



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

AYÇİÇEĞİ ÇEKİRDEĞİ, BEZELYE, DOMATES KABUĞU VE KARALAHANA  
ÖZÜ KATKILI HİDROJELLERİN DİELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ

CUMALİ TOKER

Aralık 2020



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

AYÇİÇEĞİ ÇEKİRDEĞİ, BEZELYE, DOMATES KABUĞU VE KARALAHANA  
ÖZÜ KATKILI HİDROJELLERİN DİELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ

CUMALİ TOKER

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Orhan YALÇIN

Aralık 2020

**Cumali TOKER** tarafından **Prof. Dr. Orhan YALÇIN** danışmanlığında hazırlanan “**Ayçiçeği Çekirdeği Özü, Bezelye Özü, Domates Kabuğu Özü ve Karalahana Özü Katkılı Hidrojellerin Dielektrik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi**” 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. Mustafa OKUTAN Yıldız Teknik Üniversitesi

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

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

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../....../2020 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../....../2021 tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

....../....../2021

**Prof. 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.



Cumali TOKER

## ÖZET

### AYÇIÇEĞİ ÇEKİRDEĞİ, BEZELYE, DOMATES KABUĞU VE KARALAHANA ÖZÜ KATKILI HİDROJELLERİN DİELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

TOKER, Cumali

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman

: Prof. Dr. Orhan YALÇIN

Aralık 2020, 64 sayfa

Bu tezde, saf ve aynı dozda (50 mg/L) ayçiçeği çekirdeği özü, bezelye özü, domates kabuğu özü, karalahana özü (organik gıda) yüklü hidrojeller, radikal polimerizasyon tekniği kullanılarak opto-elektronik ölçümler için hazırlanmıştır. Organik gıda özü yüklü hidrojellerin dielektrik özellikleri oda sıcaklığında empedans spektroskopisi ile analiz edildi. Saf ve organik gıda özü yüklü hidrojellerin düşük frekans bölgesinde dielektrik özelliklerinde elektrot ve arayüzey polarizasyon mekanizmalarının baskın olduğu belirlenmiştir. Ek olarak, yüksek frekans bölgesinde numunelerin dielektrik özelliklerini açıklamak için dielektrik gevşeme, viskoelastik mekanizma, gıda özü moleküllerinin Brown hareketi ve Maxwell-Wagner yaklaşımı kullanılmıştır. Tüm numunelerin iletim mekanizması hakkında bilgi veren dielektrik düzlem grafiklerinin Havriliak-Negami relaksasyonu ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu tezde elde edilen deneysel sonuçlardan organik gıda özleri katkılı hidrojellerin biyosensörler, biyo görüntüleme ve kablosuz biyo-algılama cihazı gibi biyo-sistemlerde kullanılabilen uygulamalar için ilham verici bir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

*Anahtar Kelimeler:* Hidrojeller, organik yiyecekler, dielektrik özellikler, organik iletkenlik, biyoelektronik

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF DIELECTRIC AND OPTICAL PROPERTIES OF SUNFLOWER SEED, PEA, TOMATO PEEL, AND COLLARD EXTRACTS DOPED HYDROGELS

TOKER, Cumali

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor

: Prof. Dr. Orhan YALÇIN

December 2020, 64 pages

In this thesis, the pure and sunflower seed extract, pea extract, tomato peel extract, black cabbage extract (organic food ) loaded hydrogels at the same dose (50 mg/L) were prepared for opto-electronic measurements by using the radical polymerization technique. Dielectric properties of organic food extracts loaded hydrogels were analysed at room temperature by means of impedance spectroscopy. Electrode and interfacial polarization mechanisms were determined to be dominant on the dielectric properties of pure and organic food extracts loaded hydrogels in the low frequency region. In addition, dielectric relaxation, viscoelastic mechanism, Brownian motion of food extract molecules and Maxwell-Wagner approach were used to explain the dielectric properties of the samples in the high frequency region. It was determined that the dielectric plane plots that provide information about the transmission mechanism of all samples are compatible with the Havriliak-Negami relaxation. From the experimental results obtained in this thesis, it was concluded that organic food extracts doped hydrogels are an inspirational material for applications such as biosensors, bio imaging and wireless bio-sensing device that can be used in bio-systems.

*Keywords:* Hydrogels, organic foods, dielectric properties, organic conductivity, bioelectronics

## ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans tezinde son zamanlarda bilim dünyasında ilgi gören çeşitli gıda özü (ay çiçeği, karalahana, bezelye, domates) yüklü hidrojenlerin dielektrik özellikleri incelendi. Genel olarak kullanılan sentezleme yöntemlerinden biri olan radikal katılım polimerizasyon tekniği ile katkısız hidrojenler sentezlendi. Saf hidrojenlerin içine 50 mg/L dozlarında ayçiçeği çekirdeği özü, bezelye özü, domates kabuğu özü ve karalahana özü yüklenerek numuneler üretildi. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile gıda özü yüklü hidrojenlerin 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. Bezelye özü yüklü hidrojenin iletkenliğinin diğer organik gıda özü yüklü hidrojenlere kıyasla düşük değerler aldığı görüldü. Yüksek empedans değerlerine sahip bezelye özü yüklü hidrojenlerin elektrot ve hidrojen ara yüzeylerindeki etkileşimler nedeniyle diğer katkılı hidrojenlere göre daha düşük kapasitif etkiye sahip olduğu belirlendi. Karalahana özü katkılı hidrojenin diğer gıda özü katkılı hidrojenlere göre yüksek iletkenlik ve düşük direnç değerlerine sahip olduğu tespit edildi.

Araştırmanın tüm aşamalarını titizlikle inceleyen; her daim anlayış ve sabırla bana yol gösteren değerli Hocam ve Danışmanım Sayın Prof. Dr. Orhan YALÇIN'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın farklı bölümlerinde değerli görüşleriyle bana rehberlik eden verilerin analizi aşamasında yoğunluğuna rağmen benden yardımını esirgemeyen ve motivasyonumu sürekli diri tutan Dr. Öğr. Üyesi Muhittin ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Tezde incelenen gıda yüklü hidrojenlerin sentezlenmesi sürecinde büyük katkı ve destek gösteren 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 tüm kalbi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Bana bu süreçte destek olan ve sabır gösteren başta eşim Gökçe TOKER'e, kızlarım Reyhan'a ve Nehir'e, oğlum Mehmet Fatih TOKER'e teşekkür ediyorum.

Bu tezde UV spektrum ölçümleri için kuvarz küvet ile alınmasında, XRD, SEM ve EDX ölçümlerin alınmasında katkısından dolayı FMT 2020/3-LÜTEP numaralı 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 .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xi
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
BÖLÜM II KURAMSAL BİLGİ .....	4
2.1 Dielektrik Malzeme .....	4
2.2 Dielektrik Özellikler .....	6
2.3 Optik Özellikler .....	13
2.4 Polarizasyonların Sınıflandırılması ve Dielektrik Durulma Modelleri.....	14
BÖLÜM III DENEYSEL KISIM .....	19
3.1 Saf Hidrojellerin Sentezlenmesi ve Organik Gıda Özlerinin Hidrojellere Yüklenmesi .....	19
3.2 X Işını Kırınımı Mikroskobu (XRD) .....	21
3.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	22
3.4 EDX (Enerji Dağılımlı X Işını) Analizi.....	23
3.5 Empedans Spektroskopisi (ES) .....	24
BÖLÜM IV DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	25
4.1 XRD Analizi .....	25
4.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi .....	26
4.3 EDX Analizi .....	28
4.4 Ayçekirdeği, Bezelye, Domates ve Karalahana Özünü Katkılı Hidrojellerin Empedans Spektroskopisi Analizi .....	30
BÖLÜM V SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR .....	55
ÖZ GEÇMİŞ .....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Polarizasyon çeşitlerinin frekans ile olan gelişimleri .....	15
Şekil 2.2. Tek durulma zamanlı karmaşık empedans için Cole-Cole çizgileri.....	17
Şekil 3.1. Saf hidrojinin sentezlenmesi (a) ve organik gıdaların saf hidrojellere yüklenmesinin (b) şematik gösterimi.....	20
Şekil 3.2. XRD çalışma diyagramı .....	21
Şekil 3.3. XRD cihazı şematik diyagramı.....	22
Şekil 4.1. 50 mg/L bezelye özü (a), domates özü (b), karalahana özü (c) ve ay çekirdeği özü (d) katkılı hidrojellerin XRD desenleri .....	25
Şekil 4.2. 50 mg/L bezelye özü (a), domates özü (b), karalahana özü (c) ve ay çekirdeği özü (d) katkılı hidrojellerin 10 µm ölçekli SEM görüntüleri ...	27
Şekil 4.3. 50 mg/L bezelye özü (a ve b) ve domates özü (c ve d) hidrojellerin SEM görüntülerinin farklı bölgeleri için EDX desenleri .....	28
Şekil 4.4. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla olan değişimi.....	30
Şekil 4.5. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla olan değişimi.....	31
Şekil 4.6. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin tanjant faktörünün frekansla olan değişimi .....	32
Şekil 4.7. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin dielektrik düzlem çizgileri .....	34
Şekil 4.8. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin paralel kapasitansının frekansla olan değişimi.....	35
Şekil 4.9. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin empedansının frekansla olan değişimi .....	36
Şekil 4.10. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin rezistansının frekansla olan değişimi .....	37
Şekil 4.11. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin reaktansının frekansla olan değişimi.....	38

Şekil 4.12. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin faz açısının frekansla olan değişimi .....	39
Şekil 4.13. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık elektrik modülünün gerçek kısmının frekansla olan değişimi.....	40
Şekil 4.14. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık elektrik modülünün sanal kısmının frekansla olan değişimi.....	41
Şekil 4.15. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin yüzey özdirencinin frekansla olan değişimi.....	42
Şekil 4.16. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık iletkenliğinin gerçek kısmının frekansla olan değişimi.....	43
Şekil 4.17. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık iletkenliğinin sanal kısmının frekansla olan değişimi.....	44
Şekil 4.18. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin logaritmik iletkenliğinin açısız frekansla olan değişimi .....	45
Şekil 4.19. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin 's' parametresinin iletkenlik bölgelerine göre değişimi.....	46
Şekil 4.20. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin absorpsiyon/soğurma değerinin dalga boyuna bağlı değişimi ....	47
Şekil 4.21. Saf ve organik gıda özü katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin optik bant aralığının değişimi.....	49

## SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
$O$	Oksijen
$K$	Potasyum
$S$	Kükürt
$C$	Karbon
$N$	Azot
$Au$	Altın
$\epsilon^*$	Kompleks dielektrik sabit
$\epsilon'$	Kompleks dielektrik sabitin gerçek kısmı
$\epsilon''$	Kompleks dielektrik sabitin sanal kısmı
$\epsilon_s$	En düşük dielektrik geçirgenlik
$\epsilon_\infty$	En yüksek dielektrik geçirgenlik
$Z^*$	Kompleks empedans
$Z'$	Kompleks empedansın gerçek kısmı
$Z''$	Kompleks Empedansın sanal kısmı
$M^*$	Kompleks elektrik modülü
$M'$	Kompleks elektrik modülün gerçek kısmı
$M''$	Kompleks elektrik modülün sanal kısmı
$M_s$	En düşük modül değeri
$M_\infty$	En yüksek modül değeri
$\sigma_{AC}$	AC iletkenlik
$\sigma_0$	Sınırlayıcı sıfır frekans iletkenliği
$\epsilon_0$	Boşluğun dielektrik geçirgenliği
$\epsilon_r$	Dielektik sabit
$\epsilon$	Dielektik geçirgenlik
$\sigma^*$	Karmaşık iyonik iletkenlik
$\sigma'$	İyonik iletkenliğin gerçek kısmı

$\sigma''$	İyonik iletkenliğin sanal kısmı
$\omega$	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
$A_s$	Dielektrik malzemenin yüzey alanını
$d$	Dielektrik malzemenin kalınlığı
$\tan\delta$	Tanjant kayıp faktörü
$j$	Sanal sayı birimi
$\tau$	Durulma zamanı
$\tau_0$	Rahatlama zamanı
$\alpha$	Sıcaklığa bağlı parametre
$\theta$	Faz açısı
$r$	Yarıçap
$\beta$	Sıcaklığa bağlı genişlik ve simetri parametresi
$\Delta M$	Rahatlama gücü
$s$	Frekans üssü
$D$	Üstel sabiti
$A_a$	Absorbsiyon değeri
$T$	Geçirgenlik
$I_0$	Gelen ışın şiddeti
$I$	Geçen ışın şiddeti
$n$	Sönme katsayısı
$b$	Işığın geçtiği yol
$c$	Malzeme derişimi
$\alpha(\nu)$	Absorbsiyon katsayısı
$h\nu$	Foton enerjisi

$B$

Sabit katsayı

$E_g$

Enerji band aralığı

### **Kısaltmalar**

### **Açıklama**

AMPS

Akrilamid

EDX

Enerji Yayımlı X Işını Analiz Tekniğı

ES

Empedans Spektroskopi

MBAAm

Metilenbis (Akrilamid)

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

XRD

X Işını Kırınımlı Ölçüm Tekniğı

IA

İtakonik Asit

KPS

Potasyum Peroksidisülfat

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Sözlük anlamı olarak tedavi amacıyla kullanılan jöle benzeri krem türü yapılara jel, tekrarlanan yapısal kümelerin oluşturduğu yüksek molekül ağırlıklı birleşiklere polimer ve çapraz bağlı polimerlerin su ortamında şişenlerine de jel ya da hidrojel denir. Teknik olarak hidrojeller, monomer veya çapraz bağlı üç boyutlu ağlardan oluşan hidrofilik (suya karşı duyarlı), içinde büyük miktarlarda su hapsedebilme özelliği olan yüksek biyoyumluluk ve çok yönlü işlevsellik nedeniyle biyoteknolojik uygulamalarda geleceğe ait olarak ümit vadeden önemli bir teknolojik malzeme halini almış polimerler olarak da tanımlanır.

Hidrojeller elektrik alan, manyetik alan, optik, termal, sıcaklık ve pH gibi dış etkilere karşı tepki verebilme ve uzun ömürlü oluşları nedeniyle sentetik çeşitlerinin üretilmesinde teşvik edici role sahiptir. Hidrojeller dış elektrik alana cevap verebilmeleri açısından da dielektrik özelliklerin incelenmesine konusu olmuştur. Elektrostatik enerjiyi depolayabilme yeteneğine sahip maddeler dielektrik malzemeler olarak bilinir. Hidrojeller hafif oluşları, elektronik cihazlar için karmaşık yapılarda şekillenebilmeleri, yüksek bozulmaya karşı mukavemet göstermeleri, kapasitörlerde kullanılabilmeleri, biyomedikal uygulama alanlarının oluşu ve haberleşme sistemlerinde rol alması nedeniyle teknolojide tercih edilen maddeler arasında yerini almıştır.

Organik elektronik çalışma alanı bakımından fizik, kimya, biyoloji ve mühendisliğin çoğu dalları gibi disiplinler arası uzmanlıkları bir araya getirme kabiliyeti nedeniyle son yıllarda teknolojik uygulamalarda önemli bir alana sahip olduğu açık hale gelmiştir. Organik elektronik devrelerde kullanılan biyoyumlu malzemelerin iletim mekanizmasının doğru analizi, cihazların işlevselliğini ve performansını artırması bakımında çok önemli konuma sahiptir. Polimerler biyoyumlu malzemelerin iletkenlik özelliklerini incelemek için aktif olarak kullanıldığından organik elektronik alanında önemli bir değeri göstermiştir (Koch, 2007; Kai vd., 2013; He vd., 2019).

Malzemelerin iletim mekanizmasını etkileyen tüm yapısal, morfolojik, elektrik, dielektrik ve iletkenlik özelliklerinin incelenmesi elektronik cihazlarda uygulamalarının

uygunluğu açısından çok önemli bir aktivite göstermiştir (Coşkun vd., 2019; Okutan vd., 2018). Zira malzemelerin teknolojik uygulamalarında tek bir özelliğinin bilinmesi uygulama açısından yeterli olmayıp bu özelliklerinin herbiri birbiriyle yakından ilişkilidir. Üretilen malzelerin yapısal ve morfolojik durumu yani atomik yapısı/düzeni ve moleküler/iyonik dağılımlarının durumu hem dielektrik hem optik hem de iletkenlik özelliklerini büyük lde değiştirmektedir. Yapısı içerisinde yk molekleri homojen olarak dağılım gösteren ve kirlilik oluşturacak atom veya molekleri bulundurmayan numunelerin gerek optik gerek dielektrik gerekse iletkenlik açısından daha iyileşmiş değerlere sahip olduğu bilinmektedir. Yine malzemelerin dielektrik karakteristiğini kontrol eden polarizasyon mekanizmalarının da iletkenlik özelliği üzerinde büyük etkileri vardır. Elektrot, ara yüzey ve dipolar polarizasyon gibi dielektrik karakteristiğinin belirlenmesinde en etkili olan mekanizmaların yaşandığı frekans bölgelerinde iletkenliğin en düşük değerleri aldığı yapılan çalışmalarda tespit edildi. Dolayısıyla katkılı hidrojenlerin teknolojik uygulamalarının uygunluğunun deneysel olarak test edilebilmesi için yk iletim mekanizması hakkında detaylı bilgi veren yapısal, morfolojik, optik, dielektrik ve iletkenlik özelliklerinin birarada aynı numune için yapılması elzemdir (Coşkun vd., 2019; Okutan vd., 2018).

Dış fiziksel veya kimyasal uyarıcılara karşı şişme hassasiyeti sergileyen iyonik katkılı hidrojenler biyo-uyumlu iletken malzemelerle yüklendiğinde elektriksel sinyal iletimi gerçekleştirirler. Bu elektriksel sinyal iletimi nedeniyle biyosensörler ve biyoelektronik uygulamalarında kullanım alanı bulur (Song vd., 2017; zgndz vd., 2018). Anyonik, katyonik, biyo-uyumlu ve organik malzeme zleri katkılı hidrojenlerin uygulama alanları son yıllarda sürekli artan bir trend göstermektedir. Biyoyumlu jeller olan bu tip hidrojenler esnek oluşları, reolojik katı benzeri özelliklere (kayma-inceltme) sahip olmaları, ilaç dağıtım sistemlerinde rol almaları, biyosensörlerde kullanılmaları ve insan vücuduyla uyumlu oluşları nedeniyle de doku mühendisliği gibi alanlarda kullanılmaktadır (Chai vd., 2017; Liu ve Hsu, 2018; Wang ve Heilshorn, 2015).

Dinamik kovalent çapraz bağlanmaya sahip katkılı hidrojenler, biyo-sistemler dışında da birçok kullanım alanı bulmuştur. Bu alanların başında optik ve elektronik uygulamalar en önde gelmektedir (Wang vd., 2018; Semwal vd., 2016; Tan vd., 2014).

Katkılı hidrojeller arasında en dikkat çekici olanlarından birisi de hidrojellere biyoyumlu malzemelerin yüklenmiş olan hidrojellerdir (Öztürk vd., 2018). Bugüne kadar yapılan çalışmalarda organik gıda özü katkılı hidrojellerin yük aktarım mekanizmasını etkileyen ana faktörler olan yapısal, morfolojik, dielektrik ve iletkenlik özellikleri sistematik olarak detaylıca ve birlikte çalışılmamıştır. Bu özelliklerin birlikte incelenmesi, organik gıda özleri katkılı hidrojellerin organik elektronik uygulamalar için uygunluğunun belirlenmesi açısından son derece önemlidir. Bu nedenle tez çalışmasında organik madde özleri katkılı hidrojeller detaylıca çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında biyosensör, biyo görüntüleme ve ajan gibi organik biyoelektronikte saf ve aynı dozda organik gıda yüklü hidrojellerin dielektrik özelliklerine yaptığı değişim empedans spektroskopisi ile incelendi. Hazırlanan numunelerin taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) üç boyutlu ağ yapısı içindeki dağılımları fotoğrafları alındı. Örneklerin XRD ile fiziksel olarak kristal yapısı incelendi ve EDX ölçümleriyle de malzemelerin içinde bulunan elementler tespit edildi. Bu nedenle saf ve ayçiçeği çekirdeği özü, bezelye özü, domates kabuğu özü ve karalahana özü (organik gıda ekstraktları) katkılı hidrojellerin yapısal, morfolojik, dielektrik ve iletkenlik özelliklerini ve Havriliak-Negami relaksasyonu ile uyumluluğu detaylıca araştırıldı. Sonuç olarak tüm numunelerin deneysel sonuçlarının organik biyoelektronik uygulamaları ve hidrojellerde bulunan biyolojik ajan ile uyumluluğunun bu tez çalışmasında detaylıca analiz edildi.

## BÖLÜM II

### KURAMSAL BİLGİ

#### 2.1 Dielektrik Malzeme

Elektriksel iletkenlik açısından yalıtkan olan fakat bir elektrik alan altında sahip olduğu yükleri polarize olabilen maddelere dielektrik madde denir. Her dielektrik madde yalıtkindır lakin her yalıtkan madde dielektrik değildir. Zira dielektrik maddeler de uygulanan dış elektrik veya manyetik alanın yönüne bağlı olarak malzeme içerisindeki elektronlar, atomlar, moleküller maddenin yapısının mümkün kıldığı ölçüde hareket edebilme yani polarize olabilme kabiliyetine sahiptirler. Dielektrik maddelerin bu polarize olma işlemi esnasında elektriksel yük merkezlerinde kaymalar/sapmalar meydana gelmektedir. Bu kaymalara bağlı olarak da dielektrik malzemeler dış elektrik alan altında ya enerji depolarlar ya da enerji kaybederler. Bu durum dielektrik malzemeler için karmaşık dielektrik sabit üzerinden hesaplanır. Dielektrik malzemeler enerji depolayabilme özellikleri sayesinde kapasitif etkiye sahip olup kondansatör üretiminde kullanılmaktadırlar (Roy, vd., basımda 2019; Wang, vd., 2010; Öztürk, 2018; Deryal, 2011; Job, vd., 2003; Das, vd., 2019).

