



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Yüksek Lisans Tezi

VÜCUT SIVILARININ DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Çağdaş DEMİRTAŞ

Fizik Anabilim Dalı

Genel Fizik Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ

Temmuz, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 8.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Genel Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ
(Danışman)

İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Nevin KALKAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Merih SERİN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 22108 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans programına kabul edilmemi ve bu eğitimi almama olanak sağlayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ ve çalışma konusunda bana her türlü destek ve yardım sağlayan, bu alanda bilgili ve tecrübeli olmama yardımcı olan sayın Doç. Dr. Hulusi Kemal ULUTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Benimle bu alanda her türlü bilgiyi paylaşan ve yanımda olan sayın Dr. Öğr. Üyesi Şahin YAKUT, Öğr. Gör. Deniz BOZOĞLU PARTO'ya ve fikir birliği yaptığım değerli arkadaşlarıma yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Yürüdüğüm bu yolda her zaman yanımda olan, maddi ve manevi yardım ve desteklerini hiç esirgemeyen sevgili anneme, babama, ablama ve eşim Handan DEMİRTAŞ'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Son olarak deneysel çalışmalarım sırasında bana materyalleri sağlayan, bu alanda bilgilerini bizimle paylaşan Prof. Dr. Nesrin UYGUN, Uzman. Dr Ertuğrul ORUÇ'a ve Cerrahpaşa Tıp Fakültesi çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Temmuz 2019

Çağdaş DEMİRTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. KAPASİTÖRLER.....	5
2.1.1. Sabit Elektrik Alanda Kapasitör	5
2.1.2. Dielektrik Malzemenin Mikroskopik İncelenmesi	7
2.1.3. Değişken Elektrik Alanda Kapasitör	13
2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI	18
2.2.1 Elektronik Polarizasyon.....	18
2.2.2. İyonik Polarizasyon	19
2.2.3. Dipolar Polarizasyon	19
2.2.4. Yüzeyler arası Polarizasyon	20
2.3. CLASIUS-MOSOTTI DENKLEMİ	21
2.4. ALTERNATİF İLETKENLİK.....	24
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	27
3.1. ANALİZ İÇİN KULLANILAN NUMUNELER VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ	27
3.1.1. Periton ve Plevral efüzyon.....	27
3.1.2. Dielektrik Spektroskopi Analizi	29
4. BULGULAR.....	32
4.1. SAF SU VE ŞEKERLİ SU	32
4.1.1. Dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı	32
4.1.2. Dielektrik enerji kaybın frekansa bağlı davranışı.....	33
4.1.3. Elektrik İletkenliği.....	34
4.2. KARIN ZARI.....	36

4.2.1. Karın zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.....	36
4.2.2. Karın zarından alınan benign örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.....	38
4.2.3. Karın zarından alınan malignant örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.....	41
4.2.4. Karın zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik enerji kaybı.....	45
4.2.5. Karın zarından alınan benign örneklerin dielektrik enerji kaybı.....	47
4.2.6. Karın zarından alınan malignant örneklerin dielektrik enerji kaybı.....	50
4.2.7. Karın zarından alınan sağlıklı örneklerin elektrik iletkenliği.....	53
4.2.8. Karın zarından alınan benign örneklerin elektrik iletkenliği.....	55
4.2.9. Karın zarından alınan malign örneklerin elektrik iletkenliği	58
4.3. KARIN ZARI.....	62
4.3.1. Akciğer zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik sabiti	62
4.3.2. Akciğer zarından alınan benign örneklerin dielektrik sabiti	64
4.3.3. Akciğer zarından alınan malign örneklerin dielektrik sabiti	66
4.3.4. Akciğer zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik enerji kaybı	68
4.3.5. Akciğer zarından alınan benign örneklerin dielektrik enerji kaybı	69
4.3.6. Akciğer zarından alınan malign örneklerin dielektrik enerji kaybı.....	71
4.3.7. Akciğer zarından alınan sağlıklı örneklerin elektrik iletkenliği	73
4.3.8. Akciğer zarından alınan benign örneklerin elektrik iletkenliği.....	75
4.3.9. Akciğer zarından alınan malign örneklerin elektrik iletkenliği.....	77
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	79
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	87

