**Şekil 4.16.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojenlerin mutlak kompleks elektrik modülünün frekans ile değişimi

Mutlak elektrik modülü, kompleks elektrik modülünün sanal bileşenine oldukça benzer davranış gösterdiği gözlemlendi. Düşük frekans aralığında tüm numunelerin elektrik modülünün sıfır değeri aldığı görüldü. Bunun nedeni olarak düşük frekanslarda meydana gelen elektrot polarizasyon etkisi olduğu saptandı. Artan frekans bölgelerinde ise  $IMI(\omega)$  yüksek değerler aldığı belirlendi. En yüksek ve en düşük mutlak elektrik modülü değeri %2.5 ve %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojenlere ait olduğu saptandı. Yüksek frekansta dielektrik durulmanın meydana gelmesi nedeniyle tepe değerlerinin oluştuğu gözlemlendi (Hazarika ve Kumar, 2014; (Kaya vd., 2014; Dult vd., 2015; Kumar vd., 2016; El-ghandour vd., 2019 ).

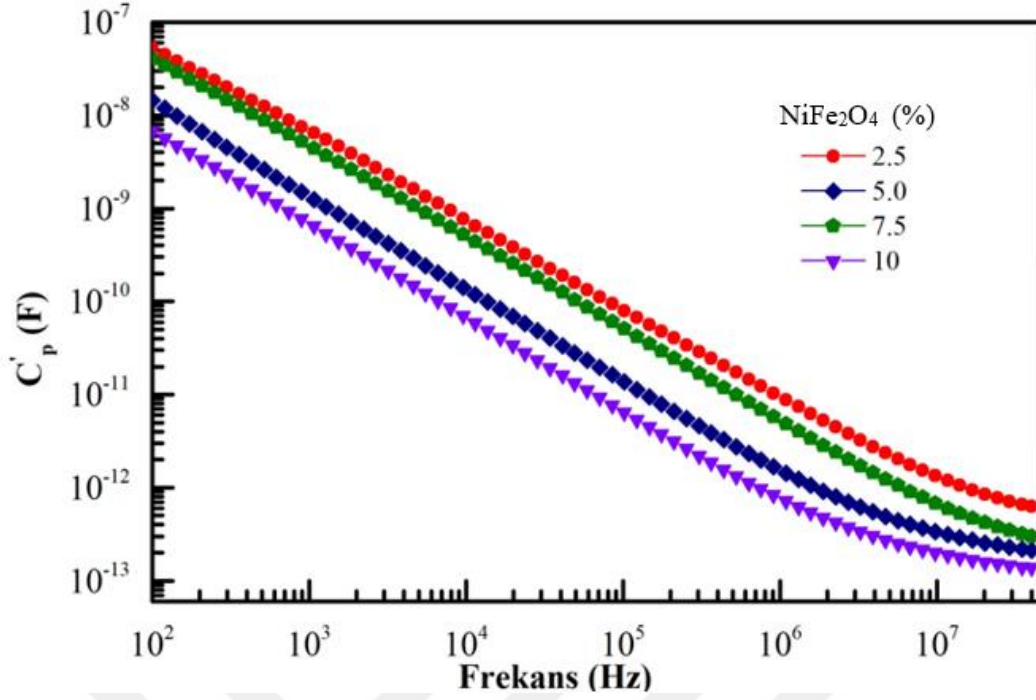
Şekil 4.17’de farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı numunelerin resistans ve reaktansları karşılaştırılarak değişimleri ve Smith Chart diyagram karşılıkları gösterildi.



**Şekil 4.17.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelilerin empedans düzlem çizgileri (a) Cole-Cole diyagramı (b) Smith chart diyagramına uyarlanmış hali (Cole-Cole, 1941; Klotz, 2019; Rhimi vd., 2017; Kumar vd., 2016; Öztürk, 2019)

Katkı oranı artırıldığında tüm örneklerde rezistans ve reaktans değerlerinde artış olduğu görüldü. %2.5 ve 5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojel daha küçük yarım daire çizerken, %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelde ise en büyük yarım dairenin oluşturduğu gözlemlendi. Smith Chart diyagramında ise yine en küçük daireyi %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, en büyük daireyi ise yine %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojele ait olduğu tespit edildi. Numunelerin eş değer devreleri olan RC devreleri yukarıda Şekil 4.17’de gösterildi (Cole-Cole, 1941; Smith, 1939; Tsangaris vd., 1998, Coşkun vd., 2018; Öztürk, 2019).

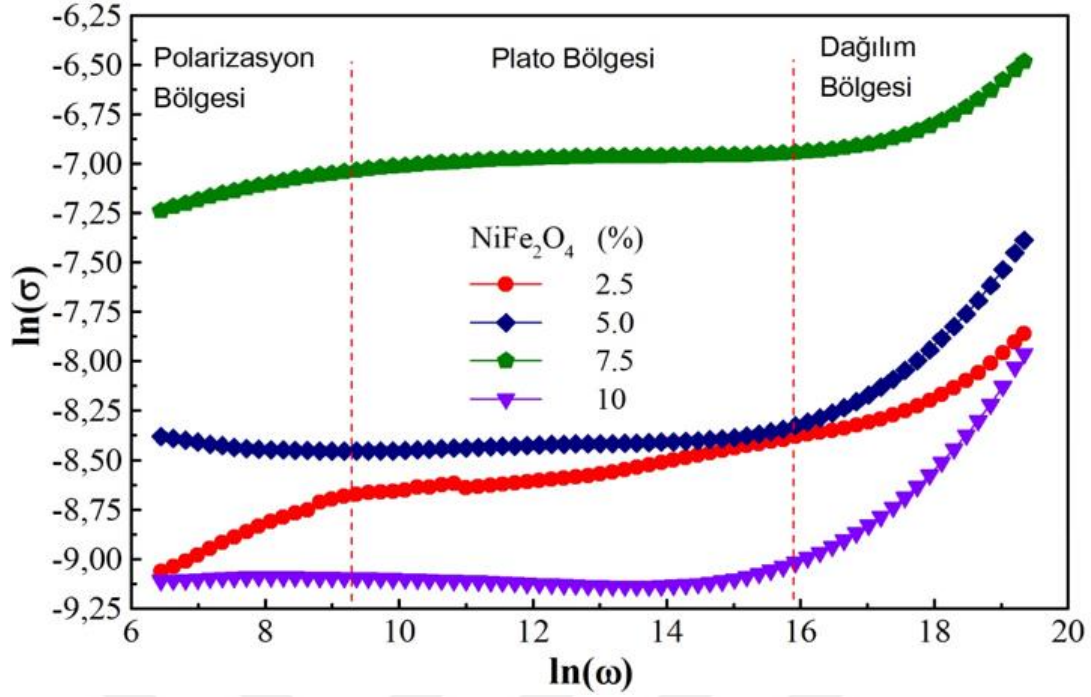
Farklı miktarlardaki NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı kapasitansın frekansla değişimi Şekil 4.18’de verildi.