Bir malzemenin dielektrik özelliklerini belirleyebilmek için öncelikle kapasitans değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere birbirlerine paralel olarak yerleştirilmiş iki levha plaka arasına bir dielektrik madde yerleştirilip belli bir değerde gerilim uygulandığında plakalardan bir artı diğeri ise eksi yüküyle yüklenmiş olur. Elektrik yüklerin (artı ve eksi) malzeme içerisinde iki plakalada farklı olarak kutuplanması yani birinin eksi diğeri artı elektrik yüküyle yüklenmesi dielektrik malzeme içerisinde bir alan oluşmasına neden olur. Bu elektrik alanın yönü pozitif elektrik yüklerinden negatif elektrik yüklerine doğru olacaktır. Yani böyle bir alanın varlığında pozitif elektrik yükleri negatif elektrik yükü ile yüklenmiş plaka tarafından çekilirken; negatif elektrik yükleri de pozitif elektrik yükü ile yüklenmiş plaka tarafından çekilirler. Böyle bir durumda paralel plakaların her ikisinde de elektriksel dipol moment oluşur. Oluşan bu dipol momentler etkileşime girerek dielektrik malzeme içerisindeki elektriksel yük yoğunluğunu değiştirmek suretiyle enerji depolanmasını

sağlar. Dielektrik malzeme içerisinde enerji depolanmasına kapasitans denir ve aşağıda verilen formül ile tanımlanır (Deryal, 2011; Nalwa, 1999; Osaka ve Datta, 2001).

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

Denklem (2.1)'de  $C$  kapasitans,  $Q$  elektriksel yük ve  $V$  paralel plakalar arasında uygulanan gerilimi tanımlar. Kapasitans değerini paralel plakalar arasındaki ortam belirleyicidir. Birbirine paralel olan plakanın arasında hiçbir madde yokken yani vakumlanmış halde iken kapasitans;

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

Denklem (2.2) kullanılarak hesaplanır.

Yukarıdaki denklemde  $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$  değerine sahip olan  $\epsilon_0$  vakumun geçirgenliğini ifade eden evrensel bir sabittir.  $A$  ve  $l$  ise sırasıyla paralel levhanın yüzey alanını ve levhalar arasındaki mesafeyi ifade ederler. Paralel plakalar arasındaki kapasitif etki artırılmak istendiğinde bir dielektrik malzeme kullanılması gerekir. Plakalar arasında dielektrik malzeme yerleştirildiğinde kapasitans değeri aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanır.

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

Denklem (2.3)' de  $\epsilon$  ortamın/malzemenin dielektrik geçirgenliği olup vakumun geçirgenliğinden daha büyük değerlere sahiptir. Malzemenin dielektrik geçirgenliği ile vakumun geçirgenliği arasındaki bağıntı dielektrik sabit ya da göreceli geçirgenlik olarak ifade edilir ve aşağıda gibi tanımlanır.

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

Dielektrik malzemelerin teknolojik uygulamalarını analiz etmek için uygulanan dış elektrik alana bağlı olarak zamanla yönü değişen akım olan alternatif akımın ( $\omega$ ) frekansla ile olan değişimini incelemek gerekmektedir.

Alternatif akım altında olan dielektrik malzemelerde akımın yönü değişikçe elektriksel dipol momentler uygulanan alanın yönüne bağlı olarak yeniden hizalanırlar. Bu hizalanma belli bir frekansta durur ve daha sonra uygulanan alanın şiddetine bağlı olarak yeniden devam eder. Elektrik alan yönünde dipollerin hizalanmasının (yönelsesinin) durduğu bu frekansa durulma ya da gevşeme frekansı denir. Bu frekans da dielektrik madde polarize olmayı bırakır ve dielektrik rahatlama/gevşeme ya da diğer ismiyle dielektrik durulma gerçekleşmiş olur. Diğer bir deyişle dielektrik malzemelerde elektrik alan altında meydana gelen ve dipollerin etkileşimi ile oluşan polarizasyonun durulması için gerekli olan en az süreyi ihtiva eden frekans 'rahatlama/durulma frekansı' olarak tanımlanır. Bu durulma frekansından sonra uygulanan dış elektrik alan dielektrik sabit değerine katkı sağlayamaz dolayısıyla elektriksel dipollerin hizalanma yönü değişmez. Buradan hareketle dielektrik malzemelerin frekansa bağlı değişimde düşük frekans bölgesinde dielektrik özellikler frekansa bağlı davranış sergilerken; yüksek frekans bölgesinde genellikle frekanstan bağımsız davranış sergilerler (Callister, 2007; Das, vd., 2019; Kumar vd., 2016; Öztürk, 2018; Tsonos, 2019; El-ghandour, vd., 2019; Kumar, vd., 2016).

## 2.2 Dielektrik Özellikler

Dielektrik malzemelerin karakteristik özellikleri malzeme içerisinde depolanan ve kaybolan enerjiyi ifade eden karmaşık/kompleks dielektrik sabit ile ifade edilir. Karmaşık dielektrik sabit aşağıdaki denklem ile verilir (Mantas, 1998; Praharaj ve Rout, 2019).

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega) \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)' de  $\varepsilon^*(\omega)$  karmaşık dielektrik sabiti,  $\varepsilon'(\omega)$  karmaşık dielektrik sabitin gerçek kısmını ve  $\varepsilon''(\omega)$  karmaşık dielektrik sabitin sanal kısmını tanımlar. ' $j$ ' sanal büyüklüğü ve ' $\omega$ ' açısal frekansı ifade eder. Belli bir dış elektrik alanın altında olan dielektrik malzemeler durulma frekansında enerji emilimine maruz kalırlar. Yani

dielektrik malzemeler bu frekansta  $\epsilon''(\omega)$  ile sembolize edilen dielektrik kayıp yaşarlar. Bir malzemenin dielektrik verimliliğinde dielektrik kayıp değerinin düşük olması arzu edilen bir durumdur. Bir dielektrik malzemede dielektrik verimliliği analiz etmek için karmaşık dielektrik sabitin gerçek kısmının (depolanan enerjinin) sanal kısmına (kaybolan enerji) oranının hesaplanması gerekmektedir. Bu oran tanjant ya da kayıp faktörü ( $\tan\delta$ ) olarak tanımlar ve aşağıda verilen denklemlerle tanımlanır.

$$\tan\delta = \frac{\epsilon''(\omega)}{\epsilon'(\omega)} \quad (2.6)$$

Bir dielektrik malzemede depolanan enerji tamamen malzemenin morfolojik, yapısal ve kapasitans özellikleri ile ilişkilidir. Bu ilişki Denklem (2.7)' deki gibi ifade edilir.

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

Burada  $A_s$  ve  $d$  sırasıyla dielektrik malzemenin yüzey alanını ve kalınlığını ifade eder (Purohit ve Choudhary, 2019; Das, vd., 2019).

Bir dielektrik malzemede yüzey ve hacim (bulk) yapıda dielektrik özellikler birbirinden farklılık gösterir. Bu farklılığı belirleyebilmek için öz direnç empedansı olarak ifade edilen ve  $Z^*(\omega)$  ile sembolize edilen karmaşık empedansın hesaplanması gerekmektedir. Malzemenin yüzey ve hacim özelliklerini ayırt etmede kullanılan karmaşık empedans Denklem (2.8) gibi tanımlanır.

$$Z^*(\omega) = Z'(\omega) - jZ''(\omega) \quad (2.8)$$

Denklemden  $Z'(\omega)$  rezistans olarak tanımlanan karmaşık empedansın gerçek kısmını,  $Z''(\omega)$  ise reaktans olarak tanımlanan sanal kısmını ifade eder (Purohit ve Choudhary, 2019).

Dielektrik malzemelerde faz açısı gerilim ve akım arasındaki faz farkından kaynaklanır ve doğrudan empedansla bağıntılıdır. Bu bağıntı Denklem (2.9)' daki gibi gösterilir.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Z''(\omega)}{Z'(\omega)} \right) \quad (2.9)$$

Diğer taraftan karmaşık empedans ile karmaşık dielektrik geçirgenlik arasında boşluğun kapasitansı ( $C_0$ ) ile ilişkili olan güçlü bir bağıntı vardır ve karmaşık empedansın gerçek ve sanal kısmı için sırasıyla Denklem (2.10) ve (2.11)' de ayrı ayrı tanımlanmaktadır (Pradhan vd., 2008).

$$Z'(\omega) = \varepsilon'' \left[ \omega C_0 (Z'(\omega))^2 + (Z''(\omega))^2 \right] \quad (2.10)$$

ve

$$Z''(\omega) = -\varepsilon' \left[ \omega C_0 (Z'(\omega))^2 + (Z''(\omega))^2 \right] \quad (2.11)$$

Bir dielektrik malzemede uygulanan elektrik alanın etkisiyle yükler/iyonlar/moleküller hareket edebilme kabiliyeti (mobilite) kazanır ve iletkenlik artar. Yüksek dielektrik geçirgenliğe sahip olan dielektrik malzemelerde iletkenlik özelliğinde artmasıyla dielektrik mekanizmalar ara yüzeylerde net bir şekilde tespit edilemez. İletkenlik öyle bir düzeye gelir ki dielektrik karakterizasyonu belirleyen polarizasyon mekanizmaları neredeyse tamamen belirlenemez duruma gelir. Bu bölgelerde oluşan polarizasyon çeşitlerini analiz edebilmek için dielektrik geçirgenliğe nazaran çok daha hassas veriler verebilecek hesaplamalara ihtiyaç duyulur. Bu noktada elektrik modül hesaplamaları devreye girer. Başka bir deyişle polarizasyon mekanizmaları ile iletkenlik mekanizmalarının sağlıklı bir şekilde ayırt edilebilmesi ve doğru yorumlanabilmesi için karmaşık elektrik modül hesaplamalarına ihtiyaç vardır.  $M^*(\omega)$  olarak sembolize edilen karmaşık elektrik modül denklem (2.12)' deki gibi tanımlanır (Zhang vd., 2016; Mantas 1998; Oumezzine vd., 2017; Gajula vd., in press; Kaya vd., 2014; Dult vd.,2015).

$$M^*(\omega) = M'(\omega) + jM''(\omega) \quad (2.12)$$

Burada  $M'(\omega)$  ve  $M''(\omega)$  sırasıyla karmaşık elektrik modülün gerçek ve sanal kısmını tanımlamaktadır. Karmaşık elektrik modül ifadesi karmaşık dielektrik sabit ifadesi ile ters orantılı olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$M^*(\omega) = \frac{1}{\varepsilon^*(\omega)} \quad (2.13)$$

Denklem (2.13) daha geniş hali ile aşağıdaki gibi verilir.

$$M^*(\omega) = \frac{1}{\varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega)} \quad (2.14)$$

Denklem (2.12) ve Denklem (2.14) birlikte değerlendirildiğinde karmaşık elektrik modülün gerçekte ve sanal kısımları Denklem (2.15) ve Denklem (2.16)'daki gibi ifade edilebilir.

$$M'(\omega) = \frac{\varepsilon'(\omega)}{(\varepsilon'(\omega))^2 + (\varepsilon''(\omega))^2} \quad (2.15)$$

ve

$$M''(\omega) = \frac{\varepsilon''(\omega)}{(\varepsilon'(\omega))^2 + (\varepsilon''(\omega))^2} \quad (2.16)$$

Dielektrik malzemelerin elektrik devre uygulamaları için rahatlatma modellerine uyumluluğunun bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bilhassa iletkenlikle ilgili önemli bilgilerin elde edildiği elektrik modülün rahatlatma modelleriyle olan uyumu ayrı bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda;

Denklem (2.13)'de  $\omega \rightarrow 0$  iken,  $M^*(\omega)$  değeri  $M_s(\omega)$  ve  $\omega \rightarrow \infty$  iken ise  $M^*(\omega)$  değeri  $M_\infty(\omega)$  olarak tanımlanırsa;

$$M_s(\omega) = \frac{1}{\varepsilon_s(\omega)} \text{ ve } M_\infty(\omega) = \frac{1}{\varepsilon_\infty(\omega)} \quad (2.17)$$

denklemleri elde edilecektir. Denklem (2.17)'de  $\varepsilon_s(\omega)$  ve  $\varepsilon_\infty(\omega)$  sırasıyla en düşük ve yüksek dielektrik geçirgenliği ifade eder. Buradan hareketle  $M_s(\omega)$  ve  $M_\infty(\omega)$  sırasıyla en düşük ve yüksek elektrik modül değerlerini tanımlar. Düşük ve yüksek frekans

bölgerindeki dielektrik rahatlama süreci karmaşık dielektrik sabitin rahatlama denklemi kullanılarak elde edilebilir.

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (2.18)$$

ve

$$\left( \varepsilon'(\omega) - \left( \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{2} \right) \right)^2 + \varepsilon''(\omega)^2 = \left( \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{2} \right)^2 \quad (2.19)$$

Denklem (2.18) ve Denklem (2.19) dielektrik malzeme içindeki tek zamanlı rahatlama anlatan ve dielektrik düzlem çizgileri yarım daireye karşılık gelen Debye ile Cole-Cole rahatlama modellerini ifade eder.

Denklem (2.13) ve Denklem (2.18) birlikte değerlendirildiğinde karmaşık elektrik modülün düzlem çizgileri (Cole-Cole) ve Debye modeli aşağıdaki işlem adımları takip edilerek hesaplanabilir.

$$G = \left[ 1 + 2(\omega\tau)^{1-\alpha} \sin \frac{\alpha\pi}{2} + (\omega\tau)^{2(1-\alpha)} \right]^{1/2} \quad (2.20)$$

ve

$$\varphi = \arctan \left[ \frac{(\omega\tau)^{1-\alpha} \cos \frac{\alpha\pi}{2}}{(\omega\tau)^{1-\alpha} \sin \frac{\alpha\pi}{2}} \right] \quad (2.21)$$

$G$  ve  $\varphi$ ' yi Denklem (2.20) ve Denklem (2.21)'deki gibi tanımlamak suretiyle

$$M^*(\omega) = M_\infty(\omega) M_s(\omega) \frac{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}}{M_\infty(\omega) + M_s(\omega)(i\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (2.22)$$

olarak elde edilir.

Bu durumda karmaşık elektrik modülün gerçek ve sanal kısımlarını ifade edecek yeniden yazacak olursak;

$$M'(\omega) = M_{\infty}(\omega)M_s(\omega) \frac{[M_s(\omega)A + (M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))\cos\varphi]A}{(M_s(\omega))^2 A^2 + 2A(M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))M_s(\omega)\cos\varphi + (M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))^2} \quad (2.23)$$

ve

$$M''(\omega) = M_{\infty}(\omega)M_s(\omega) \frac{[(M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))\sin\varphi]A}{(M_s(\omega))^2 A^2 + 2A(M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))M_s(\omega)\cos\varphi + (M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))^2} \quad (2.24)$$

denklemleri elde edilir.

Denklem (2.23) ve Denklem (2.24) birlikte kullanılarak yarıçapı  $r = \frac{(M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))}{2} \sec\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right)$  olan yarım daireyi temsil eden denklem türetilebilecektir (Tsangaris vd., 1998; Yalçın 2013).

$$\left[ M'(\omega) - \frac{(M_{\infty}(\omega) + M_s(\omega))}{2} \right]^2 + \left[ M''(\omega) + \frac{(M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha\pi}{2} \right]^2 = \left[ \frac{(M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))}{2} \sec \frac{\alpha\pi}{2} \right]^2 \quad (2.25)$$

Yukarıdaki denklemde sıcaklığa bağlı bir parametre olan  $\alpha = 0$  alındığında Cole-Cole model yerini Debye modeline burakacaktır. Bu durumda karmaşık elektrik modülün düzlem çizgileri yarıçapı  $r = \frac{(M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))}{2}$  olan yarım daireyi tanımlayan aşağıdaki denkleme dönüşecektir.

$$\left( M'(\omega) - \frac{(M_{\infty}(\omega) + M_s(\omega))}{2} \right)^2 + M''(\omega) = \left( \frac{(M_{\infty}(\omega) - M_s(\omega))}{2} \right)^2 \quad (2.26)$$

Bazı durumlarda dielektrik malzeme içindeki rahatlama tek zamanlı olarak ifade edilemez. İkinci bir rahatlama zamanına da ihtiyaç duyulur. Böyle durumlar Havriliak-Negami rahatlama modeli kullanılarak açıklanır. İki rahatlama süreci barındıran model aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{\varepsilon^*(\omega) - \varepsilon_\infty}{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty} = [1 + (j\omega\tau_0)^{1-\alpha}]^{-\beta} \quad (2.27)$$

Denklem (2.27)' de ' $\tau_0$ ' rahatlama zamanını ifade eder. ' $\beta$ ' ise sıcaklığa bağlı genişlik ve simetri parametrelerini tanımlamaktadır. Denklem (2.27) elektrik modül cinsinden yazıldığında Havriliak-Negami rahatlama modeli aşağıdaki formatta verilir.

$$M^*(\omega) = M_\infty + \frac{\Delta M(M_s - M_\infty)}{(1 + (j\omega\tau)^\alpha)^\beta} \quad (2.28)$$

Denklem (2.28)' de  $\Delta M$ , rahatlama gücü olarak tanımlanır. Tıpkı karmaşık dielektrik sabitte olduğu gibi karmaşık elektrik modülün de karmaşık empedansla bağıntısı vardır. Bu bağıntı Denklem (2.29)' da gösterildiği gibidir.

$$M^*(\omega) = j\omega\varepsilon_0 Z^*(\omega) \quad (2.29)$$

Dışardan elektrik alan uygulandığında malzemelerin iyon ve moleküllerinde alanın yönüne bağlı olarak akışı meydana gelmektedir. Böylece malzemeler akımı iletme özelliği göstermiş olurlar. Malzemelerin iletkenliği sıcaklık ve frekansa bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Malzeme içerisindeki frekansa bağlı iletkenlik Denklem (2.30)' da verilen karmaşık iletkenlik ifadesiyle elde edilir (Callister, 2007).

$$\sigma^*(\omega) = \sigma'(\omega) + j\sigma''(\omega) \quad (2.30)$$

Denklemden  $\sigma'(\omega)$  karmaşık iletkenliğin gerçek kısmını ve  $\sigma''(\omega)$  ise sanal kısmını ifade eder. Karmaşık iletkenliğin gerçek kısmı malzemenin kaybolan enerjisi ( $\varepsilon''(\omega)$ ) ile sanal kısmı ise malzeme içerisinde depolanan enerjiyle ( $\varepsilon'(\omega)$ ) ilişkilidir. Bu ilişkiler Denklem (2.31) ve Denklem (2.32)' deki gibi tanımlanır (Capaccioli vd., 1998).

$$\varepsilon'(\omega) - \varepsilon_\infty = \frac{\sigma''(\omega)}{\varepsilon_0\omega} \quad (2.31)$$

ve

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{\sigma'(\omega)}{\varepsilon_0\omega} \quad (2.32)$$

İletkenliğin frekans ile bağımlılığı en genel hali Jonscher'in ortaya koyduğu evrensel dinamik kanunu ile tanımlanmaktadır. Bu kanun gereğince malzemenin iletkenliği farklı frekans bölgeleri için farklı mekanizmalar tarafından kontrol edilmektedir. İletkenlik düşük, orta ve yüksek frekans bölgelerinde sırasıyla polarizasyon, plato ve dağılım bölgesi olmak üzere üç ayrı bölge ile analiz edilir. Her bir bölge için iletkenliğin modeli  $s$  parametresinden hesaplanır. Jonscher yasası Denklem (2.33)' deki gibi tanımlanır (Jonscher, 1977 ve 1980).

$$\sigma_{ac}(\omega) = \sigma_0(\omega) + D\omega^s \quad (2.33)$$

Burada  $\sigma_{ac}(\omega)$  ac iletkenlik,  $\sigma_0(\omega)$  sınırlayıcı sıfır frekans iletkenliği,  $D$  üstel sabiti sembolize ve  $s$  frekans üssünü ifade eder.

### 2.3 Optik Özellikler

Işıkla etkileşime giren bir malzemede ışığın bir kısmının malzeme tarafından absorbe edildiği diğer kısmının da malzemedan geçtiği veya yansıdığı kabul edilir. Işığın malzemedeki emilim ya da yansımalarının ne kadar olduğunu malzemenin cinsi ve ışığın dalga boyu belirler. Işıkla malzeme arasındaki etkileşimin nasıl olduğuna dair en detaylı bilgi Beer–Lambert–Bouguer Yasası ile verilir (Owen, 1996).

$$A_a = -\text{Log}T = -\text{Log}\left(\frac{I}{I_0}\right) = \text{Log}\left(\frac{I_0}{I}\right) = nbc \quad (2.34)$$

Denklem (2. 34)' de  $A$  absorpsiyon değerini,  $T$  geçirgenliği ifade eder.  $I_0$  ve  $I$  ise sırasıyla gelen ve geçen ışın şiddetini tanımlarlar.  $n$ ,  $b$  ve  $c$  sırasıyla sönme katsayısını, ışığın geçtiği yolu ve malzeme derişimini ifade eder.

Ayrıca ışık malzeme ile etkileşime girdiğinde meydana absorpsiyonun katsayısı gelen ışın fotonlarıyla yakından bağıntılıdır. Bu bağlantı Tauc's yasası tarafından tanımlanır (Tauc, 1968).