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Boşluk kapasitörünün plakaları arasında oluşan elektrik alan çizgilerinin gösterimi.	5
Şekil 2.2: Elektrik dipol momenti.	7
Şekil 2.3: Dış elektrik alan olmadığında ve dış elektrik alan olduğu durumda sürekli dipol momentine sahip ideal bir dielektrik malzemedeki dipol dağılımı.	8
Şekil 2.4: Düzgün elektrik alan altında pozitif ve negatif yük merkezlerinin üzerine etkileyen tork.	8
Şekil 2.5: Dipol momenti ve elektrik alana göre tork yönünün belirlenmesi.	10
Şekil 2.6: Boşluk kapasitörde belirlenen Gauss yüzeyi.	11
Şekil 2.7: Dielektrikli kapasitörde belirlenen Gauss yüzeyi.	11
Şekil 2.8: Değişken elektrik alan altında boşluk kapasitörüne ait yükleme akımı ile voltaj arasındaki faz farkını gösteren fazör diyagramı.	14
Şekil 2.9: Değişken elektrik alan altında dielektrik kapasitöre ait akım ve voltaj arasındaki faz farkı.	15
Şekil 2.10: Elektronik polarizasyon gösterimi.	18
Şekil 2.11: İyonik polarizasyon gösterimi.	19
Şekil 2.12: Dipolar polarizasyon.	20
Şekil 2.13: Yüzeyler arası polarizasyon.	20
Şekil 2.14: Paralel levhalar arasında seçilen oyuk içerisinde oluşan elektrik alanların gösterimi.	21
Şekil 3.1: Vücudumuzdaki seröz boşluklar.	27
Şekil 3.2: Vücut boşluklarından alınan doku sıvılarının görünümü.	28
Şekil 3.3: Doku sıvısının bileşenleri.	28
Şekil 3.4: Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer cihazı.	29
Şekil 3.5: Alt ve üst elektrot yapısı.	29

Şekil 4.1: Saf su için dielektrik sabiti (K') frekansa bağlı olarak değişimi.	32
Şekil 4.2: 1/15 ml şeker ilaveli su için dielektrik sabiti (K') frekansa bağlı olarak değişimi.	33
Şekil 4.3: Saf su için dielektrik enerji kaybı (K'') frekansa bağlı olarak değişimi.	33
Şekil 4.4: 1/15 ml şeker ilaveli su için dielektrik enerji kaybı (K'') frekansa bağlı olarak değişimi.	34
Şekil 4.5: Saf suyun frekansa bağlı olarak elektrik iletkenlik değişimi.	34
Şekil 4.6: 1/15 ml şekerli suyun frekansa bağlı olarak elektrik iletkenlik değişimi.	35
Şekil 4.7: 9425 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	36
Şekil 4.8: 27553 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	37
Şekil 4.9: 28837 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	37
Şekil 4.10: 28963 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	38
Şekil 4.11: 26507 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	38
Şekil 4.12: 14514 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	39
Şekil 4.13: 28061 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	39
Şekil 4.14: 30229 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	40
Şekil 4.15: 2751 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	40
Şekil 4.16: 12266 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	41
Şekil 4.17: 26458 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	41
Şekil 4.18: 24992 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	42
Şekil 4.19: 29781 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	42
Şekil 4.20: 293 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	43
Şekil 4.21: 13400 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	43
Şekil 4.22: 14850 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	44
Şekil 4.23: 8794 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.	44
Şekil 4.24: 9425 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	45
Şekil 4.25: 27553 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	45

Şekil 4.26:	28837 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	46
Şekil 4.27:	28963 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	46
Şekil 4.28:	26507 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	47
Şekil 4.29:	14514 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	47
Şekil 4.30:	28061 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	48
Şekil 4.31:	30229 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	48
Şekil 4.32:	2751 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	49
Şekil 4.33:	12266 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	49
Şekil 4.34:	26458 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	50
Şekil 4.35:	24992 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	50
Şekil 4.36:	29781 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	51
Şekil 4.37:	293 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	51
Şekil 4.38:	13400 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	52
Şekil 4.39:	14850 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	52
Şekil 4.40:	8794 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	53
Şekil 4.41:	9425 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	53
Şekil 4.42:	27553 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	54
Şekil 4.43:	28837 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	54
Şekil 4.44:	28963 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	55
Şekil 4.45:	26507 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	55
Şekil 4.46:	14514 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	56
Şekil 4.47:	28061 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	56
Şekil 4.48:	30229 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	57
Şekil 4.49:	2751 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	57
Şekil 4.50:	12266 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	58
Şekil 4.51:	26458 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	58
Şekil 4.52:	24992 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	59

Şekil 4.53:	29781 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	59
Şekil 4.54:	293 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	60
Şekil 4.55:	13400 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	60
Şekil 4.56:	14850 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	61
Şekil 4.57:	8794 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	61
Şekil 4.58:	27767 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	62
Şekil 4.59:	1367 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	63
Şekil 4.60:	1446 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	63
Şekil 4.61:	14553 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	64
Şekil 4.62:	24828 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	64
Şekil 4.63:	24930 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	65
Şekil 4.64:	10835 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	65
Şekil 4.65:	9212 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	66
Şekil 4.66:	8979 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	66
Şekil 4.67:	24984 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	67
Şekil 4.68:	15106 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.....	67
Şekil 4.69:	27767 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	68
Şekil 4.70:	1367 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	68
Şekil 4.71:	1446 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	69
Şekil 4.72:	14553 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	69
Şekil 4.73:	24828 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	70
Şekil 4.74:	24930 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	70
Şekil 4.75:	10835 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	71
Şekil 4.76:	9212 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	71
Şekil 4.77:	8979 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	72
Şekil 4.78:	10835 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	72
Şekil 4.79:	15106 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.	73