**Şekil 4.18.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelilerin kapasitansının frekansla değişim grafiği

Kapasitans değerleri düşük frekans aralığında tüm numuneler için yüksek değerler aldığı görüldü. Frekans artışıyla birlikte kapasitans değerlerinde azalma olduğu gözlemlendi. En yüksek kapasitans değeri %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojele ait olduğu, en düşük kapasitans değeri ise %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelde olduğu tespit edildi. Tüm numunelerde hemen hemen doğrusal azalma olduğu saptandı. Enerji depolama özelliğini ifade eden kapasitansın dielektrik sabitinin gerçek kısmı ( $\epsilon'$ ) frekans ile değişim grafiğine benzer davranış gösterdiği gözlemlendi. Düşük frekans bölgesinde yüksek değerler almasının nedeni ara yüzeyinde oluşan elektrot polarizasyonundan kaynaklandığı saptandı. Yüksek frekans bölgesinde ise dielektrik durulma sonucunda tüm numunelerdeki kapasitansın düşük değerler aldığı tespit edildi (Pradhan, vd., 2008; El Khaled vd., 2016; Puranik vd., 1991; Öztürk, 2018, Gray and Armand, 2001, Wang, vd., 2010).

Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojelilerin logaritmik iyonik iletkenliğin frekansla değişimine ait deney sonuçları Şekil 4.19'da verildi.



**Şekil 4.19.** Farklı miktarlarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojenlerin logaritmik iyonik iletkenliğin frekansla değişimi

Numunelerde düşük frekansta; 0-9 aralığı polarizasyon, 9-16 arası orta frekans aralığında plato, 16-20 arası yüksek frekans aralığında ise dağılım bölgesi olarak üç bölgeye ayrılmış olarak gösterildi. Dış elektrik alanın etkisiyle yüklerin yönelimi sonrası oluşan elektrot polarizasyon etkisinin gözlemlendiği bölge polarizasyon bölgesi ve bu bölgede en yüksek logaritmik iyonik iletkenliğe sahip numune %7.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojel olduğu görüldü. Numunelerde artan frekansla en yüksek ve en düşük logaritmik iyonik iletkenliğe sahip %7.5 ve %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojenler olduğu saptandı. Plato bölgesinde ise orta frekans aralığında numunelerde genel olarak logaritmik iyonik iletkenlik değerlerinde önemli bir değişim olmadığı görüldü. Yüksek frekans aralığında logaritmik iyonik iletkenliğin frekansla birlikte asimtotik olarak attığı gözlemlendi. Ara yüzey hareketliliğinin  $ln(\sigma)$  değerlerindeki artışlara sebep olduğu tespit edildi (Öztürk, 2018; Coşkun vd., 2019; El-ghandour vd., 2019).

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında sırasıyla %2.5, %5.0, %7.5 ve %10 miktarlarında NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların hidrojeller içindeki dağılımları, frekans ile dielektrik özelliklerindeki değişimler incelendi. Hidrojeller üç boyutlu çapraz ağ yapıları sayesinde NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> katkılı çözeltiyi içine hapsedmesi ve homojen olarak dağılması amaçlandı. Ayrıca bu çalışmada XRD, SEM, SEM-EDX ve empedans spektroskopisi analiz yöntemleriyle numuneler incelendi.

İlk aşamada hidrojeller sentezlenirken sıvı çözeltiyeye ihtiyaç duymaları nedeniyle yaygın olarak kullanılan metot olan radikalil kopolimerizasyonu tercih edildi. Tezde N, N'-metilenbis akrilamid (MBAAm) bağlayıcı olarak, potasyum peroksodisülfat ve monomer olarak 2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit (AMPS) başlatıcı olarak, itakonik asit (IA) ile poli (AMPS-ko-IA) çapraz bağlı hidrojeller sentezlenerek, çalışmada kullanıldı (Coşkun vd., 2019; Yalçın vd., 2013; Okutan vd., 2015).

Hidrojinin içerisindeki homojen ve heterojenliği, gözenek geometrisini incelemek için taramalı elektron mikroskobu ile analiz yapıldı. Doğadaki malzemelerin büyük bir kısmı kristal yapıda olması ve her mineralin benzersiz d aralık kümesine sahip özellikler sergilemesi sebebiyle numunelerin kristal yapıları hakkında XRD analiz tekniği ile bilgi edinildi. Numunelerin frekans ile dielektrik özelliklerinin değişiminin gözlemlenebilmesi için 100 Hz - 40 MHz frekans aralığında empedans spektroskopisi kullanıldı. Numunelerin geniş frekans aralığında dielektrik ölçümleri yapıldı. Bu ölçümler dielektrik sabitleri,  $\epsilon'(\omega)$ ,  $\epsilon''(\omega)$ ,  $\epsilon^*(\omega)$ , kayıp faktörü  $\tan(\delta)$ , empedans;  $Z'(\omega)$ ,  $Z''(\omega)$ ,  $Z^*(\omega)$ , faz açısı, iyonik iletkenlik ( $\sigma$ ), elektrik modülü;  $M'(\omega)$ ,  $M''(\omega)$ ,  $M^*(\omega)$ , soğurma gibi birçok özelliği incelendi.

Taramalı elektron mikroskobu, hidrojinin içerisindeki homojen, heterojenliği ve gözenek geometrisini incelemek için %2.5, 5.0, 7.5 ve 10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojel örnekleri içinde dağılımları 2  $\mu\text{m}$  ve 200  $\mu\text{m}$  ölçeklendirme boyutunda analiz edildi. Hidrojel içinde NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların katkılandırma miktarı arttıkça, kanal ve boşlukları doldurduğu, ağ yapısının sıklaştığı aynı zamanda yoğunluğun ve pürüzlülüğün

de giderek arttığı tespit edildi (Davis ve White, 1986; Johari ve Bhattacharyya, 1969; Idris ve El-Zahhar, 2019; Mendea, 2016; Okutan vd., 2018).