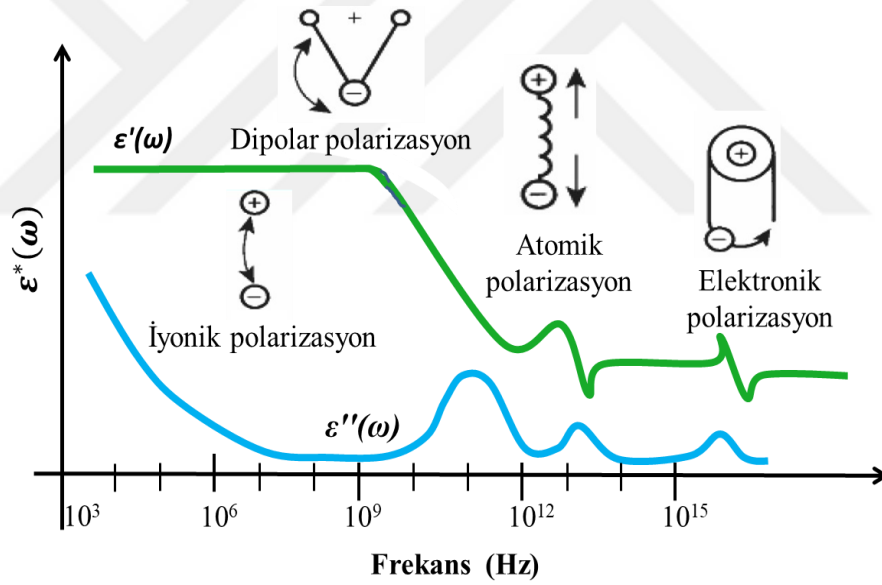
$$\alpha(\nu)h\nu = B(h\nu - E_g)^m \quad (2.35)$$

Burada  $\alpha(\nu)$ ,  $h\nu$ ,  $B$ ,  $E_g$  ve  $m$  sırasıyla absorpsiyon katsayısını, foton enerjisini, sabit katsayıyı, enerji band aralığını ve 1/2, 3/2, 2 ve 3 değerlerinden birini alandizin olarak tanımlanır.

## 2.4 Polarizasyonların Sınıflandırılması ve Dielektrik Durulma Modelleri

Polarizasyon yani kutuplanma dielektrik bir malzemeye dış elektrik alan uygulandığında malzeme içerisindeki elektriksel yüklerin oluşturduğu dipol momentlerinin elektrik alan yönünde hizalanmasına denir. Malzemelerin dielektrik karakterizasyonu üzerinde polarizasyon mekanizmaları ve çeşitliliği etkilidir. Mikroskobik seviye ve altında dielektrik malzemelerin özelliklerini etkileyen birçok fazla polarizasyon çeşiti vardır. Bunlar genel olarak iyonik, elektrot/dipolar, atomik ve elektronik polarizasyon olarak isimlendirilmektedirler. Dielektrik malzemenin cinsine göre bazen bir tek polarizasyon mekanizması dielektrik özellikler üzerinde etkinken, bazen de birden çok polarizasyon mekanizmaları dielektrik özellikleri etkileyebilmektedir. Dielektrik malzemelerde farklı polarizasyon mekanizmaları farklı frekans bölgelerinde etkindir. Polarizasyon mekanizmalarının frekansa bağlı değişimi Şekil 2.1' de detaylıca gösterildi. Bu polarizasyon çeşitlerinden en yaygın olanı elektriksel dipol varlığından kaynaklanan dipol polarizasyondur. Zira bu polarizasyon çeşidi düşük frekans bölgelerinde etkindir ve hemen hemen tüm dielektrik malzemelerde görülür. Diğer polarizasyon çeşitlerinden olan atomik ve elektronik polarizasyon mekanizmaları aslında tüm dielektrik malzemeler için mevcuttur. Lakin bu polarizasyon çeşitleri dielektrik özellikler üzerine etkileri bir elektrot polarizasyona kıyasla ihmal edilecek düzeyde zayıftır. Dielektrik malzemeye bir dış elektrik alan uygulandığında serbest yüklerin malzeme içindeki bölgesel yük mobilitesi sınırlandığı için elektrot ve ara yüzey polarizasyon devreye girer. Elektrot polarizasyon mekanizması dielektrik malzemelerin dielektrik özelliklerini belirlemede yaygın bir şekilde kullanılır. Bu polarizasyon elektrotlar arasında elektrik alan etkisiyle rahatça hareket edebilen elektriksel yüklerin elektriksel alanın tersi yönünde hizalanmaya zorlanmasıyla oluşur. Elektrot polarizasyonda pozitif ve negatif yüklerin yönelimleri oldukça önemlidir. İyonik polarizasyon yapısında iyon barındıran malzemelerin bir elektrik alanın etkisiyle pozitif ve negatif elektriksel yüklerinin ters yönlerde oluşturdukları yer değiştirmeye bağlı olarak oluşan polarizasyondur. Bir diğer polarizasyon çeşidi olan elektronik polarizasyon ise malzeme içerisinde homojen olarak

dağılmış elektronların yer değiştirmesine bağlı olarak yük merkezi değişmesi sonucunda meydana gelir. Zira bir dış elektrik alan uygulanmadığı durumlarda yük merkezleri çakışık durumdadır ve elektronlar atomun çekirdeği etrafında homojen olarak dağılmış durumdadırlar. Geçici bir polarizasyon çeşidi olan atomik polarizasyon kızıl ötesi veya bu bölgeye yakın frekanslarda dielektrik malzemelerin iyonik bağların bozulmasıyla oluşan polarizasyondur. Bu polarizasyonun oluşması anında anyon ve katyonlar elektrik alanın etkisiyle etkileşim göstermek suretiyle ya yaklaşıp ya da uzaklaşıp kutup çiftlerini oluşturarak kutuplanma etkisini ortaya çıkarırlar. Sonuç olarak dielektrik malzemelerde elektrot ve ara yüzey polarizasyon mekanizmaları iyonlar ve serbest elektronların mobilitelerinin düşük olması nedeniyle düşük frekans bölgelerinde baskındır. Dielektrik geçirgenliğe katkı sağlayan yavaş polarizasyon mekanizmaları artan frekansla birlikte etkinliğini kaybeder ve yerini hızlı polarizasyon mekanizmalarına devreder (Callister, 2007, Öztürk, 2018).



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

Dielektrik durulma ya da rahatlama zamanı malzemeyi meydana getiren atom ve moleküllerin mobilitelerinin ölçüldüğü zaman olarak tanımlanır. Dielektrik malzeme üzerine uygulanan dış elektrik alan kaldırıldığında yükler zıt yönde yönelime geçer yani malzeme elektrik alan uygulanmadan önceki haline dönme eğilimindedir. Bu eğilimin başladığı zamana durulma zamanı denir. Tüm dielektrik malzemede bulunan ve durulma zamanıyla ters orantılı olan durulma frekansı polarizasyon mekanizmalarını

birbirinden ayıran frekansa denir. Durulma frekansından düşük olan frekans bölgesinde elektriksel yükler uygulanan alanın yönüne bağlı olarak dipol moment oluştururlar. Bu bölgede depolanan enerji oldukça yüksek kaybolan enerji ise ihmal edilecek kadar düşüktür. Durulma frekansından yüksek olan frekans bölgesinde ise yüklerin alan yönünde yönelimi kolay olmayıp polarizasyon oluşumu zordur. Yani bu bölgede dipoller uygulanan elektrik alana uyum sağlamakta zorlanır ve aralarında bir faz farkı oluşur. Dolayısıyla bu bölgede dipolar polarizasyon hemen hemen tamamen kaybolma eğiliminde olup, enerji depolama azalır ve yüksek enerji kaybı meydana gelir. Ayrıca bütün polarizasyon mekanizmalarında bir “kesme frekansı” bulunur. Kritik bir frekans olan bu kesme frekansı dielektrik kayıp faktörünün tepe değerine karşılık gelir (Puranik vd., 1991; Öztürk 2018)

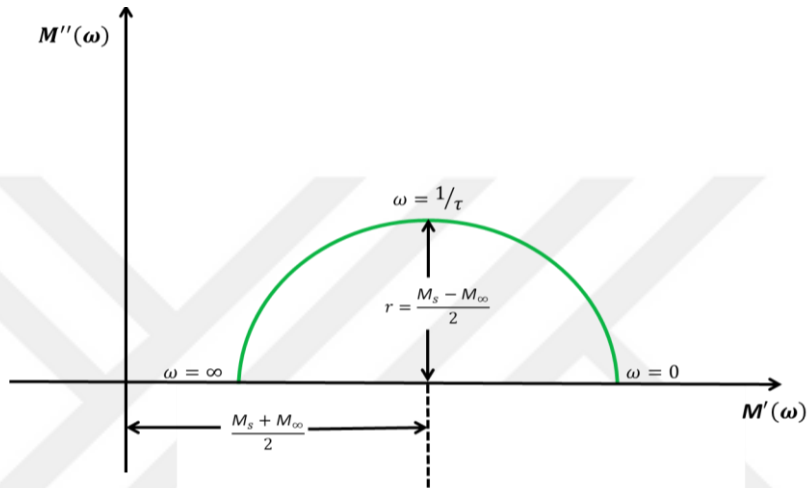
### Debye Durulma Modeli

Frekansa bağlı bir fonksiyon olan dielektrik geçirgenliğe karşı net bir tepki olarak meydana gelen ve tek durulma zamanına sahip dielektrik rahatlamalar Debye durulma modeli kullanılarak açıklanır. Yani tek bir durulma zamanına sahip dielektrik malzemelerin dielektrik karakteristiğini ortaya koyan dielektrik düzlem çizgileri Debye durulma modeli yardımıyla yorumlanabilir. Depolanan enerjiyi temsil eden karmaşık dielektrik sabitin gerçek kısmı durulma frekansının ortaya çıktığı geçiş bölgesinde sabit kalacaktır. Ayrıca karmaşık dielektrik sabitin gerçek kısmı, durulma frekansının yaşandığı bölge en yüksek değerini alacaktır. Durulma frekansının altında ve üstünde kalan frekans bölgelerinde ise düşük değerler alacaktır. Genel fizikteki şiddetle bastırılmış harmonik osilatör yaklaşımı Debye durulma modelini açıklamakta kullanılabilir en iyi metottur. Yani bu metot da olduğu gibi Debye durulma modelinde de hareket frekansı zaman sabitinin en temel belirleyicisi konumundadır (Debye, 1929; Poole ve Darwazeh, 2016).

### Cole-Cole Durulma Modeli

Bir malzemenin dielektrik özellikleri sıcaklık ve frekansın fonksiyonu olarak analiz edilebilmektedir. Bilhassa frekansa bağlı elde edilen düzlem çizgileri malzemenin dielektrik karakteristiği ve iletkenliği hakkında önemli bilgiler sunması bakımından büyük önem taşımaktadır. Dielektrik malzemelerde yük iletim mekanizmasının ve

dielektrik karakterizasyonun en temel belirleyicisi olan karmaşık dielektrik sabitin ve elektrik modülün sanal kısmının gerçek kısmına karşı ( $\epsilon''-\epsilon'/M''-M'$ ) aynı kartezyen koordinat sistemi üzerinde gösterilen düzlem çizgileri Cole-Cole çizgileri olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle Cole-Cole çizgileri karmaşık sayıların grafik gösterimi/argand çizimi olarak da tanımlanabilmektedir. Argand çizimi ilk defa Cole ve Cole tarafından yapıldığı için Cole-Cole diyagramı literatüre girmiştir (Cole ve Cole, 1941; Daniel, 1967).



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

Kayıp faktörünün tepe değeri  $\omega = 1/\tau$  da, dielektrik malzemenin merkezinin yatay eksenini  $M'' = 0$  üzerinde oluşan yarı dairesel şekilde görünen tek durulma frekansına sahip çizgiler meydana gelecektir. Bu çizgiler simetrik olup, merkezi yatay ekseninde bulunan bir yarım daire temsil ederler. Yine  $M''$  en yüksek değeri bu dairenin yarıçapını tanımlar. Bu yarıçap ise  $r = \frac{M_s - M_\infty}{2}$  olarak hesaplanır (Tsangaris vd., 1998; Zengin, 2007; Delipinar, 2013).

### Havriliak-Negami Durulma Modeli

Havriliak-Negami durulma modeli, frekansa bağlı bir fonksiyon olan dielektrik özelliklerin birden fazla durulma zamanına sahip dielektrik rahatlamaları açıklayan model olarak tanımlanır. Bu model sayesinde dielektrik durulma süreçleri etkileyen durulma modelinin hangisi olduğu net bir şekilde belirlenir. Bu model bazen Cole-Cole

bazen de Cole-Davidson olabildiği gibi her ikisi bir arada da olduğu da olabilmektedir. Bir dielektrik malzeme de karmaşık elektrik modülün düzlem çizgileri  $M^*(\omega) = M_\infty + \Delta M(M_s - M_\infty)/(1 + (j\omega\tau)^\alpha)^\beta$  denklemi ile tanımlanır. Bu denklemde  $\alpha$  ve  $\beta$  nın aldığı değerler durulma modelinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Zira  $\alpha \neq 0$  ve  $\beta = 1$  ise dielektrik durulma süreci Cole-Cole modeliyle uyumludur.  $\alpha = 0$  ve  $\beta \neq 1$  ise durulma süreci Cole-Davidson modeli ile açıklanır. Son olarak  $\alpha \neq 0$  ve  $\beta \neq 1$  ise hem Cole-Cole hem de Cole-Davidson modelleri etkindir. Ayrıca  $\alpha = 0$  ve  $\beta = 1$  olduğu durumlarda ise dielektrik durulma modeli Debye durulma sürecine dönüşmüş olur (Zengin, 2007).

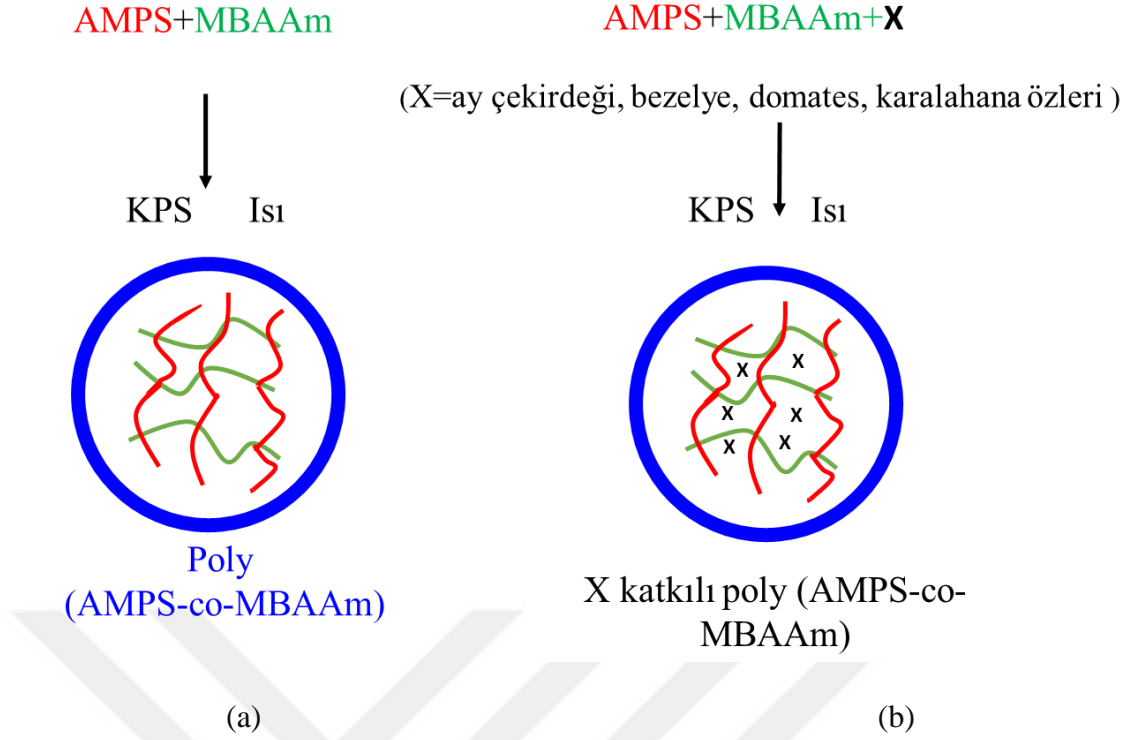
## BÖLÜM III

### DENEYSEL KISIM

#### 3.1 Saf Hidrojellerin Sentezlenmesi ve Organik Gıda Özlerinin Hidrojellere Yüklmesi

Hidrojeller, sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı araştırmacılar tarafından son yıllarda en çok tercih edilen sentetik malzemeler arasında yer almaktadır. Bu jeller canlı dokuya çok benzer özellikleri barındırmaları nedeniyle yüksek biyouyumluluğa sahiptirler. Bu nedenle biyomedikal, biyosensör ve ilaç dağıtım sistemleri gibi birçok sağlık alanında temel malzeme olarak kullanımı mevcuttur. Diğer taraftan hidrojeller dışarıdan gelebilecek fiziksel veya kimyasal (elektrik alan, manyetik alan, pH, sıcaklık, basınç vb.) her hangi bir uyarıcıya karşı üç boyutlu çapraz bağları arasında barındırdığı suda şişme veya büzülme yaparak tepki verebilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle akıllı jeller olarak da tanınan hidrojeller sensör, tarım, savunma gibi teknolojik bir çok alanda kullanım imkanı bulmaktadır. Bilim dünyası tarafından hidrojeller çok çeşitli gruplarda sınıflandırılabilir. Suyu seven jel olan hidrojeller kaynağına, çağraz bağ yapılarına, elektrik yüklerine, konfigürasyonuna ve kompozisyonlarına göre sınıflandırılabilirler.

Hidrojeller çok çeşitli üretim metodu ile sentezlenebilen malzemelerdir. Bu metotlar arasında en çok tercih edileni ise radikal polimerizasyon yöntemidir. Hidrojellerin sentezlenmesinde en önemli husus ideale yakın özellikleri barındıran üretim metotunu seçmektir ki bu noktada radikal polimerizasyon metodu oldukça başarılıdır. Bu metotla üretilen hidrojellerde soğurma kapasitenin yüksek, kokusuz, kararlı, hızlı emilim, düşük çözünürlük, renksiz, pH tarafsızlığı ve şişmeye dayanıklı olması gibi ideal bir hidrojelde olması gereken tüm özellikler mevcuttur. Bu bağlamda radikal polimerizasyon yöntemi oldukça avantajlı bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada öncelikle sulu organik gıda özleri (ayçiçeği, bezelye, domates ve karalahana), 5 gr olarak alınıp 100 mL distile suda 20 dakika kaynatıldı. Kaynamış haldeki numuneler soğutulduktan sonra Whatman No. 1 filtre kâğıdı kullanılarak filitre edildi. İkinci olarak saf hidrojellerin sentezlenmesine geçildi.



**Şekil 3.1.** Saf hidrojinin sentezlenmesi (a) ve organik gıdaların saf hidrojelere yüklenmesinin (b) şematik gösterimi (Coşkun vd., 2019)

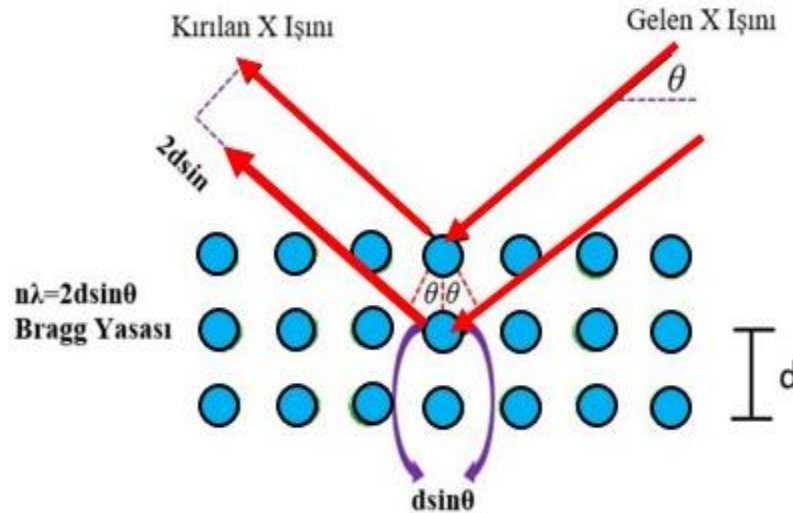
Bu tez çalışmasında kullanılan hidrojel sulu ortamda radikal polimerizasyon yöntemi ile sentezlenmiştir. Bu amaçla monomerler olarak 2-akrilamido-2-metil propan sülfonik asit (AMPS) ve itakonik asit (IA), çapraz bağlayıcı olarak N, N metilenbisakrilamid (MBAAm) ve başlatıcı olarak potasyum peroksodisülfat (KPS) kullanıldı. Ardından, beş farklı özel tüp seçildi ve her birine uygun miktarda AMPS (9.0 mmol), IA (1.0 mmol), MBAAm (1.0 mmol) KPS (0.150 mmol) eklendi. Ve sonra ilk tüpte 10 mL distile su, ikinci tüpte 10 mL ayçiçeği ekstresi, üçüncü tüpte 10 mL bezelye kabuğu ekstresi, dördüncü tüpte 10 mL domates kabuğu ekstresi ve beşinci tüpte 10 mL karalahana özütü ilave edildi ve vorteks kullanılarak karıştırıldı. Hazırlanan solüsyonlar 0.5 cm çapındaki pipetlere dolduruldu ve 50°C'de termostatlı su banyosuna daldırıldı. 24 saat sonra su banyosundan alınan ve bol miktarda distile su ile yıkanan tüplerden hidrojel çıkarıldı ve 55 ° C'de kurutuldu. Saf ve organik gıdalar katkılı hidrojel ile hazırlanan hidrojellerin şematik gösterimleri Şekil 3.1a ve 3.1b'de verilmiştir.

### 3.2 X Işını Kırınımı Mikroskobu (XRD)

Havası boşaltılmış bir vakum ortamında metal (katot ışın tüp içindeki film) ısıtılarak elektron hareketlenir, hareketlenen elektronlar bir üst enerji düzeyine geçerek koparak başka bir plakaya çarpan bu elektronlar ışımaya yayarlar. Elde edilen bu ışınlar bir maddenin iç kabuk elektronlarını çıkarmak için yeterli enerjiye sahip oldukları için bir spekturumun üretilirler. Elde edilen bu ışık x-ışını olarak bilinir. X-ışını maddelerin derinliklerine nüfuz edebildiklerinden maddeler hakkında bilgi elde etmede kullanılır. Hastahanelerde kırık ve çıkıkları görüntülemek için kullanılan kulanılan Röntgen ışınları (x-ışınları) maddelerin yapısını anlamakta da kullanılır. Bilinen evrende şu an itibariyle var olan bütün madeler 3 boyutta 14 farklı yapıda (bravais örgüleri) şekillenirler.

İlerleyen teknolojiyle birlikeye yeni tür yapılar sentezlendiğinde bu maddelerin kristal yapılarını anlamak için XRD (X ışını kristalografisi) tekniği kullanılır. Maddeye gönderilen x-ışınları maddenin yapıları arasından kırınıma (Bragg yasası) ve saçılmalara uğrar. Bu durum fiziksel açıdan aşağıdaki formül ile gösterilir.