Şekil 4.80: 27767 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	73
Şekil 4.81: 1367 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	74
Şekil 4.82: 1446 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	74
Şekil 4.83: 14553 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	75
Şekil 4.84: 24828 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	75
Şekil 4.85: 24930 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	76
Şekil 4.86: 10835 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	76
Şekil 4.87: 9212 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	77
Şekil 4.88: 8979 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	77
Şekil 4.89: 24984 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	78
Şekil 4.90: 15106 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.	78

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Karın zarından alınan örnekler.....	30
Tablo 3.2: Akciğer zarından alınan örnekler.	31
Tablo 5.1: Vücut sıvılarına ait örneklerin dielektrik sabitleri.	81



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Polarlanabilme katsayısı
A	: Yüzey Alanı
C_0	: Plakalar arasında boşluk bulunan kondansatöre ait kapasite
C	: Kapasite
$\vec{D}$	: Elektrik deplasman alanı vektörü
ϵ	: Dielektrik maddenin permitivitesi
ϵ_0	: Boşluğun permitivitesi
ϵ^*	: Kompleks permitivite
ϵ'	: Kompleks permitivitenin reel kısmı
ϵ''	: Kompleks permitivitenin sanal kısmı
$\vec{E}$	: Elektrik alan vektörü
E'	: Yerel elektrik alan
G	: Kondüktans
I	: Akım
I_0	: Yükleme akımının maksimum değeri
I_C	: Yükleme akımı
I_R	: Kayıp akım
J	: Akım yoğunluğu
σ	: Yük yoğunluğu
K^*	: Kompleks dielektrik sabiti
K'	: Dielektrik sabiti
K''	: Dielektrik enerji kaybı
ω	: Açısal frekans
p	: Elektrik dipol momenti
$\vec{P}$	: Polarizasyon vektörü
σ_{AC}	: Değişken alan iletkenliği
N	: Birim hacim başına düşen dipol moment sayısı
μ	: Ortalama dipol momenti
$\tan\delta$	: Dielektriğe ait kayıp faktörü

V₀ : Uygulanan potansiyelin maksimum değeri
V : Voltaj

Kısaltmalar	Açıklama
--------------------	-----------------

AC	: Alternatif iletkenlik
DC	: Doğru akım iletkenliği
HCl	: Hidroklorik asit
H₂O	: Su

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VÜCUT SIVILARININ DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Çağdaş DEMİRTAŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ

Biyoelektrik olayların keşfedilmesinden bu yana canlı dokuların elektriksel davranışlarının incelenmesi bilim dünyasında yadsınamayacak kadar büyük bir ilgiye sahiptir. Bu özelliklerin incelenmesi sadece var olan sorunlara çözüm getirmekle beraber, sonuçlar biyomedikal mühendisleri ve fizyologlar için de önemli değere sahiptir. Bu nedenle, biyomalzemelerin dielektrik çalışmaları, tıbbi teşhis, elektrofizyoloji ve biyofizik alanlarında önem oluşturmaktadır. Bu kapsamda, Pleural effusion (akciğer zarı sıvısı) ve peritoneal effusion (karın zarı sıvısı) sıvılarının dielektrik özellikleri oda sıcaklığında 0.1Hz-20MHz frekans aralığında Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer cihazı ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan faydalanarak dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve alternatif iletkenlik değerleri hesaplanarak frekansa bağlı davranışları incelenmiştir. Ayrıca, Dielektrik spektroskopisi ile elde edilen sonuçlar ile tıpta kullanılan mevcut analiz yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak, sağlıklı ve hastalıklı sonuçları analiz etmede kritik veriler elde edilmiştir.

Temmuz 2019, 103 sayfa.

Anahtar kelimeler: Biyolojik sıvılar, dielektrik sabiti, dielektrik kayıp, alternatif iletkenlik, dielektrik spektroskopisi.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

DIELECTRIC PROPERTIES OF BODY FLUIDS

Çağdaş DEMİRTAŞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Name of Department

Supervisor : Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ

Since the discovery of bioelectric phenomena, the study of the electrical behavior of living tissues has undoubtedly been of great interest in the scientific world. While investigation of these properties offer a solution for existing problems, the results are also important for biomedical engineers and physiologists. Therefore, dielectric studies of biomaterials have importance in the fields of medical diagnosis, electrophysiology and biophysics. In this context, the dielectric properties of pleural effusion and peritoneal effusion fluids have been investigated using Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance in the frequency range between 0.1Hz-20MHz at room temperature, Using the obtained results, dielectric constant, dielectric loss and alternating conductivity values have been calculated and examined. In addition, the results obtained from dielectric spectroscopy and the results obtained from the method used in medicine have been compared and the difference between healthy and malign body fluids has been determined by dielectric spectroscopy.

June 2019, 103 pages.