XRD tekniği ile yapılan incelemelerde, en yüksek pik değerinin (şiddetin) 2,10582 Å, en düşük pik değerinin ise 2,72840 Å açısında (pozisyonunda) yer aldığı saptandı. %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin XRD piklerinin sırasıyla 30°, 35°, 37°, 43,5°, 54°, 57°, 63°, 75° ve 79° derecelere (2θ) karşılık geldiği tespit edildi. Ayrıca bu pik noktalarının sırasıyla (0 2 2), (1 1 3), (2 2 2), (0 0 4), (2 2 4), (1 1 5), (0 4 4), (2 2 6), (4 4 4) 'h k l' düzlemlerini tanımladığı belirlendi. Elde edilen bu verilerden yola çıkarak %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin kristal bir yapıya sahip olduğu sonucuna varıldı. Ayrıca bu malzeminin sahip olduğu pik değerlerindeki pozisyon, derece ve düzlemlerle birlikte değerlendirildiğinde NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların hidrojel kanalları içerisinde homojen olarak dağıldığı tespit edildi.

NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı numunelerde kimyasal bileşimlerin tespiti için EDX incelemeleri yapıldı. %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin EDX görüntüsü ve 5 µm ölçekli SEM görüntüsü bu numunenin EDX analizinde sekiz ayrı pik noktası olduğu görüldü. Bu pik değerlerin NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığı oluşturan kimyasal bileşimlere ait olduğu EDX analizinde tespit edildi. Malzemeyi oluşturan temel bileşenlerin Nikel (Ni), Demir (Fe), Karbon (C) ve Oksijen (O) elementleri olduğu doğrulandı. %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin elementel analizinde en yüksek pik değerinin nikel elementine, en düşük pik değerinin ise demir elementine ait olduğu tespit edildi. Bu durumun tamamen elementlerin X ışınıyla olan etkileşimlerinden farklı olmasından kaynaklandığı sonucuna varıldı. Ayrıca %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojin EDX analizinde malzemeyi oluşturan temel bileşenlerin dışında hiçbir elementin olmadığı saptandı. Bu durum numunenin oldukça saf bir malzeme olduğunu doğrulaması bakımından önemli bulundu (Mendea vd., 2016; Okutan vd., 2018).

%5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojin EDX analizinde %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> numunesinde olduğu gibi yedi ayrı pik noktası olduğu görüldü. Bu pik noktalarının NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığı oluşturan kimyasal bileşimlere ait olduğu fakat farklı elementlerin de var olduğu tespit edildi. EDX analizinden NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacığın temel bileşenleri olan Nikel (Ni), Demir (Fe) ve Oksijen (O) elementlerinin yanı sıra Kükürt (S) ve Karbon (C) elementlerinde varlığı saptandı. Kükürt ve karbon elementinin arayer atomunun

atomik kirlilikten kaynakladığı sonucuna varıldı. %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojin EDX analizinde en yüksek pik değerinin nikel, en küçük pik değerinde demir elementine ait olduğu tespit edildi. Bu durumun %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojeldeki en yüksek ve en düşük pik değerleriyle uyumlu olması ölçümlerin sağlıklı olduğu gösterdi. %5.0 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojin EDX analizinde tespit edilen arayer atomu yani atomik kirliliklerin varlığı, bu numunenin %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojele kıyasla daha az saflıkta olduğunu sonucunu vermesi bakımından önemli bulundu (Okutan vd., 2018; Mendea vd., 2016; Watanabe ve Egerton, 2018).

Numunelerin frekans ile dielektrik özelliklerinin değişimi için 100 Hz - 40 MHz frekans aralığındam empedans spektroskopisi analizi ile malzemenin geniş frekans aralığında dielektrik ölçümleri yapıldı. Dielektrik sabitleri,  $\epsilon'(\omega)$ ,  $\epsilon''(\omega)$ ,  $\epsilon^*(\omega)$ , kayıp faktörü  $\tan(\delta)$ , empedans;  $Z'(\omega)$ ,  $Z''(\omega)$ ,  $Z^*(\omega)$ , faz açısı, iyonik iletkenlik ( $\sigma$ ), elektrik modülü;  $M'(\omega)$ ,  $M''(\omega)$ ,  $M^*(\omega)$ , soğurma gibi birçok özelliği incelendi.

Dielektrik sabitinin gerçek bileşeninin düşük frekanslarda yüksek değerler almasının sebebi, dış elektrik alan uygulandığında yüklerin yer değiştirerek kutuplanması ve ara yüzeyde meydana gelen elektrot polarizasyonundan kaynaklandığı saptandı. Yüksek frekansta ise periyodik dış çevirim hızı, elektrik alan etkisinde dipol yöneliminin ve ara yüzeyde oluşan serbet yük yoğunluğunda azalma gözlemlendi.  $\epsilon'(\omega)$  dielektrik malzemenin enerji depolayabilme kabiliyetini gösterdiği tespit edildi (Wu vd., 2018; Sekrafi vd., 2019; Abushad vd., 2019; El-ghandour vd., 2019; Das vd., 2019; Yeh vd., 2005).

Frekans arttıkça nanoparçacık yüklü numunelerde dielektrik sanal bileşen değerinde giderek azalma olduğu tespit edildi. Bunun sebebi ise elektrik alan uygulandığında düşük frekanslarda ara yüzeyde oluşan elektrot polarizasyon olduğu saptandı. Örneklerin bu bölgede dielektrik sabitinin sanal bileşeninin yüksek değerler almasının sebebi olarak dielektrik durulmaya engel olan iletkenlik katsayısı olduğu tespit edildi (Wu vd., 2018; Sekrafi vd., 2019; Abushad vd., 2019; El-ghandour vd., 2019; Kumar vd., 2016; Yeh vd., 2005).

Faz açısının frekansla değişiminin farklı dielektrik mekanizmalar etkisinde kalmasından kaynaklandığı tespit edildi. Düşük frekans bölgesinde elektrot polarizasyonunun dielektrik mekanizmayı etkisinde faz açısının yükseldiği, frekans yükseldikçe başka bir dielektrik mekanizma olan dipol polarizasyon ve dielektrik durulmanın yerini aldığı görüldü.

$\delta=90-\varphi$  ve  $\tan \delta$  bir değerinden büyük olduğu tanjant faktörü ile uyumlu gösterdiği, dielektrik malzemenin iletiminde Ohm kanuna uygun olduğu tespit edildi (Paul vd., 2016; Pospisil vd., 2019; El-ghandour vd., 2019; Kumar vd., 2016).