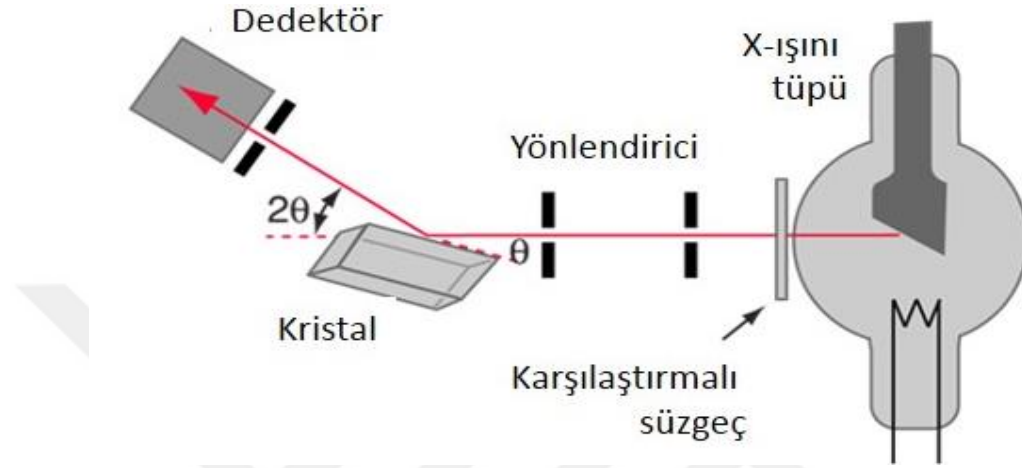
$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (3.1)$$



Şekil 3.2. XRD çalışma diyagramı (Touloukian, 1977)

Bu ifade de ' $d$ ' maddenin tabakaları arasındaki mesafeyi, açı kırılma değerini dalga boyu maddeye gönderilen ışığın dalga boyunu,  $n$ -sayısı ise katman/tabaka sayısını gösterir. Bu ifadeyle kırınıma uğrayan x-ışınları maddenin içindeki kafes boşlukları

tespit etmekte yardımcı olur. Üretilen yeni tür veya doğal kristal özellikli maddeler belli bir düzen veya dizilim şeklinde olur. Bu nedenle kristal özellikleri belirlenecek maddenin üzerine gönderilen x-ışınları dedektörle  $2\theta$  açısı aralığında döndürülerek taranır ve X ışınlarının yoğunluğu kaydedilir. Bu şartlar altında elde edilen XRD geometrisi Bragg yasasına uygun olarak girişim meydana getirir ve yoğunluk sinyali oluşur.



Şekil 3.3. XRD cihazı şematik diyagramı

Dedektör bu x-ışınlarını algılar ve sinyal olarak kaydedilir. Kayıt sonrasında çıktı olarak (yazıcı ya da monitör) cihaza gönderilerek, monitörün görüntüleyebileceği sayma hızına dönüştürülür. Ölçülen maddenin x-ışını desenleri referans alınan minerallerin kırınım değerleriyle, numune üzerindeki analizler karşılaştırılır ve örnek hakkında bilgi detaylıca elde edilmiş olunur (Touloukian, 1977; El-ghandour vd., 2019; Pei vd., 2019; Dalbauer vd., 2019; Dutrow and Clark, 2019).

### 3.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İnsan gözünün görüş alanı çok kısıtlı olduğundan maddelerin detaylarına bakabilmek ve görebilmek için yüksek görüş özelliği olan cihazlara ihtiyaç duyulur. Bu nedenle tarama elektron mikroskobu (SEM) maddelerin detaylarını görmek ve incelemek için tercih edilen teknolojilerden biridir. İlk olarak Manfred von Ardenne ve çalışma grubu (1930) tarafından ortaya konan SEM, 1965 yılından itibaren ticari olarak kullanılmaya başlandı.

Maddeye nüfuz edebilme ve görüntü alabilmek için görüntüsü elde edilecek madde ile etkileşime geçecek SEM ucundaki elektronlar hızlandırılır (dalga boylarının kısaltılması). Dalga boyu küçülen elektronlar madde içinde daha yüksek çözüm/ayırım özelliğine erişir. Böylece görüntüsü alınacak maddenin görüntüsünün büyütülmesinide sağlar. Görüntüsü alınacak maddeden alınan sinyaller sayısal ortama aktarılır ve bilgisayar yardımı ile işlenerek görüntü deseni elde edilir (Zhou vd., 2007; Idris ve El-Zahhar, 2019).

Elektron mikroskobu optik kolon, numune odacığı elektronik donanım gibi üç ana kısımdan oluşur. Ayırma gücü 35 keV basamağında olan mikroskobun optik kolon içinde yer alan elektron tabancası elektron demetinin oluşumunu sağlamaktadır. Bu demetlere yüksek gerilimin uygulandığı zaman anot plakasında demetler toplanarak yönlendirme gerçekleştirilir. Görüntüsü alınacak maddede tarama yaparken kondansatör ve objektif merceklerden yararlanır. Sistemde bulunan tarama bobinleri ise gelen elektron demetini uygun şekilde saptırarak veriler elde edilir ve bu veriler işlenir (Erdin, 1986; Mendea vd., 2016).

Görüntüsü alınacak maddelerden güvenilir görüntü deseni elde etmek için partiküler elektron demetinin odaklandırılıp maddeye yönlendirildiğinde elektron sayısındaki farktan elektrostatik alan oluşturulur. Bu alan elektronun kontrol edilmesine yardım edilerek istenilen veriler elde edilir. İstenilen görüntünün alınması için madde üzerinde ve ilişkili yerlerin temiz olmasına özen gösterilir. Görüntüsü alınmak istenen maddeden istenilen şeklin elde edilmesi için çoğu zaman madde yüzeyi kaplanır. Bu tez çalışmasında maddeler kurutuldu, yüzeyleri altın ile kaplandı ve sonunda taramalı elektron mikroskobundan (SEM) ölçüm alındı (Erdin, 1986).

### **3.4 EDX (Enerji Dağılımlı X Işını) Analizi**

Bir maddenin veya numunenin temel bileşenlerini tespit etmede kullanılan tekniklerin başında x-ışını teknoloji gelir. Enerjileri yüksek olan hızlandırılmış elektronlar maddenin yüzeyine gönderildiğinde elektron kopmasına neden olur. Bu kopan elektronlar atomik yörüngenin boşluğuna sıçrama yapar ve bunun sonunda da x-ışını meydana gelir. Bu ışınlar EDX cihazı tarafından algılanarak bilgisayar ortamında en üst

yerler oluşur. Bunun sonucunda da elementler ve oranları hakkında bilgi edinilir (Mendea vd., 2016, Egerton ve Watanabe, 2018; Ay, 2017).

### **3.5 Empedans Spektroskopisi (ES)**

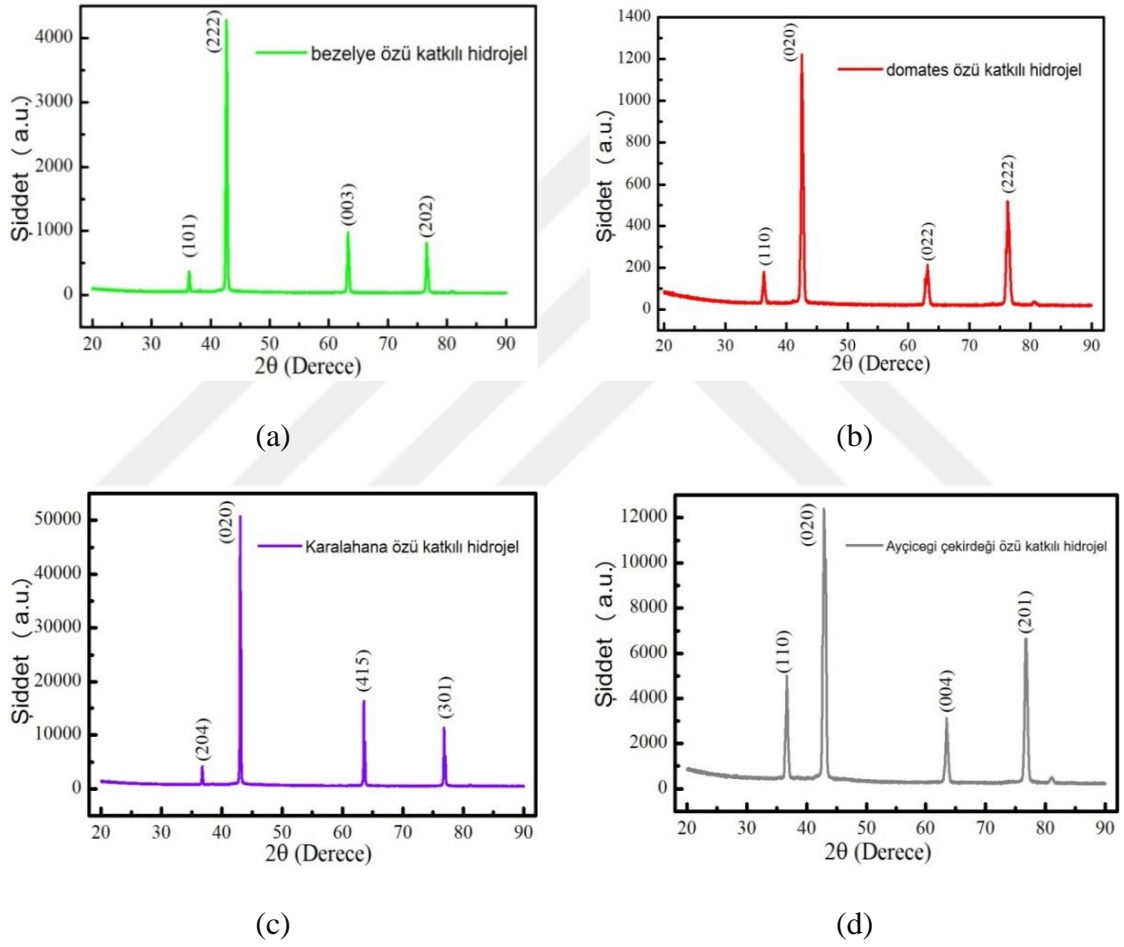
Bir maddenin elektrik, iletkenlik ve dielektrik özelliklerini araştırmada kullanılan tekniklerden biriside empedans spektroskopisi (ES) yöntemidir. Bu yöntem ile bir maddenin dielektrik özellikle frekansla değişimini detaylıca araştırılıp kaydedilir. Bu yöntem ile bir maddenin dielektrik sabiti, yüzey öz direnci, iletkenliği, modülüs, empedansın gerçek ve sanal bileşenlerini, kayıp faktörünü, kapasitans, dipol davranışları ve yük iletim mekanizması özellikleri belirlenir (Lasia, 1999; Nimith vd., 2019; Gajula vd., in press; Kumar vd., 2016).

## BÖLÜM IV

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 4.1 XRD Analizi

Aynı derişimde bezelye, domates, ay çekirdeği ve karalahana özleri katkılı hidrojellerin XRD desenleri sırasıyla Şekil 4.1a, 4.1b, 4.1c ve 4.1d’ de verildi.



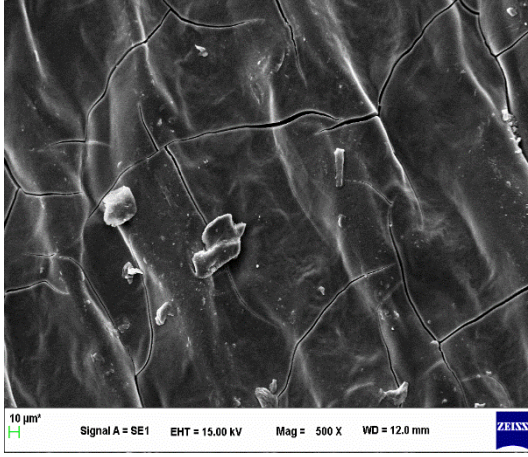
Şekil 4.1. 50 mg/L bezelye özü (a), domates özü (b), karalahana özü (c) ve ay çekirdeği özü (d) katkılı hidrojellerin XRD desenleri

50 mg/L bezelye özü (a), domates özü (b), karalahana özü (c) ve ay çekirdeği özü (d) katkılı hidrojellerin kristal yapısını, oryantasyonunu ve atomik düzenini belirleyen tipik XRD desenleri 20 – 90 derece aralğında belirlendi. Heterosiklik kimyasal bileşik olan organik gıda özleri katkılı hidrojellerin yapısını belirleyen düzlemleri her bir numune

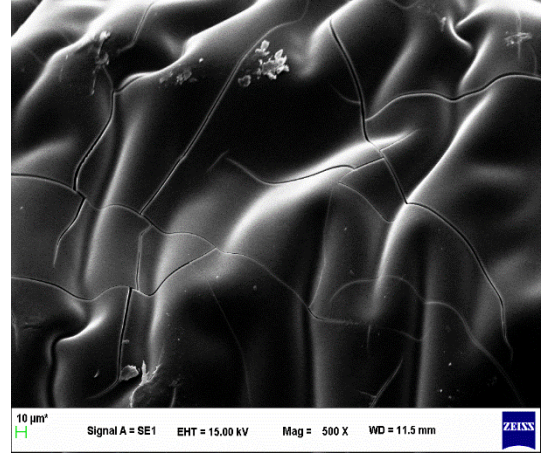
için ayrı ayrı belirlendi. Bezelye özü katkılı hidrojenlerin atomik düzeninin (101), (222), (003) ve (202) düzlemlerine karşılık gelen zirvelere sahip olduğu saptandı. Domates özü katkılı hidrojenlerin atomik düzeninin ise (110), (020), (022) ve (222) düzlemlerine karşılık gelen pikler sergiledi görüldü. Buna ilaveten karalahana özü ve ay çekirdeği özleri katkılı hidrojenlerin atomik düzenlerinin sırasıyla (204), (020), (415), (301) ve (110), (020), (004), (201) düzlemlerine karşılık gelen zirvelere sahip olduğu tespit edildi. Domates, karalahana ve ay çekirdeği özleri katkılı hidrojenlerin hepsinin (020) düzleminde maksimum absorpsiyon zirvesine sahip olduğu birbirine benzer olduğu ve dolayısıyla atomik yapısının atomik birbirlerine benzer olduğu saptandı. Buradan hareketle bu numunelerin dielektrik ve iletkenlik verilerinin de birbirine çok benzer olacağı sonucuna varıldı. Diğer taraftan bezelye katkılı hidrojenin zincirlerindeki moleküller arası kırıma bağlı olarak (222) düzleminde maksimum absorpsiyon zirvesine sahip olduğu dolayısıyla dielektrik ve iletkenlik özelliklerinde diğer organik gıda özlerinden farklı olacağı öngörüldü.

#### **4.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi**

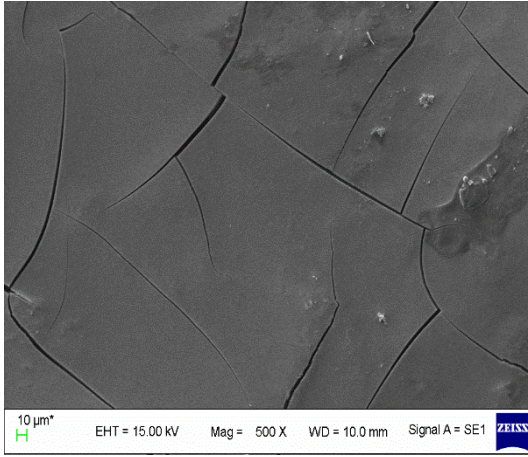
Aynı derişimde bezelye, domates, ay çekirdeği ve karalahana özleri katkılı hidrojenlerin 10 µm ölçekli Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 4.2a, 4.2b, 4.2c ve 4.2d' de gösterildi.



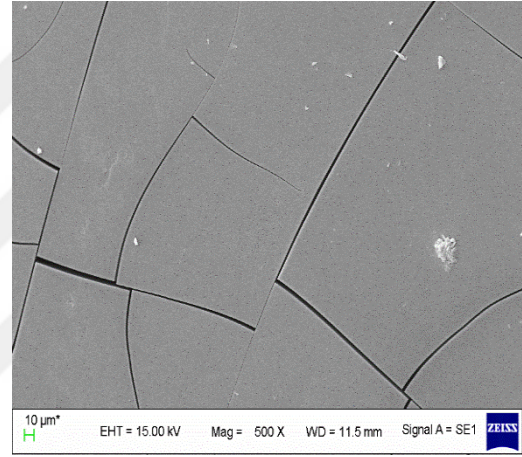
(a)



(b)



(c)



(d)

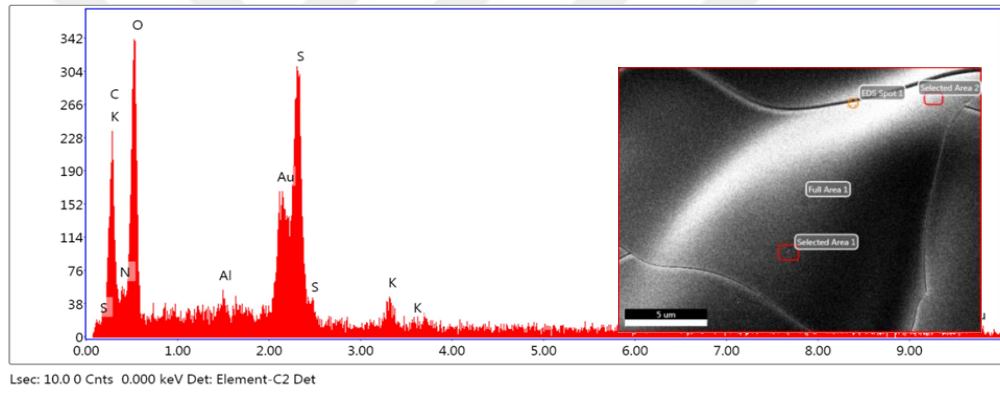
**Şekil 4.2.** 50 mg/L bezelye özü (a), domates özü (b), karalahana özü (c) ve ay çekirdeği özü (d) katkılı hidrojenlerin 10 µm ölçekli SEM görüntüleri

50 mg/L bezelye özü, domates özü, karalahana özü ve ay çekirdeği özü katkılı hidrojenlerin morfolojik durumunu belirleyen SEM görüntüleri ayrı ayrı elde edildi. Organik gıda özleri katkılı hidrojenlerin aynı ölçekli SEM görüntülerinden küçük kümelenmelerin olmasıyla birlikte hemen hemen homojen dağılım saplandığı belirlendi. Bu homojen dağılım sayesinde tüm numunelerin yüzey morfolojisinin neredeyse pürüzsüz olduğu görüldü. En yoğun kümelenmenin bezelye özü katkılı hidrojen olduğu tespit edildi. İstenmedik kümelenmelerin bu numunenin iletkenliği üzerinde azaltıcı etki yapacağı ve diğer organik gıda özleri katkılı hidrojenlere kıyasla daha düşük iletkenlik değerine sahip olacağı sonucuna varıldı. Karalahana özünün hidrojen yüzey ve kanalları içerisinde diğerlerine kıyasla daha homojen dağılım gösterdiği ve bu nedenle iletkenliğinin diğerlerine kıyasla daha yüksek değerler alacağı düşünüldü. Ayrıca tüm

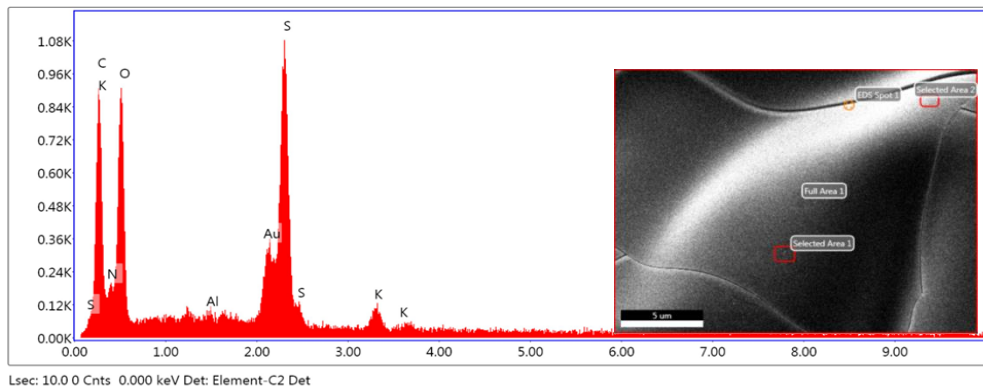
örneklerin 10 µm ölçekli SEM görüntüleri analizinden gıda moleküllerinin hareket edebildiği ortalama serbest yolun, bölgesel çatlaklar olmasına rağmen yaklaşık 80 µm uzunluğunda olduğu görüldü. Bölgesel çatlakların varlığı iletkenlik değerleri üzerinde azaltıcı etkiye neden olsa bile ortalama serbest yolların uzun olmasının (80 µm) numunelerin iletkenlik değerleri üzerinde iyileştirici etki oluşturacağı kanaatine varıldı. Bu durumun gıda moleküllerinin hareketliliğini artırdığından, genel olarak organik gıda özleri katkılı hidrojellerin iletkenliği üzerinde artırıcı bir etkiye sahip olduğu belirlendi.

### 4.3 EDX Analizi

Aynı derişimde bezelye (a ve b) ve domates (c ve d) özleri katkılı hidrojellerin farklı bölgelere ait EDX desenleri Şekil 4.3 a, 4.3b, 4.3c ve 4.3d' de verildi.