Keywords: Biological tissues, dielectric constant, dielectric loss, ac conductivity, dielectric spectroscopy.

1. GİRİŞ

Biyoelektrik olayların keşfedilmesinden bu yana, canlı dokuların elektriksel davranışlarının incelenmesi bilim dünyasında yadsınamayacak kadar büyük bir ilgiye sahiptir. Bu özelliklerin incelenmesi sadece varolan sorunlara çözüm getirmekle beraber, sonuçlar biyomedikal mühendisleri ve fizyologlar için de önemli değere sahiptir. Ayrıca, insan yapısını meydana getiren hücre, doku, organ ve sistemlerin frekansa bağlılığı işlevlerini ve işlevlerin yerine getirilme mekanizmalarını, neden-sonuç ilişkilerinin belirlenmesine ve analizine izin verir. Bu nedenle, biyomalzemelerin dielektrik çalışmaları, tıbbi teşhis, elektrofizyoloji ve biyofizik alanlarında önem oluşturmaktadır [1]. Literatürde Dielektrik spektroskopi canlı organizma içerisinde (in vivo), canlı organizma dışında (ex vivo) ve laboratuvar ortamı ya da yapay koşullarda hazırlanmış doku örnekleri üzerinden (in vitro) inceleme amacıyla daha önceleri kullanılmış bir tekniktir [2, 3]. Örneğin, empedans yöntemi ile kan akışının ölçülmesinde mikroamper aralığındaki akımlar, kanın baş, göğüs tomurcukları, rakamları, ventriküler boşluklar ve diğer organlardan akması sağlanır. Solunum, transtorasik empedanstaki değişiklikler ile ölçülür. İskelet kası kasılması ve kasındaki değişiklikler ya da dokuların içerisinde biriken yağ ve sulu içeriği empedans cihazı ile belirlenebilir. Biyolojik dokularla ilgili ilk çalışma 1967 yılında Geddes ve Baker tarafından sunulmuştur [4]. Çalışmalarında, kan, kalp kası, iskelet kası, akciğer, böbrek, sinir dokusu, yağ, kemik gibi farklı doku örneklerinin elektriksel dirençlerini belirlemişlerdir [5]. Genel olarak biyolojik dokuda dielektrik sabiti 100 Hz'den düşük frekanslarda 10^6 veya 10^7 boyutundadır. Dielektrik sabiti frekans arttıkça basamaklı bir şekilde azalır. Bu süreç başlıca üç basamak α , β ve γ dispersiyonları olarak adlandırılır. γ dispersiyonu 10^9 Hz frekans bölgesinde gözlenir ve su moleküllerinin polarizasyonundan kaynaklanır. β dispersiyonu 10^5 Hz frekans bölgesinde gözlenir. Bu dispersiyonun başlıca nedeni hücre içi ve dışı arasında iyon akışının meydana geldiği hücresel zarın polarizasyonudur. α dispersiyonu daha düşük frekanslarda gözlenir. Bu dispersiyonun nedeni ise hücresel zarda meydana gelen iyonik difüzyondur. Dokular yapıları ve içerdikleri iyonik bileşenlerle orantılı olacak şekilde sınırlı bir iyonik iletkenliğe sahiptirler. Dokuların bu iletkenlik özelliğinden faydalanarak alternatif iletkenliğin frekansa bağlı cevapları incelenerek hastalıklı ve sağlıklı dokulardaki iyonik değişiklikler gözlenebilir ve ayırt edici bir takım cevaplar elde edilebilir [5, 8]. Pethig çalışmasında, memeli dokularının 1Hz ile 10 GHz frekans