Düşük frekans aralığında iyonik iletkenliğin ara yüzeyde oluşan empedans, serbest yük polarizasyonu etkisi nedeniyle düşük değerlere sahip olduğu görüldü. Frekans arttıkça yüksek frekans aralığına geçen numunelerde ara yüzey empedansı ve serbest yük polarizasyonunun etkisinin giderek azaldığı belirlendi. Bu sebeple yüksek frekans aralığında hidrojel kanallarında  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkların hareket etme kabiliyetlerinin arttığı tespit edildi (Musfir vd., 2019; Tsonos, 2019; El-ghandour vd., 2019).

Değişen dalga boylarında farklı miktarlardaki  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık yüklü hidrojellerde soğurmanın tüm numunelerde artan dalga boyuyla giderek azaldığı ve  $6 \times 10^2$  nm üzeri dalga boylarında ise dalga boyundan bağımsız davrandığı gözlemlendi. Tüm numuneler için soğurma spektrumunun 354 nm civarında en yüksek değerlere sahip olduğu belirlendi. Bu yüksek değerlerin  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  NPs yüklü hidrojellerin dipolar salınımları ve dört kutuplu innervasyonlarının bir sonucu olduğu tespit edildi. Dalga boyunun düşük olduğu bölgede en küçük ve en yüksek absorpsiyon değerlerinin sırasıyla kütlice %10 ve %5.0  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  NPs yüklü hidrojellere ait olduğu saptandı. Ayrıca  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  NPs gibi küçük parçacıkların farklı soğurma değerlerinin bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları, şekilleri, büyüklükleri ve dielektrik ortamları ile ilişkili olduğu sonucuna varıldı (Tauc, 1968; Jain vd., 2006; Bhaumik vd., 2019; Green vd., 2018; Jiang vd., 2011; Mir vd., 2014; Sheha vd., 2012, Tauc, 1973).

Farklı miktarlarda  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık yüklü hidrojellerin direk bant aralığının (enerji bant aralığı) dalga boyuyla olan değişimi; optik bant aralığı Tauc yasası kullanılarak absorpsiyon spektrumlarının dalga boyu ile değişimleri elde edildi. Yüklü numuneler için optik bant aralığının büyüklüğünün hidrojeller ağındaki  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  NPs'lerin derişimine

bağlı olduğu tespit edildi.  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık yüklü hidrojellerin enerji bant boşluğundaki azalmalarının kuantum etkileşimler ve nano skaladaki NPs elektronlarının Fermi-Dirac dağılımından kaynaklandığı düşünüldü. Optik bant değişimdeki sınırlandırılmış bir kuyruğunun yokluğu, yasak boşlukta optik geçişler sağlayan enerji fotonlarının yüksek olmasından kaynaklandığı belirlendi. Ayrıca bu kuyruğun yokluğu yasak enerji aralığındaki elektronların mükemmel şekilde iletimi ile ilgili olduğu saptandı. Bu sonuçlardan NPs 'lerin hidrojel kanalları için homojen olarak dağıldığı ve neredeyse mükemmel bir yapıya sahip olduğu sonucuna varıldı (Tauc, 1968; Bhaumik vd., 2019; Green vd., 2018; Jiang vd., 2011; Jain vd., 2006; Sheha vd., 2012; Tauc, 1973).

Düşük frekans bölgesinde  $Z'$  kompleks empedansın gerçek bileşeninin yüksek değerler almasının nedeni harici elektrik alanının etkisinde kalarak yüklerin yönelimi sonrasında polarizasyonunun oluşması ve ara yüzeyde elektrot polarizasyonunun meydana gelmesinden kaynaklandığı belirlendi. Kompleks empedansın gerçek bileşeni  $10^5$  Hz'e kadar sabit değerler almasının nedeni ise ara yüzey polarizasyonundan olduğu tespit edildi (Oumezzine vd., 2017; Gajula vd., 2019; El-ghandour vd., 2019).

Düşük frekans bölgesinde IZI yüksek değerler almasının nedeni dış ortamdan uygulanan elektrik alanının etkisinde kalan yüklerin yönelimi sonrasında polarizasyonun meydana gelmesi ve ara yüzeyde oluşan elektrot polarizasyonundan kaynaklandığı saptandı. Yüksek frekans aralığında ise yüklü hidrojel numunelerinin empedans değerlerinin yüzey etkenlerinin etkisinde olduğu tespit edildi (Gajula vd., 2019; Oumezzine vd., 2017; El-ghandour vd., 2019).

$IMI(\omega)$  yüksek değerler aldığı belirlendi. En yüksek ve en düşük mutlak elektrik modülü değeri kütlece %2.5 ve %7.5  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık katkılı hidrojele ait olduğu saptandı. Yüksek frekansta dielektrik durulmanın meydana gelmesi nedeniyle tepe değerlerinin oluştuğu gözlemlendi (Hazarika ve Kumar, 2014; (Kaya vd., 2014; Dult vd., 2015; Kumar vd., 2016; El-ghandour vd., 2019).

Katkı oranı artırıldığında tüm örneklerde rezistans ve reaktans değerlerinde artış olduğu görüldü. Kütlece %2.5 ve %5.0  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık katkılı hidrojeller daha küçük yarım daire çizerken, %10  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacık katkılı hidrojelde ise en büyük yarım daireyi oluşturduğu gözlemlendi. Smith Chart diyagramında ise en küçük daireyi kütlece

%2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, en büyük daireyi ise %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelere ait olduğu tespit edildi. Numunelerin eş değer devreleri olan RC devreleri elde edildi (Cole-Cole, 1941; Smith, 1939; Tsangaris vd., 1998, Coşkun vd., 2018).

Farklı miktarlardaki NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı kapasitansın frekansla değişimi incelendi. Kapasitans değerleri düşük frekans aralığında tüm numuneler için yüksek değerler aldığı görüldü. Frekans artışıyla birlikte kapasitans değerlerinde azalma olduğu gözlemlendi. En yüksek kapasitans değerine kütlece %2.5 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık yüklü hidrojele ait olduğu, en düşük kapasitans değeri ise kütlece %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelde olduğu tespit edildi. Tüm numunelerde hemen hemen doğrusal azalma olduğu saptandı. Enerji depolama özelliğini ifade eden kapasitansın dielektrik sabitinin gerçek kısmı ( $\epsilon'$ ) frekans ile değişim grafiğine benzer davranış gösterdiği gözlemlendi. Düşük frekans bölgesinde yüksek değerler almasının nedeni ara yüzeyinde oluşan elektrot polarizasyonu olduğu görüldü. Yüksek frekans bölgesinde ise dielektrik durulma sonucunda tüm numunelerdeki kapasitansın düşük değerler aldığı tespit edildi (Pradhan, vd., 2008; El Khaled vd., 2016; Puranik vd., 1991; Öztürk, 2018, Gray and Armand, 2001, Wang, vd., 2010).