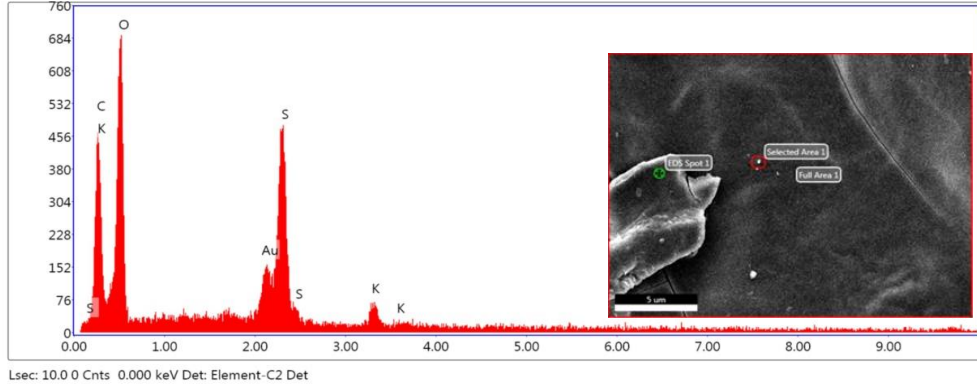


(a)

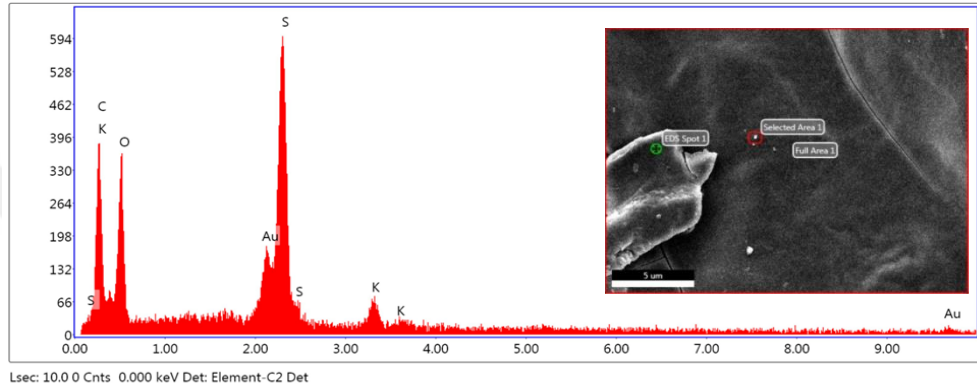


(b)

**Şekil 4.3.** 50 mg/L bezelye özü (a ve b) ve domates özü (c ve d) hidrojellerin SEM görüntülerinin farklı bölgeleri için EDX desenleri



(c)



(d)

**Şekil 4.3. (Devam)** 50 mg/L bezelye özü (a ve b) ve domates özü (c ve d) hidrojellerin SEM görüntülerinin farklı bölgeleri için EDX desenleri

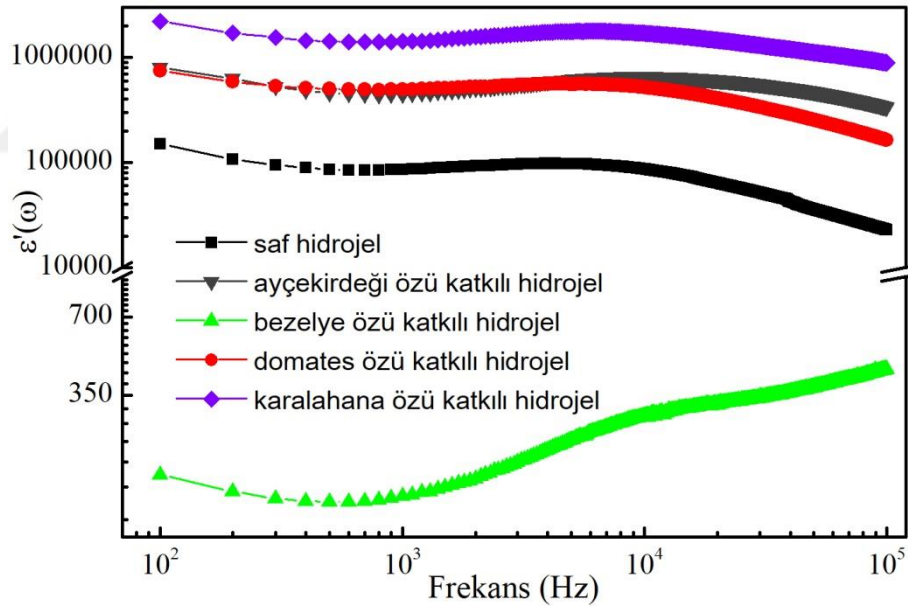
50 mg/L bezelye özü (a ve b) ve domates özü (c ve d) hidrojellerin niteleyici elementel dağılımı, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile bağlantılı olarak tahribatsız enerji dağıtıcı X-ışını (EDX) ünitesi ile her iki numune içinde SEM görüntüsünün farklı bölgeleri için araştırıldı. Bezelye özü katkılı hidrojelin 5 µm ölçekli SEM görüntüsünden sırasıyla Selected Area 1 (a) ve Full Area 1 (b) alanlarından elementel analiz yapmak için iki ayrı EDX deseni alındı. Numunenin EDX analizi ile belirlenen azot (N), karbon (C), oksijen (O), potasyum (K) ve kükürt (S) elementlerinin varlığı, bezelye özünün hidrojellerle aşı kopolimerizasyonunun başarılı oluşumu olarak yorumlandı. Ayrıca altın (Au) elementi, EDX ölçümü için gerekli olan altın ızgaranın kullanılmasından kaynaklandığı saptandı. Diğer taraftan domates özü katkılı hidrojelin yine 5 µm ölçekli SEM görüntüsünden sırasıyla Selected Area 1 (c) ve Full Area 1 (d) alanlarından elementel analiz yapmak için iki ayrı EDX deseni alındı. Bu numunelerin niteleyici elementel dağılımında karbon (C), oksijen (O), potasyum (K) ve kükürt (S) elementlerinin varlığı tespit edildi. Bu elementlerin varlığının tıpkı bezelye özü katkılı

örnekte olduğu gibi domates özünün hidrojenlerle aşı kopolimerizasyonunun başarılı olmasının sonucu olarak değerlendirildi. Her iki numune için EDX sonuçları birlikte değerlendirildiğinde bezelye özü katkılı hidrojenin domates özü katkılı hidrojelden farklı olarak azot elementi barındırdığı saptandı. Bu azot elementinin hidrojenin ağlarıyla bağ yapmasının bezelye özü katkılı hidrojenlerin iletkenliği üzerinde azaltıcı bir etkiye neden olabileceği sonucuna varıldı.

#### 4.4 Ayçekirdeği, Bezelye, Domates ve Karalahana Özü Katkılı Hidrojellerin

##### Empedans Spektroskopi Analizi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojenlerin karmaşık dielektrik sabitinin gerçek kısmının ( $\epsilon'(\omega)$ ) frekansla olan değişimi geniş frekans aralığında ( $10^2$  Hz -  $10^5$  Hz) Şekil 4.4'de verildi.

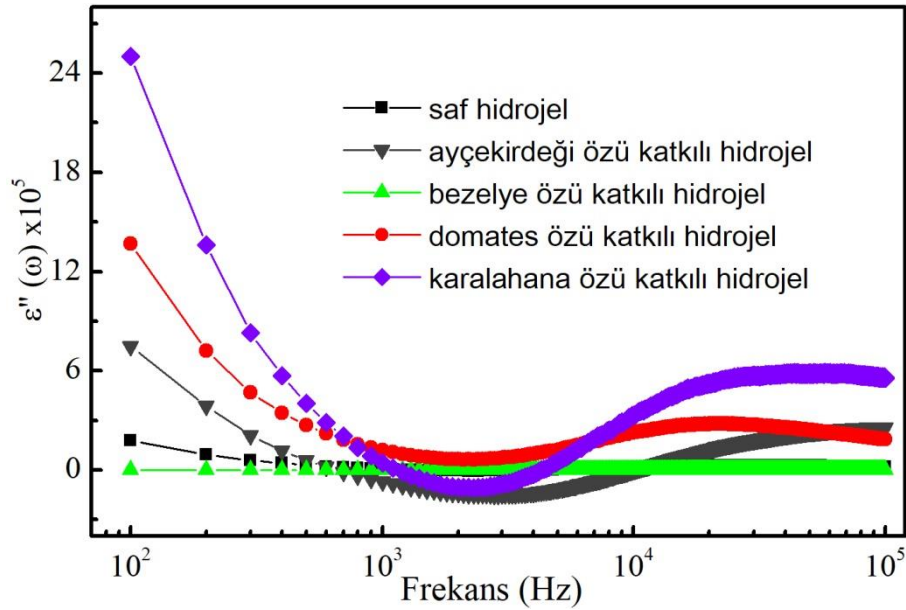


**Şekil 4.4.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojenlerin karmaşık dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde organik gıda özleri katkılı hidrojenlerin  $\epsilon'(\omega)$  değerinin artan frekansla birlikte monoton bir şekilde azaldığı Şekil 4.4'te görüldü. Bu genel trende bezelye özü katkılı hidrojenlerin uymadığı tespit edildi. Bu numunenin  $\epsilon'(\omega)$  değerinin artan frekansla birlikte monoton bir şekilde arttığı belirlendi. Saf, ay çekirdeği, domates

ve karalahana özleri katkılı hidrojenlerin düşük frekans bölgesindeki ( $10^2$  Hz -  $10^3$  Hz aralığında)  $\epsilon'(\omega)$  değerlerinin ara yüzey ve elektrot polarizasyondan dolayı düşük değerleri aldığı saptandı. Bezelye özü katkılı hidrojenlerin  $\epsilon'(\omega)$  değerinin ise bu frekans bölgesinde diğerlerinden farklı olarak düşük değerler aldığı belirlendi. Bu bölgede düşük değer almasında bezelye özü katkılı hidrojenlerin hiçbir ara yüzey etkileşimi olmamasının; bu nedenle bu bölgedeki dış elektrik alandan etkilenmemesinin ve elektrot polarizasyon oluşmamasının etkin olduğu tespit edildi. Başka bir ifadeyle bezelye özü ile hidrojel bantları arasındaki etkileşim ihmal edilecek kadar düşük düzeyde olmasından dolayı bu numuneye ait  $\epsilon'(\omega)$  değerinin tüm frekans aralığı boyunca en düşük değeri aldığı saptandı. Saf ve aynı derişimde organik gıda özleri katkılı hidrojenlerin orta ve yüksek frekans bölgelerindeki  $\epsilon'(\omega)$  değerlerinin Brownian hareketi ve Maxwell-Wagner yaklaşımı ile ilişkili olduğu tespit edildi. Yüksek frekans bölgesinde ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojenlerin düşük frekans bölgesine göre kısmen düşük değerler almasında yeniden yönelim polarizasyonunun ve dielektrik rahatlama mekanizmasının etkin olduğu belirlendi.

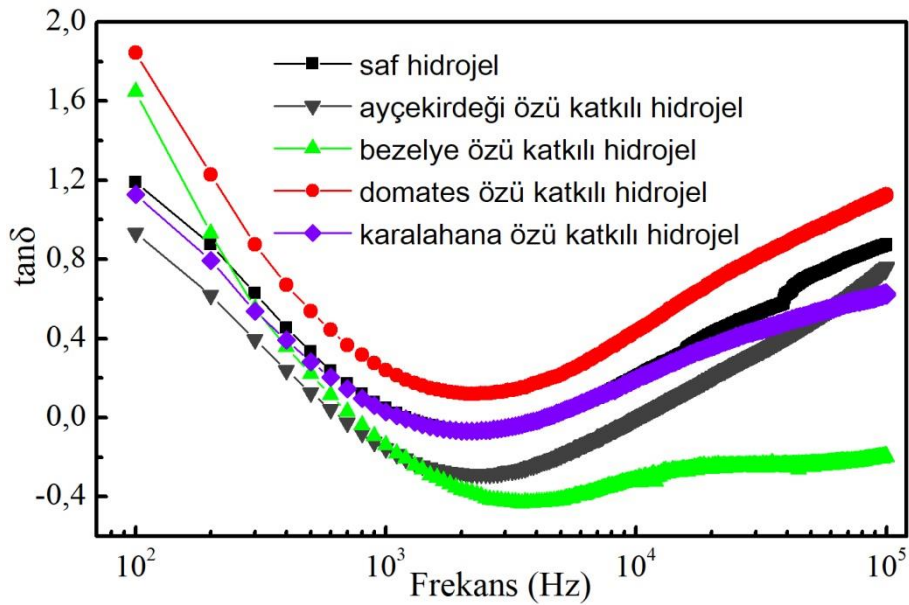
Şekil 4.5' de saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojenlerin karmaşık dielektrik sabitinin sanal kısmının ( $\epsilon''(\omega)$ ) frekansla olan değişimi verildi.



**Şekil 4.5.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojenlerin karmaşık dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin  $\varepsilon''(\omega)$  değerlerinin artan frekansla hemen hemen parabolik bir davranış sergilediği saptandı. Bu parabolik davranışa bezelye özü katkılı hidrojellerin uyumlu davranmadığı Şekil 4.5'de belirlendi. Bezelye özü katkılı hidrojelin parabolik davranış sergilememesinin temel nedeni olarak elektrot ve ara yüzey polarizasyon mekanizmalarının bu numune için etkin olmaması olarak görüldü. Düşük frekans bölgesinde tüm numunelerin  $\varepsilon''(\omega)$  değerlerinin elektrot ve ara yüzey polarizasyona bağlı olarak yüksek değerler aldığı tespit edildi. Orta frekans bölgesinde ( $10^3$  Hz -  $10^4$  Hz aralığında) bezelye hariç diğer örnekler için görülen çukur etkisinin dielektrik rahatlama mekanizmasından kaynaklandığı saptandı. Yüksek frekans bölgesinde ise tüm numunelerin  $\varepsilon''(\omega)$  değerlerinin,  $\varepsilon'(\omega)$  değerinde olduğu gibi Brownian hareketi ve Maxwell-Wagner teorisi ile uyumlu olduğu görüldü. Yine bu bölgedeki  $\varepsilon''(\omega)$  değerlerinin yeniden yönelim polarizasyonun etkisi altında olduğu sonucuna varıldı.

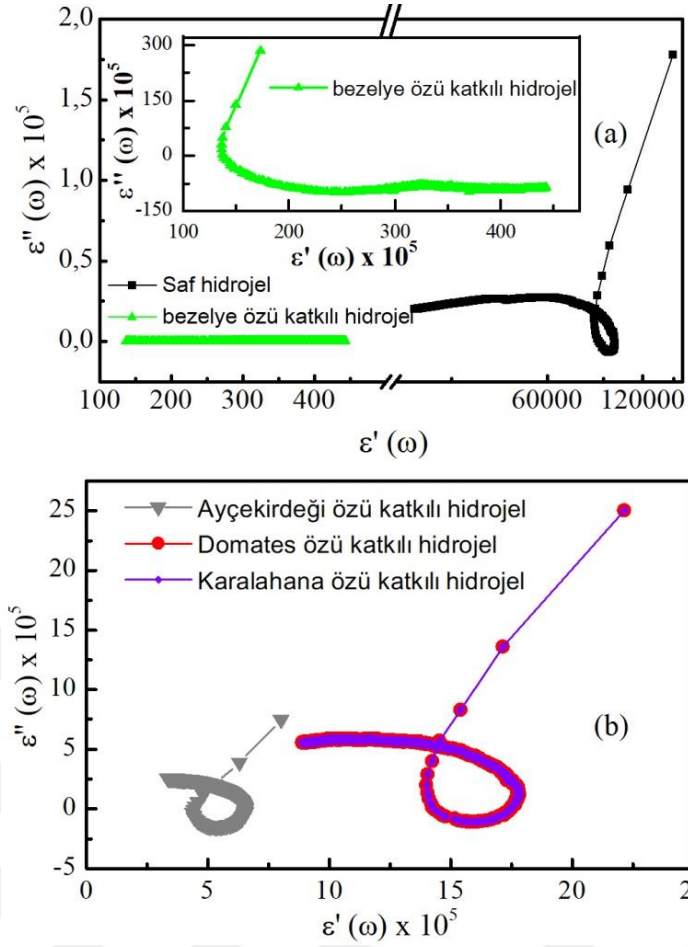
Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin tanjant faktörünün/Q-faktörünün ( $\tan\delta$ )  $10^2$  Hz -  $10^5$  Hz frekans aralığındaki frekansa bağlı değişimi Şekil 4.6' da gösterildi.



**Şekil 4.6.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin tanjant faktörünün frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerin tanjant faktörünün/Q-faktörünün ( $\tan\delta$ ) değerlerinin artan frekansla birlikte genel olarak parabolik davranış sergiledikleri belirlendi. Bu genel parabolik davranışa hidrojel bantlarla moleküler düzeyde etkileşimi diğer organik gıda özlerine kıyasla farklı olan bezelye özü katkılı hidrojellerin uymadığı saptandı. Düşük frekans bölgesinde saf ve aynı derişimde organik gıda özleri katkılı hidrojellerin  $\tan\delta$  değerlerinin elektrot polarizasyona bağlı olarak yüksek değerler aldığı belirlendi. Bu bölgede organik gıda molekülleri uygulanan dış elektrik alan yönünde hizalanarak dipol polarizasyon oluşumuna sebep olacak kutuplama zamanına sahip olduğu tespit edildi. Orta frekans bölgesinde ise tüm numunelerin  $\tan\delta$  değerlerinin dielektrik rahatlama etkisinden dolayı en düşük değeri aldığı saptandı. Bu bölgede, saf ve organik gıda özleri katkılı hidrojeller için  $\tan(\delta)$  değerlerinin çukur davranışlarının moleküller arası titreşim hareketlerinden ve gıda molekülleri ile hidrojel bantları arasındaki ara yüzey etkileşiminden kaynaklandığı düşünöldü. Ayrıca yine bu bölgede tüm numuneler için  $\tan(\delta)$  değerlerinin Havriliak-Negami rahatlama modeli ve visko-elastik etkileşimlerle ilişkili olduğu belirlendi. Artan frekansla birlikte tüm numunelerin  $\tan\delta$  değerlerinin yeniden yönelim polarizasyonun etkisiyle yüksek değerler aldığı göröldü. Bu bölgede organik gıda molekülleri uygulanan dış elektrik alan etkisi altında yeniden yönelebilmek yani yeniden polarize olabilmek özelliğine sahip olduğu sonucuna varıldı.

Şekil 4.7'de saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin karmaşık dielektrik sabitinin düzlem çizgileri sırasıyla Şekil 4.7a ve 4.7b'de verildi.

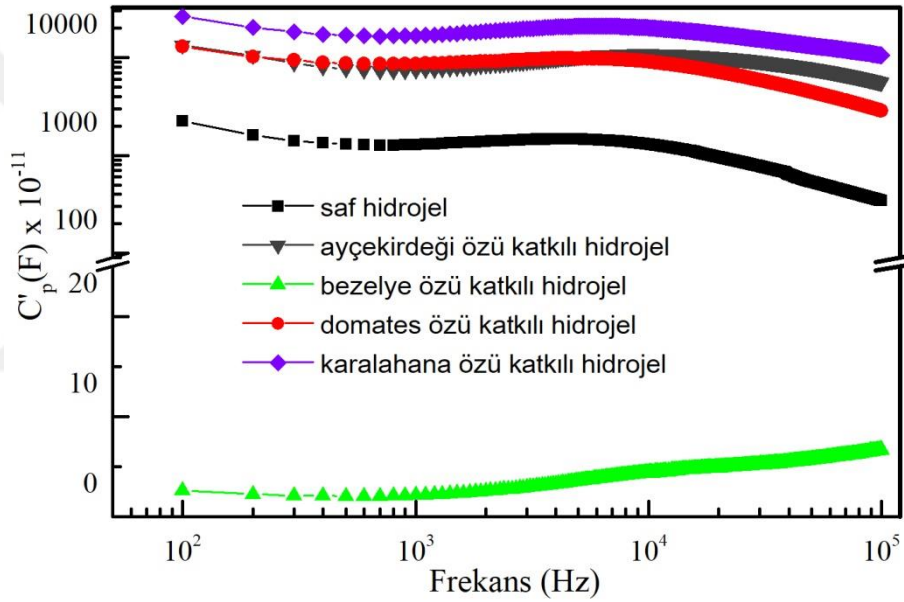


**Şekil 4.7.** Saf ve organik gıda katkı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojenlerin dielektrik düzlem çizimleri

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkıli hidrojenlerin deneysel dielektrik düzlem çizimlerinin teorik Havriliak-Negami gevşeme modeli ile uyumlu olduğu belirlendi. Tüm numuneler için dielektrik düzlem çizimlerinin Debye Modelin'de olduğu gibi simetrik bir yarım daire oluşturmadığı tespit edildi. Bu doğrultuda, saf ve organik gıda özleri katkıli hidrojenler için Havriliak-Negami modelinin Cole-Cole grafiklerinin, gerçek eksenini farklı açılardan kesen bir şerit gibi görünen gevşeme zamanlarının asimetric bir eğri ve asimetric dağılımı olduğu belirlendi. Düşük ve yüksek frekans bölgelerinde, hidrojen kanalları içerisinde organik gıda özlerinin geniş dağılımına bağlı olarak tek bir gevşeme yerine iki gevşeme olduğu saptandı. Bu iki gevşeme değerinin, sırasıyla hidrojen/organik gıda özleri arasındaki elektrot polarizasyonundan ve ara yüzey etkileşiminin neden olduğu düşünüldü. Saf ve organik gıda özleri katkıli hidrojenlerin Cole-Cole çizimlerinin, düşük frekans bölgesindeki Fourier dönüşümünün Brown hareketi ve asimptotik değerlerinden

kaynaklandığı tespit edildi. Diğer taraftan, yüksek frekans bölgesinde dielektrik düzlem çizgilerinin, sayısal Laplace dönüşümü ve dielektrik rahatlama ile ilgili visko-elastik davranışların etkisi altında olduğu saptandı. Saf ve organik gıda özleri katkılı hidrojeller için radyo dalgalarına tepki vermek için dielektrik davranışların bir belirtisi olan Havriliak-Negami gevşemeleri, aslında elektriksel iletkenliğin bir ölçüsü olarak kabul edildi.

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin paralel kapasitansının ( $C'_p(F)$ )  $10^2$  Hz -  $10^5$  Hz frekans aralığındaki frekansa bağlı değişimi Şekil 4.8'de gösterildi.