aralığında dielektrik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmanın amacı, iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyonun kullanılmasının yanı sıra elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmadan kaynaklanan muhtemel biyolojik etkilerin çalışılmasını içeren bir dizi tıbbi teşhis ve terapötik uygulama ile ilgilenmiştir. Dielektrik çalışmalar bazı biyokimyasal ve fizyolojik süreçlerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabileceği gösterilmek istenmiştir. Yapıda bulunan amino asitlerin, proteinlerin, biyolojik elektrolitlerin, hücre zarlarının, dokuya bağlı suyun ve normal ve kanserli dokuların dielektrik özelliklerinin incelenmesi kanserin hipertermik tedavisi ve kemik iyileşmesinin uyarılması gibi klinik konularda ilişkileri ortaya konmuştur [9]. Gabriel ve diğ. 10Hz-20GHz frekans aralığında ve vücut sıcaklığında insan ve hayvan dokuları için dielektrik özelliklerinin 3 farklı spektroskopik yöntem ile incelemişlerdir ve bu ölçümlerden elde edilen sonuçların birbiri ile tutarlı olduğunu göstermişlerdir [10]. Egot-Lamaire ve diğ. çalışmalarında hücre düzeyinde bir inceleme yapmışlardır. Çalışmanın amacı, insan akciğerinin normal ve malign hücrelerinin mikrodalga aralığının başlangıcında (200MHz-2GHz) dielektrik spektroskopi ile incelenerek elden edilen sonuçların karşılaştırılmasıdır. Dielektrik spektroskopi ile artan hücre hacmine bağlı olarak tutarlı dielektrik değişimler tespit edilmiştir [11]. Wolf ve diğ. yalnızca akademik ilgi alanı değil, aynı zamanda insan vücudunun elektromanyetik radyasyonun absorpsiyon oranlarının belirlenmesi gibi tıbbi uygulamalar için de yüksek önem taşıyan insan kanının 1Hz- 40GHz frekans aralığında dielektrik spektroskopi ile dielektrik relaksasyon bölgelerinin tespiti ile biyolojik malzemenin tipik dağılım bölgeleri hakkında bilgi sağlamıştır [12]. Asami çalışmasında, radyo frekansı aralığında biyolojik hücrelerin dielektrik spektroskopisi için teorik analiz ve ölçüm teknikleri üzerinde durmuştur ve β -dispersiyonunu, farklı morfolojideki hücreler için önerilen çeşitli elektrikli modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Dielektrik spektroskopideki fizyolojik koşullar altında hücrelerin dinamik davranışlarının gerçek zamanlı izlenmesini ve tek hücrelerin karakterizasyonunu sağlamıştır [2]. Stoneman ve diğ. biyolojik dokuların dielektrik ölçümlerinde elektrot polarizasyonundan kaynaklanan katkılar için bir düzeltme yöntemi önermişlerdir. Yöntem, elektrot empedansının uygun işlevlerle modellenmesine ve bazı parametrelerin sadece elektrotların özelliklerine bağlı olduğunu ve bu nedenle ayrı ayrı belirlenebileceğini gözlemlemeye dayandırılmıştır. Böylece, normal ve kanserli insan kadın meme dokusu numunelerinin sonuçlarına uygulanarak karşılaştırılması yapılmıştır. Dokuların dielektrik özelliklerinin 40 Hz - 100 MHz frekans aralığındaki yüksekliğinin farklı meme dokusu tipleri arasında önemli ölçüde farklı olduğu gözlenmiştir [13, 14]. Wang ve diğ. insan karaciğerinin

dielektrik özellikleri, doku emiliminin karakterizasyonu ve elektromanyetik alandaki elektromanyetik enerjinin bağlanması ile belirlenmiştir. Bu çalışmada insan hepatoselüler karsinomun (iyi ve orta derecede farklılaşmış), karaciğer hemanjiyomu, hepatik fibrozis (evre S1 ve S2) ve normal karaciğer dokusunun ex-vivo dielektrik özellikleri 10 Hz ila 100 MHz frekans aralığında ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Ex-vivo iletkenlik, geçirgenlik, direnç ve ayrıca lezyonlarla normal karaciğer arasındaki karakteristik parametreler analiz edilmiştir ve aralarındaki farklılıklar sunulurken, verilerin doku teşhisi için biyoelektrik uygulamaların geliştirilmesine ve daha doğru bilgisayarların oluşturulmasına katkıda bulunabilmesi önerilmiştir [15]. O'Rourke ve diğ. insan karaciğer dokusunun dielektrik özelliklerinin mikrodalga frekanslarındaki kaydedeğer cevaplarından faydalanarak, normal, malign ve siroz insan karaciğer dokularının 0.5 ila 20 GHz dielektrik özelliklerini in-vivo ve ex-vivo olarak karakterize etmişlerdir. 915 MHz ve 2.45 GHz'de verilerimizin analizi, ex-vivo malign karaciğer dokusunun dielektrik özelliklerinin normal dokudan % 19 ila 30 daha yüksek olduğunu gösterilmiştir. In-vivo karaciğer dokusunun geniş bant dielektrik özelliklerinin ex-vivo karaciğer dokusunun geniş bant dielektrik özelliklerinden farklı olduğunu ve in vivo verilerin bir Cole-Cole modeli ile açıklanamadığı gözlemlenmiştir. In vivo karaciğer verilerinde gözlenen geniş bant eğilimlerinden sorumlu mekanizmaları ortaya çıkarmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu rapor edilmiştir [16]. Laufer ve diğ. altı hastadan 14 hepatik tümör ve çevresindeki normal karaciğer dokularından alınarak ex-vivo kompleks elektriksel empedansını ölçmüşlerdir. Ölçümler 1- 400 kHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Tümör dokusunun iletkenliğinin bu frekans aralığında normal karaciğer dokusundan çok daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu veriler, doku teşhisi için ve radyofrekans doku ablasyonu, elektrokemoterapi ve geri dönüşümlü elektroporasyon ile gen tedavisi gibi elektrik alanlarıyla doku teşhisi ve doku tedavi planlamasında biyoelektrik uygulamaların geliştirilmesine katkıda bulunabileceği önermişlerdir [17]. Schepps, çeşitli yumuşak tümörlerde ve normal dokularda, vücut ısısında 0.01 ila 17 GHz arasında dielektrik ölçümler gerçekleştirmişlerdir. 1-5 GHz'in üzerindeki mikrodalga frekanslarında, doku dielektrik özellikleri, 37 °C'de saf su için bulunanla aynı gevşeme frekansına (25 GHz) sahip olduğu görülmüştür. Dokuların dielektrik özellikleri, su içerikleriyle ilişkisi açıklanmıştır [18].