Numunelerde artan frekansla en yüksek ve en düşük logaritmik iyonik iletkenliğe sahip kütlece %7.5 ve %10 NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı hidrojelere olduğu saptandı. Plato bölgesinde ise orta frekans aralığında numunelerde genel olarak logaritmik iyonik iletkenlik değerlerinde önemli bir değişim olmadığı görüldü. Yüksek frekans aralığında logaritmik iyonik iletkenliğin frekansla birlikte asimtotik olarak attığı gözlemlendi. Yüksek ara yüzey hareketliliğinin  $\ln(\sigma)$  değerlerindeki artışlara sebep olduğu tespit edildi (Öztürk, 2018; Coşkun vd., 2019; El-ghandour vd., 2019).

Hidrojel, sensör, biyosensör, optoelektronik, süper kapasitör, foto-elektronik, elektrik güç sistemleri, iyontronik davranış gösteren aygıtlar mikro-elektronik devreler, bilgi iletimi ve haberleşme (transmisyon), bilgi depolama, askeri güvenlik teknolojileri, ilaç dağıtım sistemleri, yapay organ, doku yenileme ve sıvı kristal teknolojilerinde kullanılabileceği görüldü.

## KAYNAKLAR

Abdelhalim, M.A.K., Mady, M.M. and Ghannam, M.M., “Dielectric constant, electrical conductivity and relaxation time measurements of different gold nanoparticle sizes”, *Academic Journals* 6 (23), 5487-5492, 2011.

Abdelwahab, L.A., Ali, A.E.H., Zaghlool, R.A. and Mohsen, N.A., “Dielectric properties, Impedance Analysis, and Electrical Conductivity of Ag Doped Radiation Grafted Polypropylene”, *Egypt. J. Rad. Sci. Applic.* 30 (1), 95-107, 2017.

Abushad, M., Khan W., Naseem S., Husain, S., Nadeem, M. and Ansari A., “Influence of Mn doping on microstructure, optical, dielectric and magnetic properties of BiFeO<sub>3</sub> nanoceramics synthesized via sol–gel method”, *Ceramics International* 45, 7437-7445, 2019.

Ahmad, M.P., Rao, A.V., Babu, K.S. and Rao, G.N., “Particle size effect on the dielectric properties of ZnO nanoparticles”, *Materials Chemistry and Physics* 224, 79-84, 2019.

Ahmed, E.M., “Hydrogel: Preparation, characterization and applications: A review”, *Journal of Advanced Research* 6, 105-121, 2015.

Alkoç, A., Özçalışkan, C. ve Gürsoy, M.O., “Antenler ve Mikrodalga Tekniği Dersi Araştırma Raporu”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, <https://docplayer.biz.tr/52672031-Emu-447-antenler-ve-mikrodalga-teknigi-dersi-arastirma-raporu.html>, 2002.

Ay, O., “Taramalı Elektron Mikroskobu”, <http://www.kuark.org/2017/04/taramali-elektron-mikroskobu-sem-eds-analizi>, 2017.

Bhaumik, M., Maity, A., Mahule, T.S. and Srinivasu, V.V., “Low field microwave absorption in iron nanoparticles embedded polyaniline nanofibers composite”, *Synthetic Metals* 249, 63-68, 2019.

Butkewitsch, S. and Scheinbeim, J., “Dielectric properties of a hydrated sulfonated poly (styrene–ethylene/butylenes–styrene) triblock copolymer”, *Applied Surface Science* 252, 8277–8286, 2006.

Callister, W. D., “Materials Science and Engineering”, *John Wiley & Sons Inc.* 2007.

Capaccioli, S., Lucchesi, M., Rolla, P. A. and Ruggeri, G., “Dielectric response analysis of a conducting polymer dominated by the hopping charge transport”, *J. Phys, Condens. Matter* 10, 5595–5617, 1998.

Carr, J.J., Practical Radio Frequency Test and Measurement, *Newnes*, USA, 2002.

Chander, N., Khan, A. F., Thouti, E., Sardana, S. K., Chandrasekhar, P. S., Dutta, V. and Komarala, V. K., “Size and concentration effects of gold nanoparticles on optical and electrical properties of plasmonic dye sensitized solar cells”, *Solar Energy* 109, 11–23, 2014.

Cole, K.S. and Cole R. H., “Dispersion and Absorption in Dielectrics I. Alternating Current Characteristics,” *J. Chem. Phys.* 9, 341,1941.

Coşkun, R., Okutan, M., Öztürk, M. and Yalçın, O., “Origin of the synthetic circuits and comparison effects of different dose malachite green oxalate doped hydrogel”, *Materials Chemistry and Physics* 222, 361–368, 2019.

Dai, Z.H., Li T., Gao, Y., Xu, J., He J., Weng Y. and Guo B.H., “Achieving high dielectric permittivity, high breakdown strength and high efficiency by cross-linking of poly(vinylidene fluoride)/BaTiO<sub>3</sub> nanocomposites”, *Composites Science and Technology* 160, 142-150, 2019.

Dalbauer, V., Kolozsvári, S., Ramm, J., Koller, C.M. and Mayrhofer, P.H., “In-situ XRD studies of arc evaporated Al-Cr-O coatings during oxidation”, *Surface and Coatings Technology* 58, 934-94, 2019.

Das, M., Akbar, A. and Sarkar, D., “Investigation on dielectric properties of polyaniline (PANI) sulphonic acid (SA) composites prepared by interfacial polymerization”, *Synthetic Metals* 249, 69-80, 2019.

Dhaouadi, H., Ghodbane, O., Hosni, F. and Touati, F., “Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Dielectric Properties”, *ISRN Spectroscopy*, 2012.

Davis, M.R., White, A. and Deegan, D., “Scanning electron microscopy of coal macerals”, *Fuel, Elsevier*, 1986.

Debye, P., *Polar Molecules*, **Dover Publications Inc.** Reinhold Publishing Corporation, Almany, 1929.

Deryal, A., “Montmorillonitçe Zengin Bentonitlerde Sıcaklık, Basınç ve Parçacık Büyüklüğünün Dielektrik Özelliklere ve Aktivasyon Enerjilerine Etkisi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. 1-3, 2011.