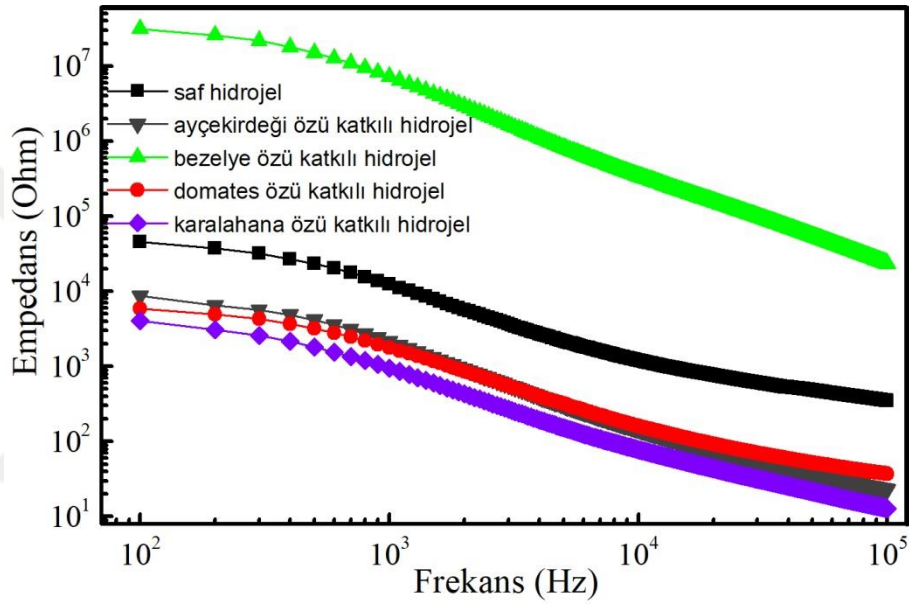


**Şekil 4.8.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin paralel kapasitansının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin paralel kapasitansının artan frekansla neredeyse doğrusal olarak arttığı yüksek frekans bölgesinde ise azaldığı tespit edildi. Düşük frekans bölgesinde bezelye özü katkılı hidrojel için aynı frekans değerlerinde en düşük kapasitans değerine sahip olduğu belirlendi. Artan frekansta kaybolan elektrot polarizasyonu nedeniyle saf ve organik gıda özleri katkılı hidrojellerin kapasitif etkisinin giderek azaldığı saptandı. Bezelye özü katkılı hidrojellerin kapasitans değerlerinin diğer numunelerden oldukça farklı davrandığı belirlendi. Bu farklı davranışın bezelye molekülleri ile hidrojel bağları arasında oluşan

ara yüzey etkileşimlerin diğerlerine kıyasla farklı olmasından kaynaklandığı tespit edildi. Tüm frekans aralığı boyunca en yüksek kapasitans değerinin yüksek polarizasyon kabiliyetine sahip olan karalahana özü katkılı hidrojele ait olduğu belirlendi.

Şekil 4.9’da saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin empedansının frekansla olan değişimi verildi.

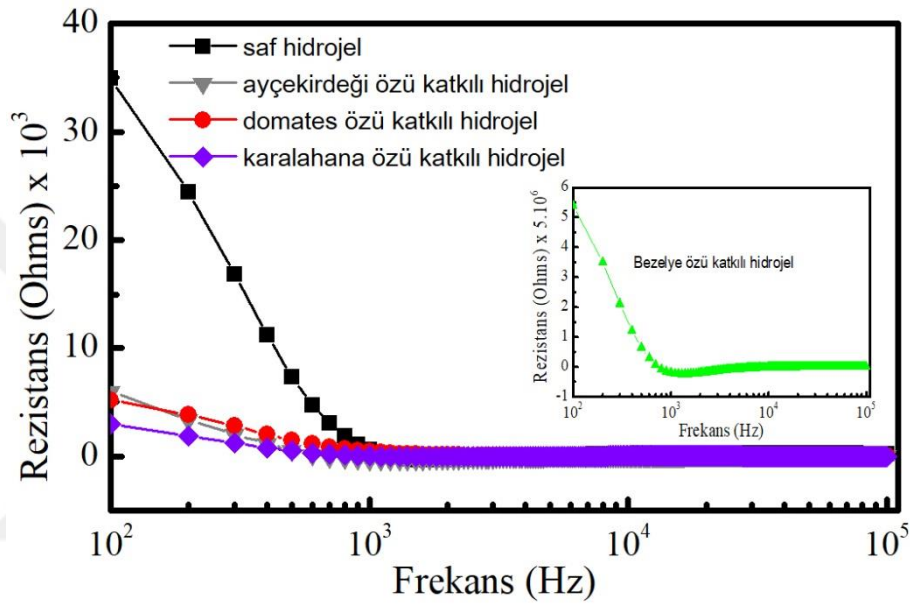


**Şekil 4.9.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin empedansının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin empedans değerlerinin artan frekansla neredeyse doğrusal olarak azaldığı Şekil 4.9’da görüldü. Tüm numunelerin düşük frekans bölgesinde empedans değerlerinin yüksek değerler almasının nedeni olarak elektrot polarizasyon ve gıda molekülleri ile hidrojel ara yüzeylerinde oluşan etkileşimler olduğu saptandı. Yüksek frekans bölgesinde tüm numunelerin empedans değerinin düşük çıkmasının nedeni ise organik gıda özü katkılı hidrojellerde bulunan moleküllerin uygulanan elektrik alanı yönüne doğru ilerlemek için gerekli zamanı bulamaması böylece elektrot polarizasyonun etkinliğini kaybetmesi ve dielektrik rahatlamının etkin hale gelmesi olarak belirlendi. Diğer taraftan bakıldığında, yüksek empedans değerine sahip bezelye özü katkılı hidrojellerin, elektrot ve hidrojel

arayüzlerindeki etkileşimler nedeniyle saf hidrojellerden daha düşük kapasitif etkiye sahip olacağı sonucuna varıldı.

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin rezistansının frekansla olan değişimi Şekil 4.10'da verildi. Yine aynı derişimde bezelye özü katkılı hidrojelin rezistansının frekansla olan değişimi Şekil 4.10' da iç grafik olarak gösterildi.

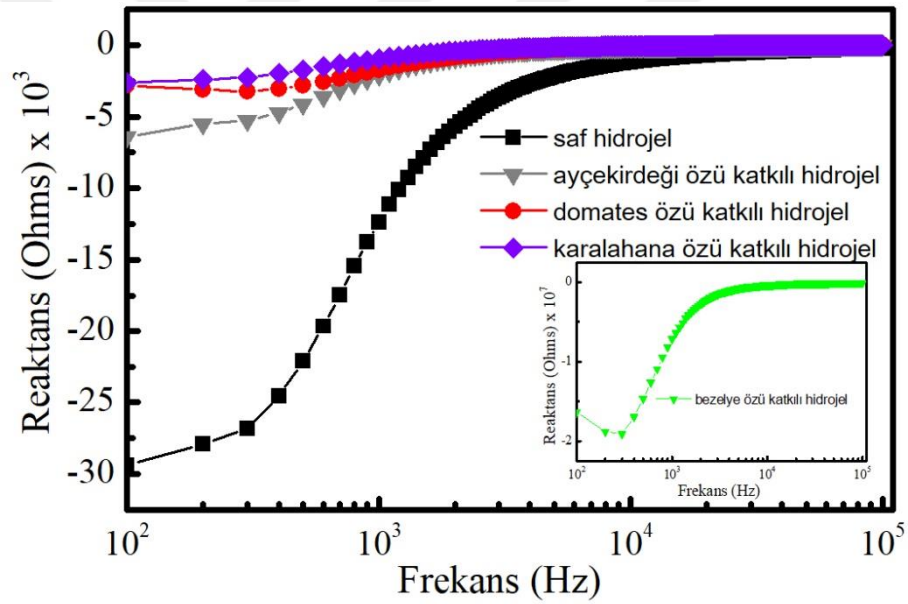


Şekil 4.10. Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin rezistansının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin rezistans değerlerinin artan frekansla birlikte azalma eğiliminde olduğu Şekil 4.10'da görüldü. Bu azalmanın düşük frekans bölgesinde saf ve bezelye özü katkılı hidrojeller için doğrusal; ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerde üstel olduğu saptandı. Yüksek frekans bölgesinde ise tüm örneklerin rezistans değerinin artan frekanstan bağımsız davrandığı belirlendi. Tüm numunelerin rezistans değerlerinin elektrot ve ara yüzey polarizasyon nedeniyle düşük frekans bölgesinde yüksek değerler aldığı tespit edildi. Öte taraftan yüksek frekans bölgesinden dielektrik rahatlamaya bağlı olarak tüm numunelerin rezistans değerlerin sıfıra yakın değerler aldığı saptandı. Bu bölgede elektrot ve ara yüzey polarizasyon mekanizmalarının etkinliğinin neredeyse tamamen yitirdiği belirlendi. Saf, ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerin

rezistans değerlerinin moleküler mobilitelerine ve kapasitif özelliklerine bağlı olarak rezistansının  $10^3$  Ohm mertebesinde değerler aldığı görüldü. Buna karşın bezelye özü katkılı hidrojellerin bünyesinden bulundurduğu farklı elementlerin oluşturduğu bağlara bağlı olarak kazandığı moleküler iletme karşı direnç nedeniyle rezistans değerinin  $10^6$  Ohm mertebesinde olduğu tespit edildi. Buradan hareketle bezelye özü katkılı hidrojellerin iletkenliklerinin diğer numunelere kıyasla daha düşük olacağı sonucuna varıldı.

Şekil 4.11' de saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin reaktansının frekansla olan değişimi gösterildi. Yine aynı derişimde bezelye özü katkılı hidrojelin reaktansının frekansla olan değişimi Şekil 4.11' de iç grafik olarak verildi.

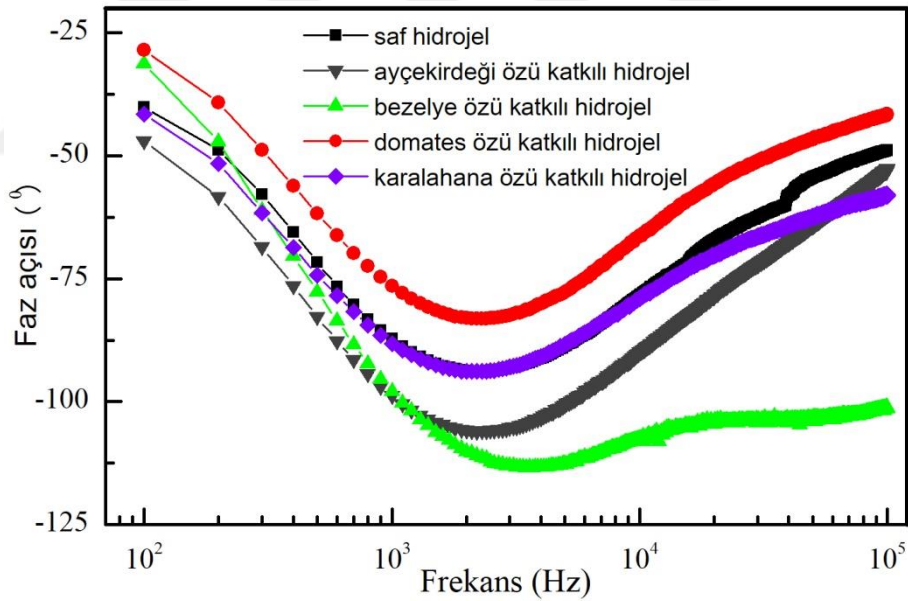


**Şekil 4.11.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin reaktansının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin reaktans değerlerinin artan frekansla birlikte artma eğiliminde olduğu Şekil 4.11'da görüldü. Bu artmanın düşük frekans bölgesinde saf hidrojeller için hemen hemen doğrusal olduğu saptandı. Ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerde ise üstel olduğu görüldü. Aynı frekans bölgesinde bezelye özü katkılı hidrojelin reaktansının bir çukur değer sergilediği belirlendi. Bu durumun bezelye moleküllerinin hidrojel

kanallarındaki etkileşimin diğer numunelerden farklı olmasının bir sonucu olduğu saptandı. Yüksek frekans bölgesinde ise tüm örneklerin reaktans değerlerinin artan frekanstan etkilenmediği belirlendi. Düşük frekans bölgesinde bütün örneklerin reaktans değerlerin düşük kapasitif etkiden dolayı düşük değerler aldığı tespit edildi. Artan frekansla birlikte elektrot ve ara yüzey polarizasyon bağlı olarak tüm numuneler için kapasitif etkinin arttığı (bezelye özü katkılı hidrojel hariç) sonra ise bir doyum noktasına ulaştığı saptandı. Bu doyum noktasında numunelerin reaktans değerleri üzerinde dielektrik rahatlamının etkin olduğu belirlendi. Yine rezistans değerlerinde olduğu gibi bezelye özü katkılı hidrojin reaktans değerinin de diğer numunelere kıyasla çok yüksek değerler aldığı tespit edildi.

Şekil 4.12’de saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin faz açısının frekansla olan değişimi verildi.

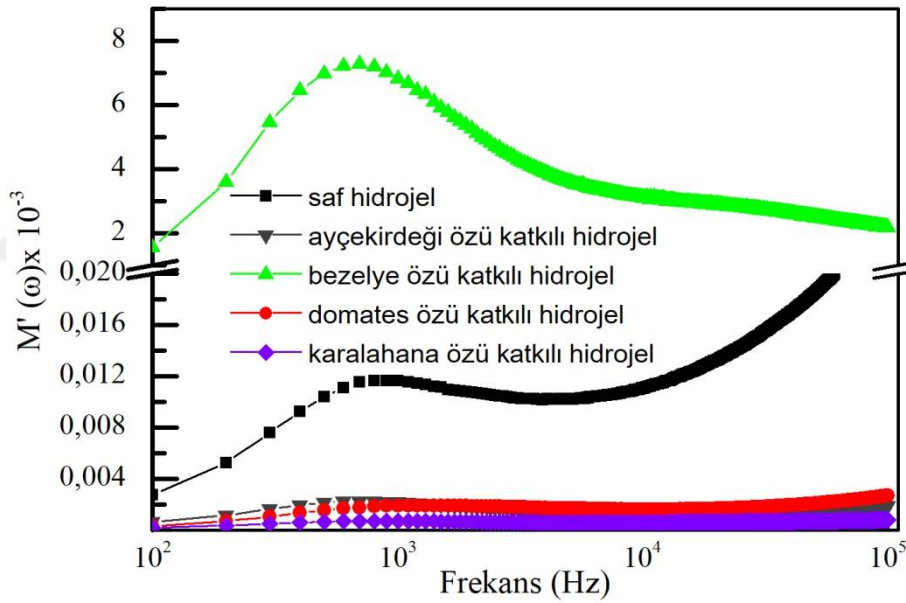


**Şekil 4.12.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin faz açısının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerin faz açısının artan frekansla birlikte genel olarak parabolik davranış sergiledikleri belirlendi. Bu genel parabolik davranışa bezelye özü katkılı hidrojellerin uymadığı saptandı. Bunun temel nedeninin bezelye özü moleküllerinin hidrojel bağlarla

olan etkileşiminin diğer organik gıda özlerinden farklı olması gösterildi. Düşük frekans bölgesinde tüm organik gıda özü katkılı hidrojellerin elektrot ve yüzey polarizasyona bağlı olarak faz açısı değerlerinin yüksek olduğu tespit edildi. Dielektrik rahatlama mekanizmasının etkin olduğu  $10^3$  Hz -  $10^4$  Hz frekans aralığı bütün örneklerin faz açısı değerlerinin en düşük değerler aldığı belirlendi. Ayrıca bu bölgede visko-elastik etkileşimler de faz açısının düşük değerler almasında etkin olduğu saptandı. Artan frekansla birlikte bezelye hariç tüm numunelerin faz açısı değerlerinin dipolar polarizasyona bağlı olarak arttığı belirlendi.

Şekil 4.13’de saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin karmaşık elektrik modülünün gerçek kısmının ( $M'(\omega)$ )  $10^2$  Hz -  $10^5$  Hz frekans aralığındaki frekansa bağlı değişimi verildi.

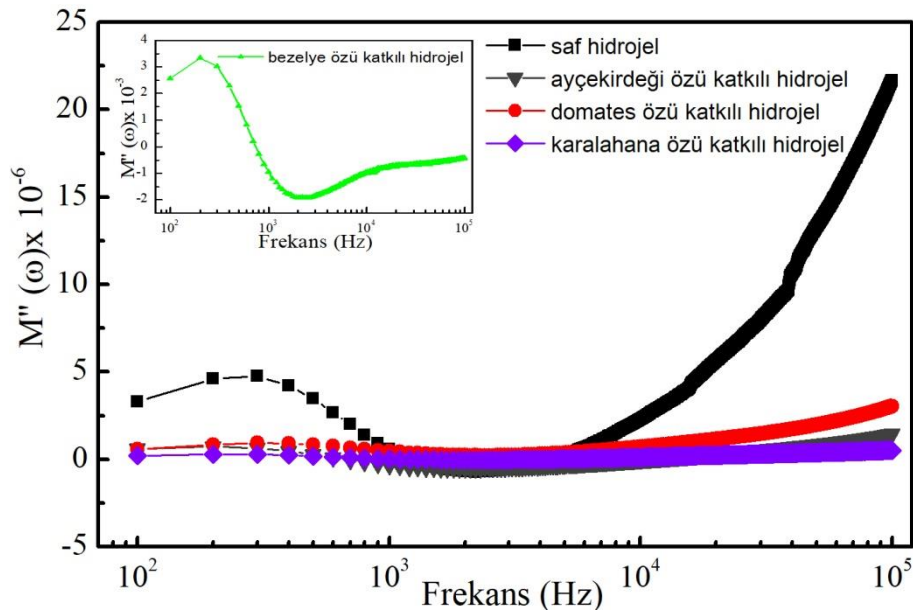


**Şekil 4.13.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık elektrik modülünün gerçek kısmının frekansla olan değişimi

Ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerin  $M'(\omega)$  değerlerinin artan frekanstan bağımsız davranış sergilediği saptandı. Saf hidrojin  $M'(\omega)$  değerlerinin ise düşük frekans bölgesinde bir tepe (pik) değere sahip olduğu belirlendi. Diğer taraftan bezelye özü katkılı hidrojin  $10^2$  Hz –  $10^5$  Hz aralığında diğer tüm numunelerden farklı bir davranış sergilediği tespit edildi. Düşük frekans bölgesinde en yüksek  $M'(\omega)$  değerlerinin bezelye özü katkılı hidrojele ait olmasında ara yüzey etkileşmelerin yüksek

olmasının etkili olduğu sonucuna varıldı. Bu bölgede ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerin  $M'(\omega)$  değerleri üzerinde elektrot polarizasyonun baskın olduğu ve bu nedenle frekans artışından etkilenmediği tespit edildi. Düşük frekans bölgesinin bittiği frekans civarında ( $10^3$  Hz) bezelye özü katkılı hidrojin  $M'(\omega)$  değerlerin dielektrik rahatlamaya bağlı olarak bir pik değer verdiği saptandı. Bu numunenin  $M'(\omega)$  değerlerin artan frekansla birlikte yeniden yönelim polarizasyonun etkisinde kalarak giderek azaldığı belirlendi. Bu durum bezelye özü katkılı hidrojin yüksek frekans bölgesinde düşük kapasitif özellik sergilemesinin bir sonucu olarak yorumlandı. Saf hidrojellerin yüksek frekans bölgesinde  $M'(\omega)$  değerlerin giderek artmasının nedeni yeniden yönelim polarizasyonun sebep olduğu kapasitif etkinin sonucu olarak görüldü.

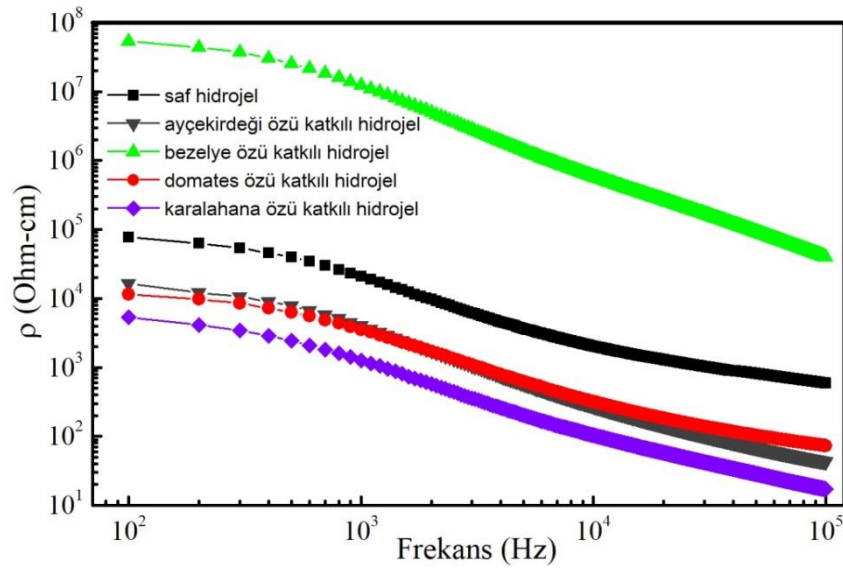
Şekil 4.14'de saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin karmaşık elektrik modülünün sanal kısmının ( $M''(\omega)$ ) frekansla olan değişimi verildi. Bezelye özü katkılı hidrojin  $M''(\omega)$  değerinin  $10^2$  Hz -  $10^5$  Hz frekans aralığındaki frekansa bağlı değişimi Şekil 4.14'de iç grafik olarak gösterildi.