Klinik çalışmalara bakıldığında kanserlerin büyük bölümünün, hastanın veya doktorun ortaya çıkan belirtileri saptamasıyla fark edildiği görülür. Giderek artan sayıda kanser vakaları, hastalık belirgin hale gelmeden, iyileştirilebilir bir aşamada görünürde sağlıklı kişilerde yapılan

mevcut testlerle kısmen belirlenebilmektedir. Son dönemdeki araştırmalarda, barsak tümörlerini erken evrede saptayan tarama testlerinin barsak kanserine bağlı ölümleri azaltabileceği gösterilmiştir. Ancak kanserden kaynaklanma olasılığı bulunan her türlü belirti için çok kapsamlı ve acil testler yapılması, pek çok hastada gereksiz kaygıya neden olmakla birlikte, tarama testlerinin yüksek maliyeti nedeniyle sağlık giderlerinin artmasına da yol açacağı açıktır.

Literatüre bakıldığında, vücut sıvılarından kanser tespiti ile ilgili mevcut çalışmalar gözleme dayalıdır. Bununla beraber, literatürde dielektrik spektroskopi ile kanser tespiti çalışmalarına rastlanmamış olup, bu hedef çalışmamızın özgün değerini oluşturmaktadır. Bu tez kapsamında sağlıklı ve patolojik vücut sıvılarının değişken elektrik alanda frekansa bağlı dielektrik cevaplarından yola çıkarak, erken tanı için son derece önemli olan ve hastayı tedirgin etmeden sadece birkaç damla sıvı ile daha hassas tespitler yapmanın mümkün olabildiği gösterilmek istenmiştir.

Bu çalışmada, akciğer zarı ve karın zarı sıvılarının dielektrik özellikleri oda sıcaklığında 0.1Hz-20MHz frekans aralığında kapasite (C), kayıp ($\tan\delta$) değerleri ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Dielektrik spektroskopi ile elde edilen sonuçlar ile tıpta kullanılan mevcut analiz yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak, sağlıklı ve hastalıklı sonuçları analiz etmede kritik veriler elde edilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. KAPASİTÖRLER

2.1.1. Sabit Elektrik Alanda Kapasitör

İki iletken plaka arasına boşluk veya dielektrik bir madde konularak oluşturulan yapılara kapasitör denir. Kapasitörü oluşturan iletken plakaların uçlarına potansiyel uygulandığında plakalar eşit ve zıt miktarda yüklenirler. Kapasitörün, uygulanan V_0 potansiyeli altında ne kadar yüklenebileceğinin ölçüsü kapasite olarak adlandırılır [19].

Boşluk kapasitörünün kapasitesi,

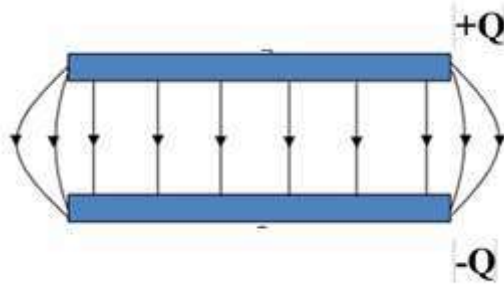
$$C_0 = \frac{Q}{V_0} \quad (2.1)$$

ifadesi ile tanımlanır. Kapasitenin birimi Farada olmak üzere, Q ve V'nin birimleri sırasıyla Coloumb ve Volt'tur.

Elektrotlar, A yüzey alanına sahip düzlem plaka olarak seçilirse ve plakalar arasındaki uzaklık d kadar olduğunda kapasite

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.2)$$

ile ifade edilir. ϵ_0 , boşluğun permitivitesidir ve değeri $8,8541 \cdot 10^{-12}$ F/m' dir [20].



Şekil 2.1: Boşluk kapasitörünün plakaları arasında oluşan elektrik alan çizgilerinin gösterimi.