Deryal, A., “Montmorillonitçe Zengin Bentonitlerde Sıcaklık, Basınç ve Parçacık Büyüklüğünün Dielektrik Özelliklere ve Aktivasyon Enerjilerine Etkisi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. 27-28, 2011.

Dult, M., Kundu, R.S., Hooda J., Murugavel S., Punia R. and Kishore N., “Temperature and frequency dependent conductivity and electric modulus formulation of manganese modified bismuth silicate glasses”, *Journal of Non-Crystalline Solids* 423-424, 1-8, 2015.

Dutrow, B.L. and Clark, C.M., “X-ray Powder Diffraction (XRD)” [https://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheet/techniques/XRD.html](https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheet/techniques/XRD.html), 2019.

Edward, J. T., “Molecular volumes and the Stokes-Einstein equation”, *J. Chem. Educ.* 47, 261-70, 1970.

El-ghandour A., El-Ghamaz N.A., El-Nahass M.M. and Zeyada H.M., “Temperature and frequency dependence outline of DC electrical conductivity, dielectric constants, and AC electrical conductivity in nanostructured TIInS<sub>2</sub> thin films”, *Physica E* 105,13-18, 2019.

El Khaled, D., Castellano, N. N., Gázquez, J. A., Perea-Moreno, A. J. and Manzano-Agugliaro, F., “Dielectric Spectroscopy in Biomaterials: Agrophysics”, *Materials* 9 (5), 310–336, 2016.

Elwakil, A.S. and Maundy, B., “Extracting the Cole-Cole impedance model parameters without direct impedance measurement,” *Electronics Letters* 46, 1367,2010.

Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX),  
<http://www.intertek.com/analysis/microscopy/edx>, 2019.

Erdin, N., “Taramalı elektron Mikroskobunun Temel Prensipleri ve Numune Hazırlama”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 36 (2), B, 1986.

Gajula, G.R., Buddiga, L.R. and Vattikunta N., “The Effect of Sm and Nb on Impedance Spectroscopy and High Frequency Modulus, Complex Modulus, Conductivity Studies of BaTiO<sub>3</sub>-Li<sub>0.5</sub>Fe<sub>2.5</sub>O<sub>4</sub> Ceramics”, *Materials Chemistry and Physics* 230, 331-336, 2019.

Ghavidelaghdam, E., Shahverdizadeh, G. H., Tabatabai, J.M. and Mirtamizdoust, B., “Ultrasonic-assisted synthesis of nano lead(II) coordination polymer as precursors for preparation of lead(II) oxide nano-structures: Thermal,optical properties and XRD studies”, *Ultrasonics – Sonochemistry* 42, 155-161, 2018.

Gray, F.M. and Armand, M., “Energy Storage Systems for Electronics”, Osaka, T. and Datta, M., *Gordon and Breach Science Publications*, Amsterdam, 2001.

Green, M., Tian L., Xiang P., Murowchick, J., Tan, X. and Chen, X., “Co<sub>2</sub>P nanoparticles for microwave absorption”, *Materials Today Nano* 1, 1-7, 2018.

Guo, Y., Bae, J., Zhao, F. and Yu, Guihua, “Functional Hydrogels for Next-Generation Batteries and Supercapacitors”, *Trends in Chemistry* 1, 335-348, 2019.

Gouda, O.E. and Haiba, A.S., “Measurements of dielectric properties of High Density Polyethylene-Nano-Composites”, *Measurement* 134, 624-633, 2019.

Hazarika, J. and Kumar, A., “Electric modulus based relaxation dynamics and ac conductivity scaling of polypyrrole nanotubes”, *Synthetic Metals* 198,239-247, 2014.

Ibbotson, L., The Fundamentals of Signal Transmission, *Butter Worth Heinemann*, London, 1999.

Idris, A.M. and El-Zahhar, A.A., “Indicative properties measurements by SEM, SEM-EDX and XRD for initial homogeneity tests of new certified reference materials”, *Microchemical Journal* 146, 429-433, 2019.

Jain, P. K., Lee, K. S., El-Sayed, I. H. and El-Sayed, M. A., “Calculated absorption and scattering properties of gold nanoparticles of different size, shape, and composition: applications in biological imaging and biomedicine”, *J. Phys. Chem. B.* 110(14), 7238–7248, 2006.

Jayoti, D., Malik, P. and Prasad, S. K., “Effect of ZnO nanoparticles on the morphology, dielectric, electro-optic and photo luminescence properties of a confined ferroelectric liquid crystal material”, *Journal of Molecular Liquids* 250, 381-387, 2018.

Jiang, C., Ouattara, L., Ingrosso C., Curri, M.L., Krozer V., Boisen, A., Jakobsen, M.H and Johansen, T.K., “Microwave absorption properties of gold nanoparticle doped polymers”, *Solid-State Electronics* 57, 19-22, 2011.

Johari, O. and Bhattacharyya, S., The application of scanning electron microscopy for the characterization of powders, Fan, L.S. *Powder Technology*, 1969.

Jonscher, A. K., “The universal dielectric response”, *Nature* 267, 673–679, 1977.

Jonscher, A. K., “Universal dielectric response: a review of data and their new interpretation”, *Physics of Thin Films: Advances in Research and Development* 11,205–317, 1980.

Kaur, S., Kumar, A., Sharma, A.L. and Singh, D.P., “Dielectric and energy storage behavior of  $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$  nanoparticles for capacitor application”, *Ceramics International* 45, 7743-7747, 2019.

Kaya, A., Vural Ö., Tecimer, H., Demirezen S. and Altındal Ş., “Frequency and voltage dependence of dielectric properties and electric modulus in Au/PVC + TCNQ/p-Si structure at room temperature”, *Current Applied Physics* 14, 322-330, 2014.

Klotz, D., “Negative capacitance or inductive loop – A general assessment of a common low frequency impedance feature”, *Electrochemistry Communications* 98, 58-62, 2019.

Kumar, N.S.K., Shahid, T.S. and Govindaraj, G., “Analysis of conductivity and dielectric spectra of  $\text{Mn}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  with coupled Cole–Cole type anomalous relaxations”, *Physica B* 488, 99-107, 2016.

Lasia, A., *Electrochemical Impedance Spectroscopy and Its Applications, Modern Aspects of Electrochemistry*, B. E. Conway, J. Bockris, and R.E. White, Edts., *Kluwer Academic/Plenum Publishers*, New York, 1999.