**Şekil 4.14.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık elektrik modülünün sanal kısmının frekansla olan değişimi

Ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerin  $M''(\omega)$  değerlerinin tıpkı Şekil 4.13' de verilen  $M'(\omega)$  değerleri gibi artan frekanstan hemen bağımsız davranış sergilediği görüldü. Katkısız hidrojellerin  $M''(\omega)$  değerlerinin düşük frekans bölgesinde elektrot polarizasyondan kaynaklanan bir pik değerine sahip olduğu belirlendi. Bu bölgede bezelye özü katkılı hidrojel için hem saf hem de ay çekirdeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerden farklı olarak yüksek bir tepe değerine sahip olduğu saptandı. Bu bölgede ilgili numunenin moleküllerinin uygulanan dış elektrik alanında çok hızlı bir şekilde polarize olduğu sonucuna varıldı. Diğer organik gıda moleküllerinin bu bölgede polarize olmaları geç fakat kalıcı olacağı sonucuna varıldı. Orta frekans bölgesinde dielektrik rahatlama mekanizmasından dolayı bezelye özü katkılı hidrojellerin bir çukur değere sahip olduğu bu bölgede dipolar polarizasyon mekanizmasının etkin olduğu sonucuna varıldı. Yüksek frekans bölgesinde bezelye özü katkılı hidrojellerin  $M''(\omega)$  değerlerinin yeniden yönelim polarizasyonuna bağlı olarak yeniden yüksek değerler aldığı tespit edildi. Bu bölgede saf hidrojellerin en yüksek  $M''(\omega)$  değerlerine sahip olması yüksek kapasitif özelliğe sahip olmasının sonucu olarak tespit edildi.

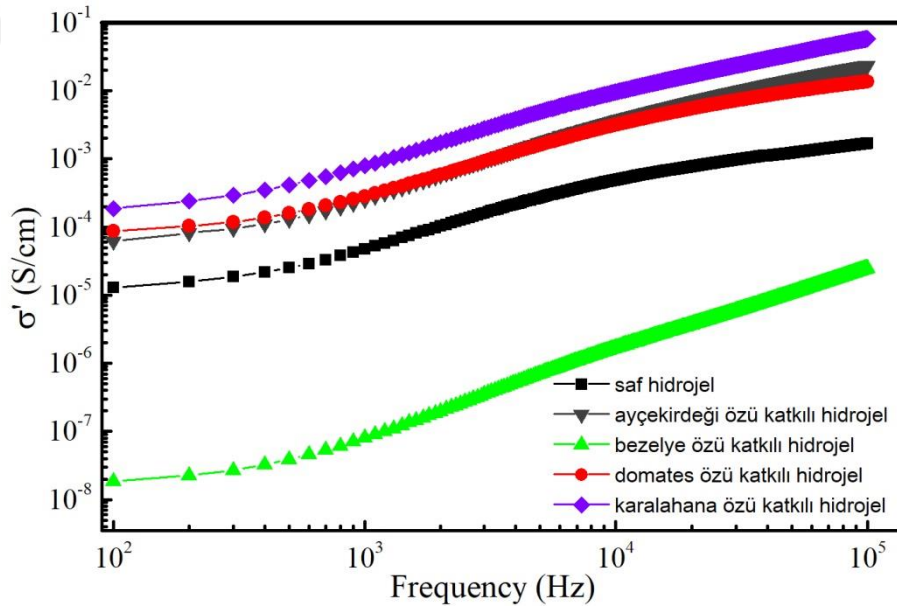
Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin yüzey özdirencinin ( $\rho$ )  $10^2$  Hz -  $10^5$  Hz frekans aralığındaki frekansla olan değişimi Şekil 4.15' de verildi.



**Şekil 4.15.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin yüzey özdirencinin frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin yüzey özdirencinin artan frekansla kademeli olarak azaldığı tespit edildi. Düşük frekans bölgesinde tüm numunelerin yüzey özdirencinin, elektrot polarizasyon etkiden dolayı yüksek değerler aldığı saptandı. Yüksek frekans aralığında ise dielektrik durulmadan dolayı bu değerlerin azaldığı belirlendi. Karalahana katkılı hidrojelın yüzey iletkenliğin daha yüksek olması nedeniyle gerek düşük gerekse yüksek frekans bölgesinde yüzey özdirencinin en düşük değeri aldığı belirlendi. Bu numunenin ortalama serbest yolunun diğer numunelere kıyasla daha uzun olduğu ve buna bağlı olarak yüzey özdirencinin düşük değeri aldığı saptandı. Diğer taraftan bezelye özü katkılı hidrojellerin yüzey direncinin tüm frekans aralığı boyunca en yüksek değere sahip olması, bezelye molekülleri ile hidrojel bağları arasında oluşan ara yüzey etkileşimlerin diğerlerine kıyasla daha büyük olmasından kaynaklandığı tespit edildi.

Şekil 4.16'da saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin karmaşık iletkenliğinin gerçeki kısmının ( $\sigma'(\omega)$ )  $10^2$  Hz -  $10^5$  Hz frekans aralığındaki frekansa bağlı değişimi verildi.

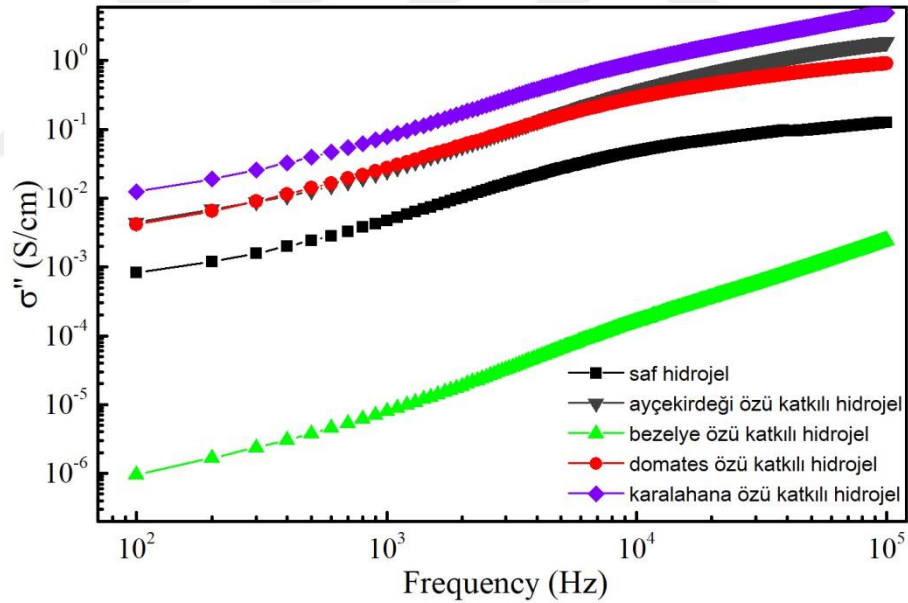


**Şekil 4.16.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık iletkenliğinin gerçeki kısmının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin karmaşık iletkenliğinin gerçeki kısmının artan frekansla birlikte hemen hemen doğrusal olarak

arttığı tespit edildi. Tüm frekans aralığı boyunca en yüksek ve en düşük iletkenlik değerlerin sırasıyla karalahana ve bezelye özü katkılı hidrojele ait olduğu belirlendi. Mobilite farklılığının ilgili örneklerin iletkenlik değerleri üzerinde etkin olduğu saptandı. Zira düşük mobiliteye sahip olan bezelye özü katkılı hidrojellerin en düşük iletkenlik değerine sahip olduğu tespit edildi. Düşük frekans bölgesinde tüm numunelerin düşük iletkenlik göstermesinin nedeni elektrot ve Maxwell-Wagner-Sillars ara yüzey polarizasyon etkileri olduğu belirlendi. Yüksek frekans bölgesinde yüksek iletkenlik değerlerinin nedeni ise dielektrik durulma mekanizmasının aktif olması olarak görüldü. Bu bölgede dielektrik durulmaya bağlı olarak tüm örneklerin iletkenlik değerinin artma eğiliminde olduğu saptandı.

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin karmaşık iletkenliğinin sanal kısmının ( $\sigma''(\omega)$ ) frekansla olan değişimi Şekil 4.17’de gösterildi.

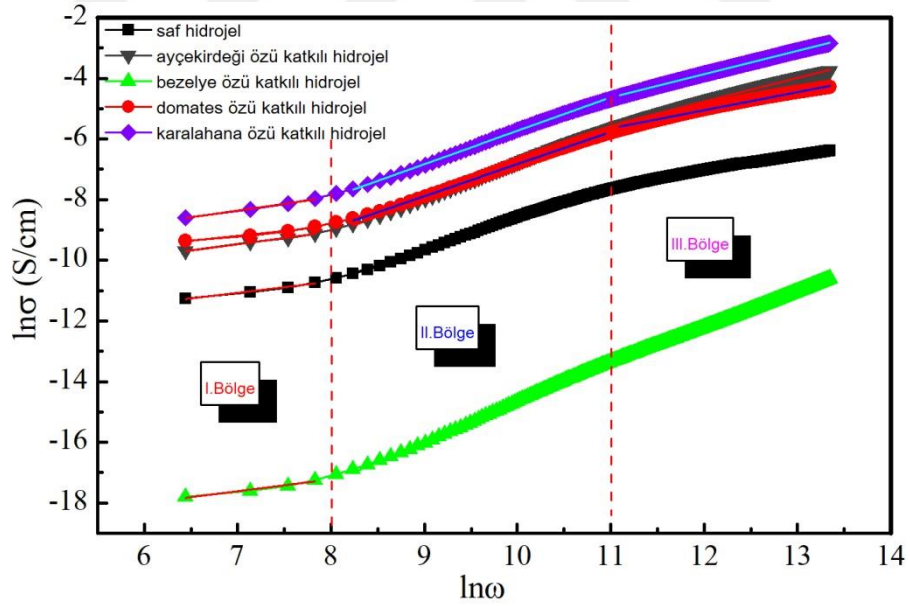


**Şekil 4.17.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin karmaşık iletkenliğinin sanal kısmının frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin karmaşık iletkenliğinin sanal kısmının artan frekansla birlikte tıpkı gerçek kısmında olduğu gibi neredeyse doğrusal bir şekilde artış sergilediği görüldü. Tüm frekans aralığı boyunca en düşük iletkenlik değerinin bezelye özü katkılı hidrojele ait olduğu saptandı. Diğer

taftan, ilgili frekans aralığında en yüksek iletkenlik değeri ise karalahana özü katkılı hidrojel için kayıt edildi. Bu farklılığın gıda moleküllerin hidrojel kanalları içerisindeki mobilitelerinin farklılığından (hareketliliklerinin) kaynaklandığı tespit edildi. Düşük frekans bölgesinde tüm numunelerin iletkenliğinin elektrot ve ara yüzey polarizasyon etkisi altında olduğu buna bağlı olarak da düşük değerler aldıkları görüldü. Bu bölgede gıda moleküllerinin uygulanan dış elektrik alanın yönüne bağlı olarak polarize oldukları dolayısıyla hidrojel kanallar içerisinde kolaylıkla hareket edemedikleri tespit edildi. Artan frekansla birlikte polarizasyon etkinin etkinliğini kaybettiği ve gıda moleküllerinin Koop's teorisine de uygun olarak hareketliliğinin arttığı saptandı. Bu bölgedeki yüksek iletkenlik değerlerinden tüm organik gıda moleküllerinin Maxwell dinamiği ve Brown hareketliyle uyumlu davranışlar sergilediği sonucuna varıldı.

Şekil 4.18'de saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin logaritmik iletkenliğinin ( $\ln\sigma$ ) açısai frekansla ( $\ln\omega$ ) olan değişimi verildi.

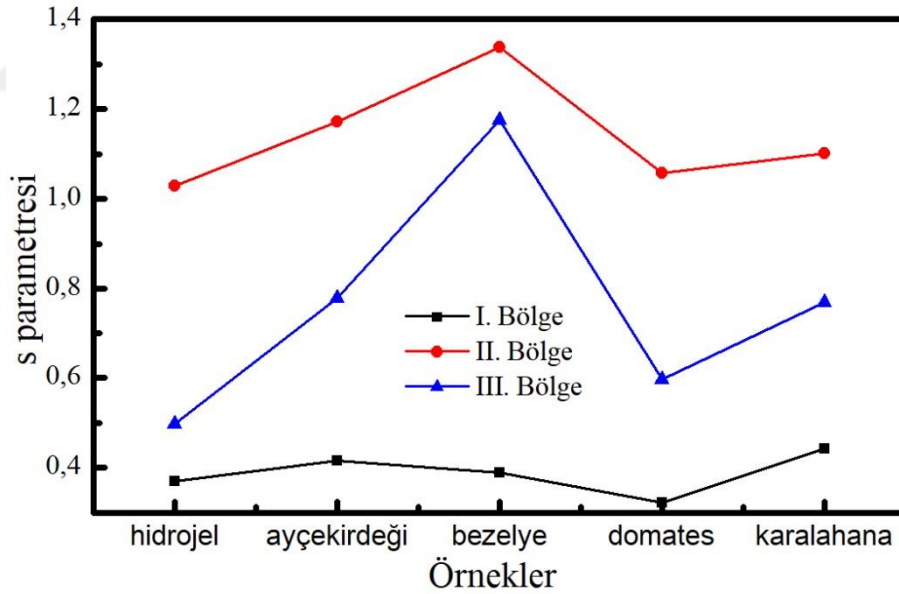


**Şekil 4.18.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin logaritmik iletkenliğinin açısai frekansla olan değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin logaritmik iletkenliklerinin artan açısai frekansla birlikte hemen hemen üstel olarak arttığı tespit edildi. Düşük ve yüksek frekans bölgesinde en düşük  $\ln\sigma_{ac}(\omega)$  değeri, düşük iyonik

hareketliliği ve yüksek empedans değeri nedeniyle bezelye özü katkılı hidrojele ait olduğu saptandı. Diğer taraftan, en yüksek  $\ln\sigma_{ac}(\omega)$  değerinin karalahana özü katkılı hidrojelde olduğu görüldü. Bu durum karalahana özü katkılı hidrojellerin yüzey ve yığın (bulk) yapısındaki molekülleri çok kolay hareket ettirebilen, yani en düşük yüzey direnci ve empedansa sahip olmasından kaynaklandığı sonucuna varıldı. Tüm numuneler için  $\ln\sigma_{ac}(\omega)$  değerlerinin, sırasıyla elektrot polarizasyonu, plato frekansı ve iletkenlik ile ilgili olan Jonscher yasası tarafından tanımlanan üç bölgede incelenebileceği görüldü. Her bölge için iletkenlik mekanizmasını tanımlayan  $s$  parametrelerinin farklı olduğu grafikteki eğimden tespit edildi. Yani bu üç bölgede de numunelerin iletkenlik özelliklerini belirleyen mekanizmaların birbirinden farklı olduğu saptandı. Bu mekanizmalar Şekil 4.19’da detaylı bir şekilde verildi.

Şekil 4.19’da saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) özleri katkılı hidrojellerin ‘ $s$ ’ parametresinin iletkenlik bölgelerine değişimi verildi.

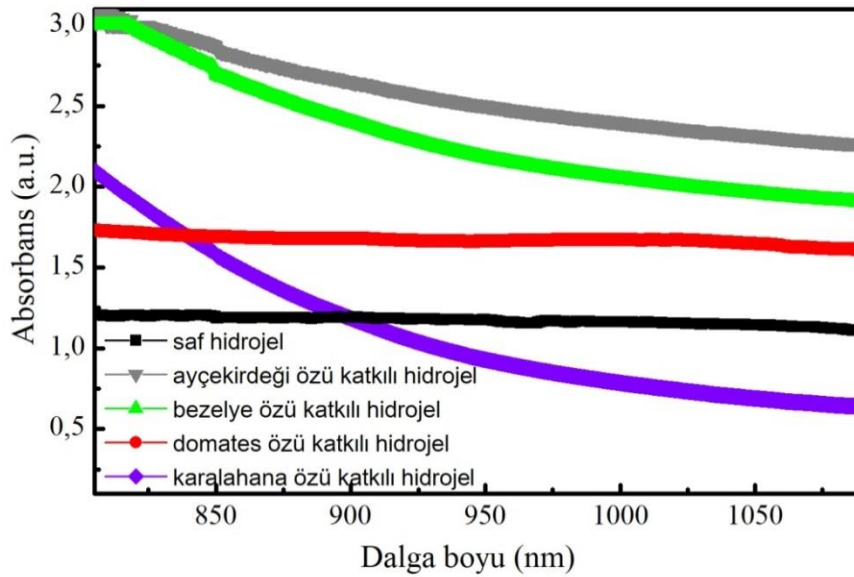


**Şekil 4.19.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin ‘ $s$ ’ parametresinin iletkenlik bölgelerine göre değişimi

Saf ve aynı derişimde (50 mg/L) organik gıda özleri katkılı hidrojellerin iletim mekanizmasını tanımlayan güç yasası üssü ( $s$  parametresi) üç farklı iletkenlik bölgesi için hesaplandı. ‘ $s$ ’ parametresi hidrojel kanalları içinde hareket eden organik gıda

özlerinin hidrojel bağları ile etkileşim derecesini belirlemesi bakımından son derece önemli bulundu. Bu bağlamda saf, bezelye, ayçiçeği, domates ve karalahana özleri katkılı hidrojellerin polarizasyon, plato ve dağılım bölgesi olarak tanımlanan sırasıyla düşük, orta ve yüksek frekans bölgelerinde 's' parametresi ayrı ayrı belirlendi. Birinci bölgede (polarizasyon bölgesi) tüm numunelerin 's' parametresi bir den küçük değerler aldığı için bu bölgedeki iletkenlik, dc iletkenlik modeliyle açıklandı. Yani bu bölgede tüm numunelerin dc iletkenlik özelliği sergilediği saptandı. İkinci bölgede ise tüm numunelerin iletkenlik modelini belirleyen s parametresinin 1 den büyük değerler aldığı belirlendi. Bu bölgede saf ve organik gıda özü katkılı hidrojellerin iletkenliğinin 'İlgili Bariyer Atlama' (Correlated Barrier Hopping) modeliyle uyumlu olduğu tespit edildi. Son olarak dağılım bölgesi olarak tanımlan üçüncü bölgede ise bezelye özü katkılı hidrojel hariç tüm örneklerin iletkenliğinin 'Kuantum Mekanik Tünel' (Quantum Mechanical Tunnel) iletkenlik modeliyle uyumlu davranış sergilediği saptandı. Bezelye özü katkılı hidrojelin bu bölgede yine İlgili Bariyer Atlama modeline uygun iletkenlik özelliği sergilediği tespit edildi. Bu durum nedeniyle bezelye özü katkılı hidrojelin iletkenliğinin diğer numunelere kıyasla daha düşük değerler alacağı sonucuna varıldı.

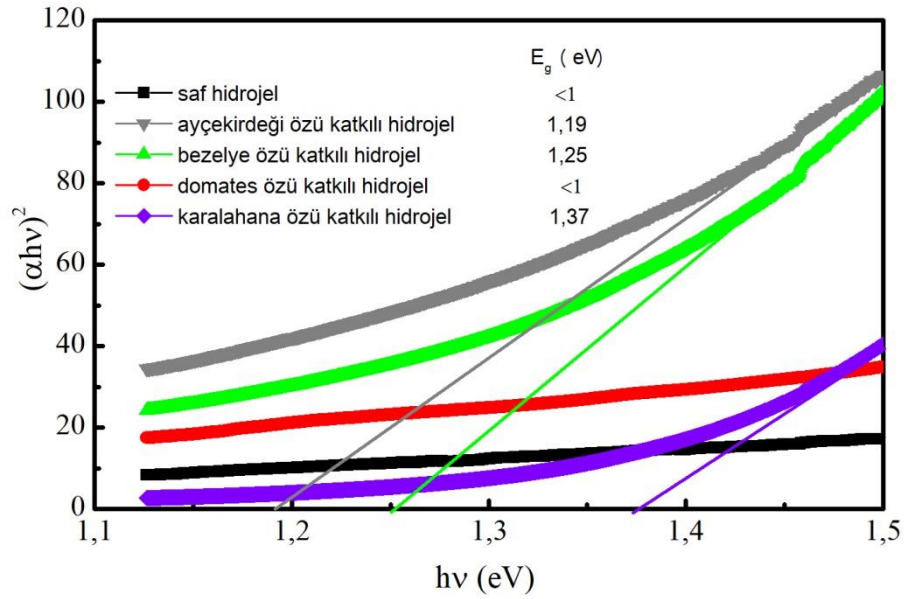
Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin 800 nm ila 1100 nm dalga boyu aralığındaki UV-Vis absorptans spektrumları Şekil 20' de verildi.



**Şekil 4.20.** Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin absorptans/soğurma değerinin dalga boyuna bağlı değişimi

Saf ve domates özü katkılı hidrojellerin absorbands değerlerinin dalga boyu artışından hemen hemen bağımsız davrandığı gözlemlendi. Öte yandan ay çekirdeği, bezelye ve karalahana özü katkılı hidrojellerin ise absorbands değerlerinin artan dalga boyuyla hemen hemen üstel olarak azaldığı tespit edildi. Düşük dalga boyu bölgesinde en yüksek en düşük absorbands değerlerinin sırasıyla ay çekirdeği özü katkılı hidrojele ve saf hidrojele ait olduğu belirlendi. Bu bölgede ay çekirdeği katkılı hidrojelin absorbands/soğurma değerinin yüksek olması, moleküler düzeydeki etkileşimlerinin diğer numunelere kıyasla daha fazla olmasına atfedildi. Artan dalga boyuna bağlı olarak absorbands değerinde en büyük değişim karalahana özü katkılı hidrojelde görüldü. Bu değişimin karalahana moleküllerinin dipolar salınımlarının innervasyonundan kaynaklandığı belirlendi. Ayrıca bu büyük değişim, karalahana moleküllerinin hidrojel kanallar içindeki mobilitesinin/hareketliliğinin daha yüksek olmasının bir sonucu olarak yorumlandı. Bu durumdan hareketle en yüksek mobiliteye sahip olan karalahana özü katkılı hidrojelin en yüksek iletkenlik değerine sahip olacağı sonucuna varıldı. Yüksek dalga boyu bölgesinde ise karalahana özü katkılı hidrojelde daha belirgin olmak üzere ay çekirdeği ve domates özü katkılı hidrojellerin absorbands değerlerinde organik gıda molekülleri ile hidrojel bağlar arasında moleküler düzeyde gerçekleşen etkileşimlere bağlı olarak bir azalma tespit edildi (Owen, 1996; Okutan vd., 2018).

Saf ve organik gıda katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin yasak enerji bant aralığı/optik bant aralığı ( $(\alpha h\nu)^2$  karşı  $h\nu$  grafiği) Şekil 21'de gösterildi.