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, kapasitör plakaları arasında oluşan elektrik alan çizgilerinin yönü pozitif yüklü plakadan çıkıp, negatif yüklü plakaya doğrudur. Kapasitör plakaları arasında düzgün elektrik alan elde edilebilmesi için elektrotlar arasındaki uzaklık (d), plakaların yüzey alanından (A) çok çok küçük olmalıdır. ($d \ll A$)

Kapasitörün plakaları arasında bir dielektrik malzeme konulduğunda, ϵ plakalar arasındaki dielektrik maddenin permitivitesi olmak üzere kapasite,

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

şeklindedir ve dielektrik maddenin plakalar arasına yerleştirilmesiyle kondansatörün kapasitesinde bir değişim meydana gelecektir. Bu değişim, iletken plakaları arasında dielektrik malzeme bulunan kapasitörün, plakaları arasındaki toplam potansiyel bir sabit kadar azalması olarak tanımlanır. Bu azalma miktarı κ , dielektrik sabiti veya rölatif permitivite olarak adlandırılmaktadır. Dielektrik sabiti, $\kappa = \epsilon/\epsilon_0$ olmak üzere bu eşitlikte ϵ dielektrik permitivite ve ϵ_0 ise boşluğun permitivitesidir. Buna göre potansiyeldeki azalma,

$$V = \frac{V_0}{\kappa} \quad (2.4)$$

oranında olur.

Uygulanan potansiyel ile iletken plakalar arasında azalan potansiyel eşitlenene kadar yük akışı devam edecektir. Bunun sonucu olarak dielektrik kapasitör, boşluk kapasitörüne göre daha fazla yüklenecektir. Dielektrik kapasitörün kapasitesi,

$$C = \kappa \frac{Q}{\Delta V_0} = \kappa C_0 \quad (2.5)$$

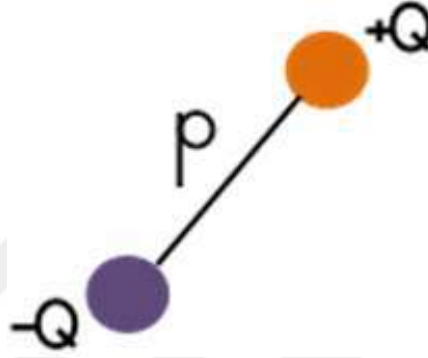
şeklinde artış gösterir [21]. Dielektrik sabiti κ sadece bir sayıdır, boyutu yoktur.

2.1.2. Dielektrik Malzemenin Mikroskopik İncelenmesi

Dipol, aralarında d kadar uzaklık bulunan eşit ve zıt büyüklükteki $(+q)$ ile $(-q)$ yüklerinin oluşturduğu yapı denilmektedir. p , elektrik dipol moment, q yük miktarı, d ise yükler arasındaki mesafe olmak üzere

$$p = qd \quad (2.6)$$

şeklinde tanımlanır ve elektrik dipol moment $(-)$ yükten $(+)$ yüke doğrudur.

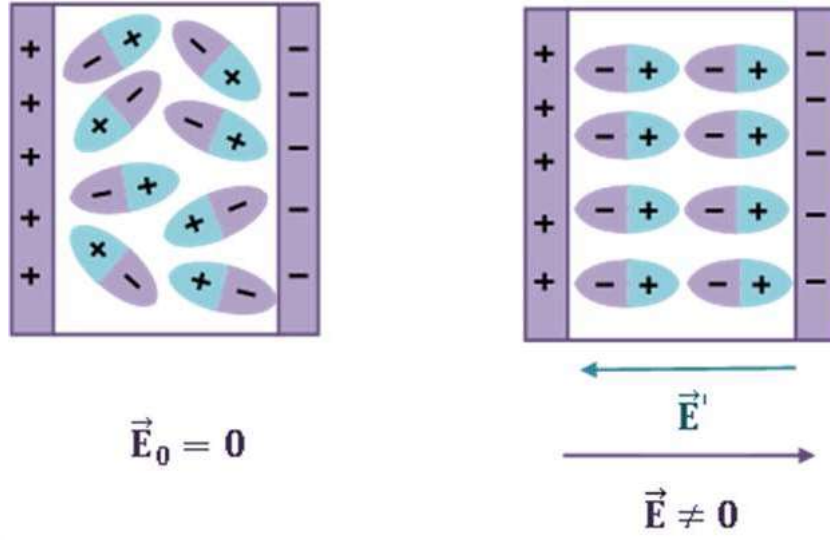


Şekil 2.2: Elektrik dipol moment.

Kapasitör plakaları arasına bir dielektrik malzeme konulduğunda, potansiyel farkın azalmasıyla toplam elektrik alan da

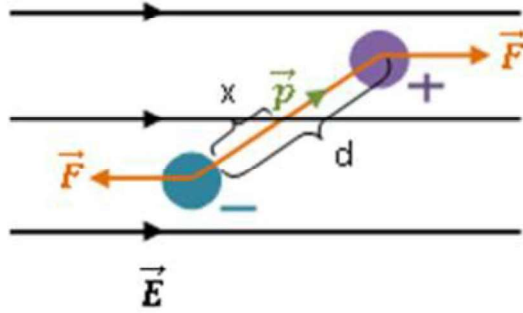
$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\kappa} \quad (2.7)$$

oranında azalır [22]. Elektrik alandaki azalmayı açıklamak için sürekli dipol momentine sahip ideal bir dielektrik malzemeyi göz önüne alarak inceleyelim.