Li, Y., Zhang, D., Wang, S., Zhana, Y., Yin, J., Tao X., Ge X., Tjong S.C., Liu, H.Y. and Mai Y. W., “ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  decorated graphene/poly(vinylidene fluoride) nanocomposites with high dielectric constant and low dielectric loss”, *Composites Science and Technology* 17, 152-161, 2019.

Liang, G., Zheng, L., Zhu, N. and Gu, A., 1<sup>st</sup>, *Dielectric Polymer Materials for High-Density Energy Storage*, Zhi-Min Dang, *William Andrew*, Norwich, 2018.

Liu, Y., Cherkasov, N., Gao P., Fernández, J., Lees M.R. and Rebrov E.V., “The enhancement of direct amide synthesis reaction rate over  $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2@\text{NiFe}_2\text{O}_4$  magnetic catalysts in the continuous flow under radio frequency heating”, *Journal of Catalysis* 355, 120-130, 2017.

Lu, X., Shen, J., Zhang, L., Xu, Z. and Cheng Z.Y., “Dielectric property and ac conductivity of P(VDF-CTFE)-PLZST polymer ceramic composite films”, *Ceramics International* 45, 8979-8987, 2019.

Ma, J., Azhar, U., Zong, C., Zhang, Y., Xu., A., Zhai, C., Zhang, L. and Zhang, S., “Core-shell structured PVDF@BT nanoparticles for dielectric materials: A novel composite to prove the dependence of dielectric properties on ferroelectric shell”, *Materials and Design* 164, 107556, 2019.

Mančić, D., Petrušić, Z., Radmanović, M. and Živković, L., “Application of Impedance Spectroscopy for Electrical Characterization of Ceramics Materials”, *Electronics* 13, 1, 2009.

Mantas P. Q., “Dielectric Response of Materials: Extension to the Debye Model”, *Journal of the European Ceramic Society* 19(12), 2079-2086, 1999.

Mendea, M., Schwarz, D., Steinbacha, C., Boldt, R. and Schwarz, S., “Simultaneous adsorption of heavy metal ions and anions from aqueous solutions on chitosan— Investigated by spectrophotometry and SEM-EDX analysis”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 510, 275-282, 2016.

Mir, F. A., Rehman, S., Asokan, K., Khan, S. H. and Bhat, G. M., “Optical, DC and AC electrical investigations of 4-hydroxy coumarin molecule as an organic Schottky diode”, *J Mater Sci: Mater Electron* 25, 1258–1263, 2014.

Musfir, P.N., Mathew, S., Nampoory, V.P. N and Thomas, S., “Investigations on Frequency and Temperature dependence of AC conductivity and dielectric parameters in  $\text{Ge}_{20}\text{Ga}_5\text{Sb}_{10}\text{S}_{65}$  quaternary Chalcogenide glass”, *Optik* 182, 1244-1251, 2019.

Nafees, A., Kalita, G. and Sinha, A., “Effect of titanium dioxide nanoparticles on the dielectric and electrooptical properties of bent-core liquid crystals”, *Journal of Molecular Liquids* 274, 592-597, 2019.

Nalwa, H., Handbook of Low and High Dielectric Constant Materials and Their Applications, *Academic Press*, London, 1999.

Nimith, K.M., Sterin, N.S., Das P.P., Umesh, G. and Satyanarayan, M.N., “Capacitance and impedance spectroscopy studies of polymer light emitting diodes based on MEH-PPV:BT blends”, *Synthetic Metals* 250, 99-103, 2019.

Okutan, M., Coşkun, R., Öztürk, M., Özşucu, C. and Yalçın, O., “Optic and Dielectric Properties of Different Amount NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Loaded Hydrogels: Synthetic Circuits Applications”, *ECS Journal of Solid State Science and Technology* 7 (8), N101–N109, 2018.

Oumezzine, E., Hcini, S., Rhouma F.I.H., and Oumezzine, M., “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”, *Journal of Alloys and Compounds* 726, 187-194, 2017.

Owen, T., Fundamentals of UV-visible Spectroscopy, *Hewlett-Packard Company*, Almany, 1996.

Öztürk, M., “Bazı Metal ve Boya İyonları Katkılı Hidrojellerin Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 8-11, 2018.

Öztürk, M., “Bazı Metal ve Boya İyonları Katkılı Hidrojellerin Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 17-22, 2018.

Öztürk, M., “Bazı Metal ve Boya İyonları Katkılı Hidrojellerin Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 22-26, 2018.

Paul, T., Banerjee D. and Kargupta, K., “Data for phase angle shift with frequency”, *Data in Brief* 7, 1389-1392, 2016.

Pei, D., Li, Y. and Cang, D., “In situ XRD study on sintering mechanism of SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MgO ceramics from red mud”, *Materials Letters* 240, 229-232, 2019.

Poole, V. and Darwazeh, I., *The Smith Chart Microwave Active Circuit Analysis and Design*, *Academic Press*, Massachusetts, 2016.

Pospíšil, L., Hromadová M., Sokolová R. and Lanza C., “Kinetics of radical dimerization. Simple evaluation of rate constant from convolution voltammetry and faradaic phase angle data”, *Electrochimica Acta* 300, 284-289, 2019.

Pradhan, D. K., Choudhary, R. N. P. and Samantaray, B. K., “Studies of Dielectric Relaxation and AC Conductivity Behavior of Plasticized Polymer Nanocomposite Electrolytes”, *International Journal of Electrochemical Science* 3, 597–608, 2008.

Praharaj, S. and Rout, D., “Electrical conductivity and modulus study of 0.76Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>-0.2SrTiO<sub>3</sub>-0.04BaTiO<sub>3</sub> ceramic: A near morphotropic phase boundary composition”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 127, 52-59, 2019.

Purohit, V. and Choudhary, R.N.P., “Structural, dielectric and impedance properties of lead-free Bi(Sr<sub>0.5</sub>Ti<sub>0.5</sub>)O<sub>3</sub> ceramic”, *Materials Science & Engineering B* 243, 30-37, 2019.

Puranik, S.M., Kumbharkhane, A.C. and Mehrotra, S.C., “Dielectric relaxation spectra for N,N-Dimethylacetamide-water mixures using picosecond time domain reflectometry”, *Journal of Molecular Liquids* 50, 143-153, 1991.

Roy, H.S., Islam, M.M., Mollah, M.Y.A. and Susan M.A.B.H., “Polyaniline-NiO Nanocomposites as Dielectric Materials”, *Science Direct* 5, 15267-15276, 2018.