**Şekil 4.21.** Saf ve organik gıda özü katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin optik bant aralığının değişimi

Saf ve organik gıda özü katkılı (ay çekirdeği, bezelye, domates ve karalahana) hidrojellerin optik tepkileri yani yasak enerji bandı boşlukları Tauc yasasını (Tauc, 1968) esas alan  $(\alpha hv)^2$  ve  $hv$  grafiğindeki eğim kullanılarak elde edildi. Yüksek dalga boyu yani düşük enerji bölgelerinde ( $hv$ ) yasak enerji bant aralığının yani grafikteki eğimin enerji değişiminden çok etkilenmediği görüldü. Saf ve domates özü katkılı hidrojellerin optik bant boşluğunun 1 eV enerji düzeyinden daha küçük olduğu belirlendi. Ay çekirdeği, bezelye ve karalahana özü katkılı hidrojellerin  $E_g$  değerlerinin sırasıyla 1,19 eV, 1,25 eV ve 1,37 eV olarak tespit edildi. Karalahana özü katkılı hidrojin  $(\alpha hv)^2$  değerinin düşük ve yüksek enerji bölgelerinde bir dalgalı tutum sergilediği görüldü. Bu dalgalı tutuma bağlı olarak tüm numuneler arasında en yüksek optik bant aralığı karalahana özü katkılı hidrojel için kaydedildi. Bu numuneye ait yüksek optik bant aralığının karalahana moleküllerinin dielektrik aktivitesinden ve gıda özü molekülleri ile hidrojel arasındaki etkileşimlerden kaynaklandığı öngörüldü (Tauc, 1968; Sourı vd., 2009). Ay çekirdeği, bezelye ve karalahana özü katkılı hidrojellerin elektronik geçişlerinin dolaylı geçiş (indirect transition) olduğu görülürken; saf ve domates özü katkılı hidrojellerin direk geçiş (direct transition) sergilediği saptadı. Sonuç olarak, en yüksek  $E_g$  değerlerine ve dolaylı elektronik geçişe sahip olan karalahana özü katkılı hidrojin yüksek sıcaklıklarda çalışabilen ve büyük voltaj değişikliklerine izin

veren opto-elektronik uygulamalar için uygun olabileceği sonucuna varıldı (Randall, in press; Mitchell vd., 1977).



## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Akıllı jeller olarak da tanınan hidrojeller suyun büyük bir kısmını üç boyutlu ağları arasında tutabilen fakat suda çözünmeyen polimerler olup çok çeşitli yöntemlerle sentezlenebilmektedir. Bu çalışma da kullanılan hidrojellerin sentezlenmesinde en çok tercih edilen ve biyoyumluluğu yüksek olan radikal polimerizasyon yöntemi kullanıldı. Sulu radikal polimerizasyon yöntemi kullanılarak sentezlenen saf hidrojelde monomerler olarak 2-akrilamido-2-metil propan sülfonik asit (AMPS) ve itakonik asit (IA), çapraz bağlayıcı olarak N, N metilenbisakrilamid (MBAAm) ve başlatıcı olarak da potasyum peroksodisülfat (KPS) seçildi (Coşkun vd., 2019; Yalçın vd., 2013; Okutan vd., 2015). Üretilen saf hidrojellere aynı 50 mg/L dozda organik bezelye özü, ayçiçeği özü, domates özü ve karalahana özü yüklendi. Saf ve organik gıda özü yüklenmiş hidrojellerin yapısal ve morfolojik özellikleri X-Işını Kırınım (XRD) yöntemi, Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji yayımlı X-Işını Analizi (EDX) kullanılarak analiz edildi. Numunelere ait XRD desenlerinden saf, bezelye, ayçiçeği, domates ve karalahana özü yüklenmiş hidrojellerin atomik düzenleri ve kristal yapıları araştırıldı. Üretilen örneklerin SEM görüntülerinden gıda moleküllerinin saf hidrojel kanalları içerisindeki dağılımının homojenliği incelendi. Yine örneklerin SEM görüntülerinden belirli bölgeler seçerek nitelikli element analizleri SEM cihazına bağlı EDX analizi ile yapıldı ve tüm numunelerin yapısındaki elementlerin ağırlık oranları kaydedildi. Saf ve organik gıda özleri yüklü hidrojellerin yük iletim mekanizmaları hakkında bilgi edinebilmek için tüm dielektrik parametrelerinin geniş frekans aralığında incelendi. Bu amaçla tüm numunelerin karmaşık dielektrik sabitin ( $\epsilon^*(\omega)$ ) gerçek ( $\epsilon'(\omega)$ ) ve sanal ( $\epsilon''(\omega)$ ) kısımları, sanal kısmın gerçek kısma oranı olan tanjant faktörü ( $\tan(\delta)$ ), karmaşık empedansının ( $Z^*(\omega)$ ) gerçek ( $Z'(\omega)$ ) ve sanal ( $Z''(\omega)$ ) kısımları, empedansa bağlı faz açısı, karmaşık elektrik modülün ( $M^*(\omega)$ ) gerçek ( $M'(\omega)$ ) ve sanal ( $M''(\omega)$ ) kısımları, karmaşık iletkenliğin ( $\sigma^*(\omega)$ ) gerçek ( $\sigma'(\omega)$ ) ve sanal ( $\sigma''(\omega)$ ) kısımları, paralel kapasitans ve yüzey öz direnci  $10^2$  Hz –  $10^5$  Hz frekans aralığında detaylıca incelendi. Numunelerin iletkenlik mekanizmasının frekansla olan değişimini detaylıca analiz etmek için s parametresine bağlı logaritmik iletkenliği üç farklı bölge için tartışıldı. Saf, bezelye, ayçiçeği, domates ve karalahana özü yüklenmiş hidrojellerin

elektronik devre uygulamalarını uygunluğunu tespit etmek amacıyla karmaşık dielektrik düzlem çizgilerinin teorik Havriliak-Negami durulma modeli ile uyumlu incelendi.

Bezelye özü katkılı hidrojellerin atomik düzeninin diğer tüm organik gıdalardan farklı olarak (101), (222), (003) ve (202) düzlemlerine karşılık gelen zirvelere sahip olduğu belirlendi. Bu numunenin hidrojelin zincirlerindeki moleküller arası kırımının farklılığından kaynaklanan (222) atomik düzleminde maksimum absorpsiyon zirvesine sahip olması dielektrik ve iletkenlik özelliklerinde diğer organik gıda özlerinden farklı çıkmasının temel nedeni olarak saptandı. 50 mg/L bezelye, domates, karalahana ve ay çekirdeği özleri katkılı hidrojellerin morfolojik durumunu belirleyen 10 µm ölçekli SEM görüntüleri analizinden küçük kümelenmeler olmakla birlikte tüm numunelerin moleküllerinin homojen dağılım sergileme eğilimde olduğu tespit edildi. Bezelye özü yüklü hidrojellerin yüzey morfolojisinin diğer numunelere kıyasla biraz farklı olduğu daha yoğun kümelenmeleri barındırdığı belirlendi. Dolayısıyla bezelye özü yüklü hidrojelin iletkenliğinin diğer organik gıda özü yüklü hidrojellere kıyasla düşük değerler almasının önemli nedenlerinden birinin morfolojik yapısındaki farklılıktan kaynaklandığı sonucuna varıldı. Yine numunelere ait SEM görüntülerinden moleküllerinin hareket edebildiği ortalama serbest yolun 80 µm uzunluğunda olduğu bu durumun iletkenlik değerlerinde iyileştirici etkiye neden olduğu belirlendi.

Bezelye ve domates özü yüklü hidrojellerin niteleyici elementel dağılımı analizi 5 µm ölçekli SEM görüntülerinden farklı iki bölge için yapıldı. Bezelye özü yüklü hidrojelin EDX analizinden elde edilen azot (N), karbon (C), oksijen (O), potasyum (K) ve kükürt (S) elementler bu numunenin aşı kopolimerizasyonunun başarılı olduğunun göstergesi olarak kaydedildi. Öte taraftan domates özü yüklü hidrojelin EDX analizinden elde edilen karbon (C), oksijen (O), potasyum (K) ve kükürt (S) elementlerinin varlığı da benzer bir sonucun ortaya çıkmasını sağladı. Her iki numunenin niteleyici elementel dağılımında tespit edilen altın (Au) elementinin EDX ölçümü için gerekli olan altın ızgaranın kullanılmasından kaynaklandığı belirlendi. Bezelye özü yüklü hidrojelin EDX analizinde ortaya çıkan azot elementinin hidrojelin ağlarla bağ yapacak özellikte olmasının bu numunenin iletkenlik değerlerinin en düşük olmasında önemli bir parametre olduğu sonucuna varıldı.

Saf, bezelye özü, ayçiçeği özü, domates özü ve karalahana özü yüklenmiş (organik gıda özü) hidrojellerin dielektrik özelliklerinin artan frekansla birlikte değişim gösterdiği belirlendi. Tüm örnekler için düşük frekans bölgesindeki yüksek dielektrik değerlerinin ana nedeninin elektrot ve arayüzey polarizasyon etkileri olduğu tespit edildi. Orta ve yüksek frekans bölgelerinde, saf ve organik gıda özü katkılı hidrojellerin dielektrik davranışı visko-elastik mekanizma, Brownian hareketi ve Maxwell-Wagner yaklaşımı kullanılarak detaylı bir çalışması yapıldı. Saf ve organik gıda özü yüklü hidrojeller için Havriliak-Negami gevşeme çizimlerinin, sırasıyla Brown hareketi, Fourier dönüşümün asimptotik değerleri ve Laplace dönüşümünün sayısal değerleriyle ilişkili viskoelastik davranışlardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Yüksek empedans değerlerine sahip bezelye özü yüklü hidrojellerin elektrot ve hidrojel ara yüzeylerindeki etkileşimler nedeniyle diğer katkılı hidrojellere göre daha düşük kapasitif etkiye sahip olduğu belirlendi.

Karalahana özü katkılı hidrojellerin iletkenlik değerleri, tüm frekans aralığı boyunca diğer organik gıda özleri katkılı hidrojellerden daha yüksek oluşu, hidrojel kafesindeki moleküller yüksek hareket kabiliyetine sahip ve hidrojel kanalındaki ortalama serbest yolun daha kısa oluşuna bağlandı. Ek olarak, Jonscher kanunu ile tanımlanan iletkenlik modelleri organik gıda ekstraktları yüklü hidrojeller açısından incelendiğinde, Korelasyonlu Bariyer Hoping iletkenliği ve Kuantum Mekanik Tünel (QMT) iletkenlik modellerinin sırasıyla üç farklı bölgede etkili olduğu görüldü (Mazzer vd., 2018; Havriliak ve Negami, 1966; Raju, 2017; Jonscher, 1977; Zanten ve Rufener, 2000; Vu vd., 2017; Snyder ve Mopsik, 1999; Schelder, 1975; Bao vd., 1992; Samet vd., 2015; Canlı vd., 2017).

Saf, bezelye özü, ayçiçeği özü, domates özü ve karalahana özü yüklenmiş (organik gıda özü) hidrojellerin UV spektrumları analiz edildi. Karalahana özü katkılı hidrojelin düşük ve yüksek dalga boyunda ciddi bir değişim sergilediği belirlendi. Bu değişimin karalahana moleküllerinin dipolar salınımlarının innervasyonundan kaynaklandığı tespit edildi. Diğer taraftan, karalahana moleküllerinin hidrojel kanallar içindeki mobilitesinin/hareketliliğinin daha yüksek olmasının bir sonucu olarak değişim vuku bulunduğu sonucuna varıldı. Bu verilerden hareketle en yüksek serbest iyon hareketliliğine sahip olan karalahana özü katkılı hidrojelin en yüksek iletkenlik değerine sahip olacağı sonucuna varıldı. Ayrıca ay çekirdeği, bezelye ve karalahana özü katkılı hidrojellerin

elektronik geçişlerinin dolaylı geçiş olduğu, saf ve domates özü katkılı hidrojellerin direk geçiş sergilediği belirlendi. En yüksek yasak enerji aralığı değerine karalahana özü katkılı hidrojelin sahip olduğu belirlendi. Bu numunenin sahip olduğu bu özellik nedeniyle yüksek sıcaklıklarda çalışabilen ve büyük voltaj değişikliklerine izin veren opto-elektronik uygulamalar için uygun olabileceği düşünöldü (Randall, in press; Mitchell vd., 1977; Tauc, 1968; Sourı vd., 2009).

Saf, bezelye özü, ayçiçeği özü, domates özü ve karalahana özü yüklenmiş hidrojellerin dielektrik ve iletkenlik özelliklerine dayanan sonuçlardan, bezelye özü katkılı hidrojellerin yüksek empedans ve düşük / dielektrik kapasitif etkisi nedeniyle organik biyosensör veya biyo-görüntüleme olarak kullanılabilenine sonucuna varıldı. Diğer organik gıda özleri katkılı hidrojellere kıyasla yüksek iletkenlik ve düşük direnç değerlerine sahip olan karalahana özü katkılı hidrojellerin, kablosuz biyolojik algılama ve düşük frekanslı biyo-elektronik devrelerde kablosuz izleme gibi uygulamalarda önemli, bir malzeme olduğu düşünöldü (Zhao vd., 2018; Sun vd., 2018; Park, 2015; Farina vd., 2014; Politano, 2017).

## KAYNAKLAR

Alveroglu, E. and Yilmaz, Y., “Synthesis of p-and n-type gels doped with ionic charge carriers”, *Nanoscale Res Lett.* 5, 559–565, 2010.

Ansari, J. N., Khasim, S., Parveen, A., Al-Hartomy, O. A., Khattarib, Z., Badi, N. and Roy, A. S., “Synthesis, characterization, dielectric and rectification properties of PANI/Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites”, *Polym. Adv. Technol.* 27, 1064–1071, 2016.

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

Bao, J. Z., Davis, C. C. and Schmuklert, R. E., “Frequency domain impedance measurements of erythrocytes constant phase angle impedance characteristics and a phase transition”, *Biophys. J. Biophysical Society* 61, 1427–1434, 1992.

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

Canlı, N. Y., Ocak, H., Yıldız, A., Okutan, M. and Eran, B. B., “The temperature effect on dielectric parameters of bent-core liquid crystal (DHB)”, *Journal of Molecular Liquids* 238, 370–378, 2017.

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.

Chai, Q., Jiao, Y. and Yu, X., “Hydrogels for biomedical applications: their characteristics and the mechanisms behind them”, *Gels* 3 (6), 2–15, 2017.

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., “Experimental model to describe the dielectric response of different dye and nanoparticles doped hydrogels for biological cell membranes and biological systems”, *Journal of Molecular Liquids* 296, 112072, 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.

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, 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.

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 TlInS<sub>2</sub> thin films”, *Physica E*. 105, 13-18, 2019.

Erdin, N., “Taramalı elektron mikroskopunun temel prensipleri ve numune hazırlama, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 36, 1986.

Farina, D., Alvau, M. D., Puggioni, G., Calia, G., Bazzu, G., Migheli, R., Sechi, O., Rocchitta, G., Desole, M. S. and Serra, P. A., “Implantable (Bio) sensors as new tools for wireless monitoring of brain neurochemistry in real time”, *World J Pharmacol* 3 (1), 1–17, 2014.

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*, 2019.

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

Havriliak, S. and Negami, S. A., “Complex plane analysis of  $\alpha$ -dispersions in some polymer systems”, *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Symposia* 14, 99-117, 1966.

He, H., Zhang, L., Guan, X., Cheng, H., Liu, X., Yu, S., Wei, J. and Ouyang, J. “Biocompatible conductive polymers with high conductivity and high stretchability”, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 29, 26185–26193, 2019.

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.

Janzen, J. and Gautesen, A. K., “Analytic relaxation modulus expression for a viscoelastic liquid with complex viscosity following a Havriliak–Negami model”, *Journal of Rheology* 62 (5), 1109–1114, 2018.

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.

Kai, D., Prabhakaran, M. P., Jin, G. and Ramakrishna, S., “Biocompatibility evaluation of electrically conductive nanofibrous scaffolds for cardiac tissue engineering”, *J. Mater. Chem. B.* 1, 2305–2314, 2013.

Kalmykov, Y. P., Coffey, W. T., Crothers, D. S. F. and Titov, S. V., “Microscopic models for dielectric relaxation in disordered systems”, *Physical Review E.* 70, 11, 2004.

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.

Koch, N., “Organic electronic devices and their functional interfaces”, *Chemphyschem* 8 (10), 1438–55, 2007.

Kumar, N.S.K., Shahid, T.S. and Govindaraj, G., “Analysis of conductivity and dielectric spectra of  $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  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.

Liu, Y. and Hsu, S. H., “Synthesis and biomedical applications of self-healing hydrogels”, *Front. Chem.* 6, 449, 2018.

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

Mazzer, H., Cardozo-Filho, L. and Fernandes, P. R. G., “Broadband dielectric spectroscopy of protic ethylammonium-based ionic liquids synthesized with different anions”, *Journal of Molecular Liquids* 269, 556–563, 2018.

Mendea, M., Schwarz, D., Steinbach, 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.

Mitchell, K., Fahrenbruch, A. L. and Bube, R. H., “Photovoltaic determination of optical-absorption coefficient in CdTe”, *Journal of Applied Physics* 48, 829–830, 1977.

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), 101-109, 2018.

Okutan, M., Yakuphanoglu, F., San, S. E. and Koysal, O., “Impedance spectroscopy and dielectric anisotropy-type analysis in dye-doped nematic liquid crystals having different preliminary orientations”, *Physica B: Condensed Matter* 368, 308–317, 2005.

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.

Özgündüz, H. İ., Öztürk, A. B., Kandilci, H. G. and Acarali, N., „Characterization study and optimization of swelling behavior for p(HEMA-co-Eudragit L-100) hydrogels by using Taguchi Method”, *Bio-Medical Materials And Engineering* 29, 191–203, 2018.

Öztürk, M., Coşkun, R., Okutan, M. and Yalçın, O., “Origin of the synthetic circuits and the Brownian motion in stretchable crystal violet doped and biocompatible composite hydrogels”, *Journal of Molecular Liquids* 249, 211–218, 2018.

Park, J. H., Wireless Chemical Sensing Schemes Using Environmentally Sensitive Hydrogels, Birck Nanotechnology Center, Purdue University, *Open Access Dissertations*, 2015.

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.

Politano, A., “On the prospect of bioelectronics and biosensors with the novel topological phases of matter”, *International Journal of Biosensors & Bioelectronics* 2, 00028–2, 2017.

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

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.

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.

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.

Raju, G. G., Dielectric Loss and Relaxation-I From: Dielectrics in Electric Fields, *CRC Press, Taylor & Francis Group*, 112-113, 2017.

Randall, K., High-Temperature Electronics, *IEEE Press*, New York, 1999.

Roy, H.S., Islam, M.M., Mollah, M.Y.A. and Susan M.A.B.H., “Polyaniline-NiO nanocomposites as dielectric materials”, *Science Direct* 408, 140–150, 2019.

Samet, M., Levchenko, V., Boiteux, G., Seytre, G., Kallel, A. and Serghei, A. “Electrode polarization vs. Maxwell-Wagner-Sillars interfacial polarization in dielectric spectra of materials: characteristic frequencies and scaling laws”, *J. Chem Phys.* 142, 194703, 2015.

Schelder, W. “Theory of the frequency dispersion of electrode polarization. topology of networks with fractional power frequency dependence”, *The Journal of Physical Chemistry*, 79, 127–136, 1975.

Semwal, V., Shrivastav, A. M., Verma, R. and Gupta, B. D., “Surface plasmon resonance based fiber optic ethanol sensor using layers of silver/silicon/hydrogel entrapped with ADH/NAD”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 230, 485–492, 2016.

Snyder, C. R. and Mopsik, F. I., “Critical comparison between time- and frequency-domain relaxation functions”, *Physical Review B*. 60, 984–990, 1999.

Song, H. S., Kwon, O. S., Kim, J. H., Conde, J. and Artzi, N., “3D hydrogel scaffold doped with 2D graphene materials for biosensors and bioelectronics”, *Biosensors and Bioelectronics* 89, 187–200, 2017.

Souri, D. and Shomalian, K. “Band gap determination by absorption spectrum fitting method (ASF) and structural properties of different compositions of (60-x) V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–40TeO<sub>2</sub>–xSb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glasses”, *Journal of Non-Crystalline Solids* 355, 1597–1601, 2009.

Sun, Q., Qian, B., Uto, K., Chen, J., Liu, X. and Minari, T., “Functional biomaterials towards flexible electronics and sensors”, *Biosens Bioelectron* 119, 237–251, 2018.

Tan, Z., Ohara, S., Abe, H. and Naito, M., “Synthesis and processing of graphene hydrogels for electronics applications”, *RSC Adv.* 4, 8874–8878, 2014.

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

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.

Van Zanten, J. H. and Rufener, K. P., “Brownian motion in a single relaxation time Maxwell fluid”, *Phys. Rev. E.* 62, 5389–5396, 2000.

Vu, T. T. N., Teyssedre, G., Roy, S. L. and Laurent, C., “Maxwell–Wagner effect in multi-layered dielectrics: interfacial charge measurement and modelling”, *Technologies* 5, 1–15, 2017.

Wang, H. and Heilshorn, S. C., “Adaptable hydrogel networks with reversible linkages for tissue engineering”. *Adv. Mater.* 27, 3717–3736, 2015.

Wang, L. L., Highley, C. B., Yeh, Y. C., Galarraga, J. H., Uman, S. and Burdick, J. A., “Three-dimensional extrusion bioprinting of single- and double network hydrogels containing dynamic covalent crosslinks”, *J. Biomed. Mater. Res. A.* 106, 865–875, 2018.

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.

Zengin, S., Farklı montmorillonit kil numunelerinin dielektrik özellikleri üzerine nemin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 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.

Zhao, P. and Zhu, L., “Virtual special issue: organic and polymer materials for electronics”, *Chinese Chemical Letters* 29 (12) 1706–1708, 2018.

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

Cumali TOKER, 1985 tarihinde Niğde’de dünyaya geldi. İlk, orta ve lise öğrenimini Niğde’de tamamladıktan sonra 2003 yılında başladığı Selçuk Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliğini 2007 yılında bitirdi. 2010 yılında Öğretmenliğe başladı. 2018 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü’nde yüksek lisans’a başladı. Halen öğretmenlik mesleğinde görevine devam etmektedir.