Rhimi T., Toumi M., Khirouni K. and Guermazi S., “AC conductivity, electric modulus analysis of  $\text{KLi}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  compound”, *Journal of Alloys and Compounds* 714, 546-552, 2017.

Sekrafi, H.E., Kharrat, A. B. J., Wederni, M.A., Khirouni, K., Chniba-Boudjada, N. and Boujelben, W., “Structural, electrical, dielectric properties and conduction mechanism of solgel prepared  $\text{Pr}_{0.75}\text{Bi}_{0.05}\text{Sr}_{0.1}\text{Ba}_{0.1}\text{Mn}_{0.98}\text{Ti}_{0.02}\text{O}_3$  compound”, *Materials Research Bulletin* 111, 329-337, 2019.

Sheha, E., Khoder, H., Shanap, T. S., El-Shaarawy, M. G. and El Mansy, M. K. “Structure, dielectric and optical properties of p-type (PVA/CuI) nanocomposite polymer electrolyte for photovoltaic cells”, *Optik* 123, 1161–1166, 2012.

Silva, E.D., High Frequency and Microwave Engineering, *Butter Worth Heinemann*, London, 2001.

Smith, P. H., “Transmission line calculator”, *Electronics* 12, 29–31, 1939.

Stetsyshyn, Y., Kamil Awsiuk, K., Kusnezh, V., Raczkowska J., Jany, B.R., Kostruba, A., Harhay, K., Ohar, H., Lishchynskyi, O., Shymborska, Y., Kryvenchuk, Y., Krok F. and Budkowski A., “Shape-Controlled synthesis of silver nanoparticles in temperature-responsive grafted polymer brushes for optical applications”, *Applied Surface Science* 463, 1124-1133, 2019.

Tauc, J., “Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si”, *Materials Research Bulletin* 3, 37–46, 1968.

Tauc, J.,” Amorphous Semiconductors”, Brodsky, M. H., *Plenum Press*, New York, 1973.

Tanabe, K., “Optical radiation efficiencies of metal nanoparticles for optoelectronic applications”, *Materials Letters* 61, 4573–4575, 2007.

Temple, T. L., Mahanama, G. D. K., Reehal, H. S. and Bagnall, D. M., “Influence of localized surface plasmon excitation in silver nanoparticles on the performance of silicon solar cells”, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 93, 1978-1985, 2009.

Tiwari, A. K., “Smith Chart and its Applications”, *International Journal of Electronic and Electrical Engineering* 4, 75–94, 2011.

Touloukian, Y.S., “Thermal Expansion of Nonmetallic Solids”, Thermophysical Properties of Matter, <https://wiki.anton-paar.com/en/x-ray-diffraction-xrd/#introduction-xray-diffraction-xrd>, 1977.

Tsangaris, G. M., Psarras, G. C. and Kouloumbi, N., “Electric modulus and interfacial polarization in composite polymeric systems”, *Journal of Materials Science* 33, 2027–2037, 1998.

Tsonos, C., “Comments on frequency dependent AC conductivity in polymeric materials at low frequency regime”, *Current Applied Physics* 19, 491–497, 2019.

Wang, Y., Zhou, X., Chen, Q., Chu, B. and Zhang, Q., “Recent Development of High Energy Density Polymers for dielectric capacitors”, *IEEE Trans Dielectr. Electr. Insul.* 17,1036–1042, 2010.

Watanabe, M. and Egerton, R.F., “Characterization of single-atom catalysts by EELS and EDX spectroscopy”, *Ultramicroscopy* 193, 111-117, 2018.

Wu, M., Zhang Y., Chen J. and Xiang, M., “Microwave dielectric properties of sol-gel derived NiZrNb<sub>2</sub>O<sub>8</sub> ceramics”, *Journal of Alloys and Compounds* 747, 394-400, 2018.

X-Ray Diffraction: “Equipment and Methods Clay Minerals”, *Trishna B*, <http://www.soilmanagementindia.com/soil-mineralogy-2/clay-minerals/x-radiffraction-equipment-and-methods-clay-minerals-soil/13284>, 2019.

Xie, X., Yang, C., Qi X.D., Yang H.J., Zhou, Z.W. and Wang Y., “Constructing polymeric interlayer with dual effects toward high dielectric constant and low dielectric loss”, *Chemical Engineering Journal* 366, 378-389, 2019.

Yadav, G., Kumar, M., Srivastava, A. and Manohar R., “SiO<sub>2</sub> nanoparticles doped nematic liquid crystal system: An experimental investigation on optical and dielectric properties”, *Chinese Journal of Physics* 57, 82-89, 2019.

Yeh, Y.S., Lue, J.T. and Zheng Z.R., “Measurement of the Dielectric Constants of Metallic Nanoparticles Embedded in a Paraffin Rod at Microwave Frequencies”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 53(5), 1756-1760, 2005.

Zengin, S., “Farklı montmorillonit kil numunelerinin dielektrik özellikleri üzerine nemin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. 11–34, 2007.

Zhang, C., Xiaofei W., Wang Z., Yan H., Li H. and Li L., “Dielectric relaxation, electric modulus and ac conductivity of Mn-doped YFeO<sub>3</sub>”, *Ceramics International* 42, 19461-19465, 2016.

Zhou, W., Apkarian, R.P., Wang, Z.L. and Joy, D., Fundamentals of Scanning Electron Microscopy for Nanotechnology, Weilie Zhou, Zhong Lin Wang, *Springer*, New York, 2007.

## ÖZ GEÇMİŞ

Canan ÖZSUCU, 1986 tarihinde Merzifon'da dünyaya geldi. İlk, orta ve lise öğrenimini Merzifon'da tamamladıktan sonra 2004 yılında başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektronik Haberleşme bölümünü 2006 yılında birincilikle bitirdi. 2008 yılında Türk Telekom A.Ş'de iş hayatına başladı. 2010 yılında kazandığı Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümünü 2014 yılında onur öğrencisi olarak tamamladı. 2015 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü'nde yüksek lisans'a başladı. Elektrik ve elektronik mühendisliğinde kullanılan malzemeler ve uygulama alanları üzerine araştırmaları sürdürmekte olup, Türk Telekom A.Ş'de Enerji Sistemleri Mühendisi olarak iş hayatına devam etmektedir.

## TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından 1 (bir) adet uluslararası makale üretilmiştir.

Okutan, M., Coşkun, R., Öztürk, M., Özşucu, C., and Yalçın, O., “Optic and Dielectric Properties of Different Amount NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Loaded Hydrogels: Synthetic Circuits Applications”, *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 7(8), N101-N109, 2018.