Şekil 2.3: Dış elektrik alan olmadığında ve dış elektrik alan olduğu durumda sürekli dipol momentine sahip ideal bir dielektrik malzemedeki dipol dağılımı.

Dış elektrik alan olmadığında ($\vec{E} = 0$), dipoller dielektrik malzeme içerisindeki rastgele dağılacaktır. Ancak, dielektrikli kapasitörün plakaları arasında V_0 potansiyel farkı uygulandığında, dielektrik malzeme içerisindeki dipoller üzerine bir tork etki eder. Bu tork, uygulanan elektrik alan gerektirdiği yönde dipollerin yönelmesine neden olur [23].



Şekil 2.4: Düzgün elektrik alan altında pozitif ve negatif yük merkezlerinin üzerine etkiyen tork.

Eğer dielektrik malzeme sürekli dipol momentine sahip değilse, uygulanan dış elektrik alan ($\vec{E} \neq 0$) ile dielektrik malzeme içerisinde bir indüklenme meydana gelir. Dielektrik malzemeyi oluşturan moleküllerin pozitif ve negatif yük merkezlerinin birbirinden d mesafesi kadar uzaklaşmalarına sebep olan bu indüklenme, dipolleri oluşturur. Uygulanan dış elektrik alan etkisiyle dipoller üzerine etki eden tork dönme hareketine neden olur.

$\vec{E}$ uygulanan elektrik alan, $p = qd$ elektrik dipol momenti, d pozitif ve negatif yükler arasındaki uzaklık ve $\vec{F} = q\vec{E}$ uygulanan kuvvet olmak üzere sisteme etki eden tork ($\vec{\tau}$),

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F} \quad (2.8)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

$$|\vec{\tau}| = \tau = |\vec{d}| |\vec{F}| \sin \theta \quad (2.9)$$

$$\tau = F x \sin \theta + F (d - x) \sin \theta \quad (2.10)$$

$$\tau = Fd \sin \theta \quad (2.11)$$

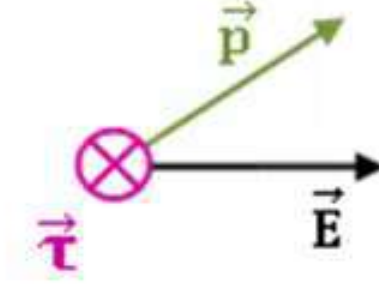
Uygulanan kuvvet $\vec{F} = q\vec{E}$ ve yük merkezleri arasındaki mesafe $d = p/q$, 2.11 numaralı denkleminde yerine yazıldığında

$$\tau = p E \sin \theta \quad (2.12)$$

ifadesi elde edilir.

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad (2.13)$$

Bu ifade sisteme etki eden torkun, vektörel bir büyüklük olduğunu göstermektedir ve yönü, Şekil 2.6' daki gibi sayfa düzleminden içeri doğru olmalıdır.



Şekil 2.5: Dipol momenti ve elektrik alana göre tork yönünün belirlenmesi.

Plakalar arasında bir dielektrik malzeme konulduğunda, $\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\kappa}$ ifadesinde görülen elektrik alandaki κ oranında azalma Gauss Yasası ile açıklanabilir.

Boşluk kapasitöründe Gauss yüzeyi seçilirse, herhangi bir kapalı yüzeyden geçen net akı;

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2.14)$$

dır. Bu eşitlik düzenlendiğinde;

$$\oint |\vec{E}| |d\vec{A}| \cos \theta = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2.15)$$

ifadesi elde edilir. Yüzey normali ve elektrik alan aynı yönde olduklarından (2.15) ifadesinde θ açısı yerine sıfır yazılırsa,

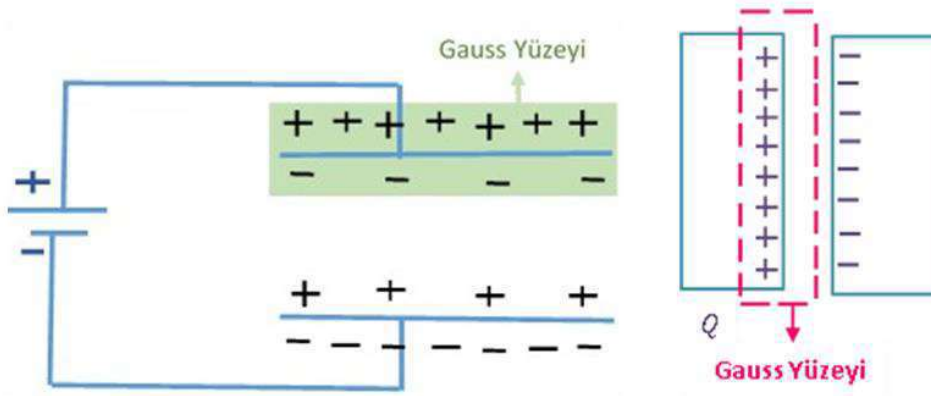
$$E = \frac{Q}{A \epsilon_0} \quad (2.16)$$

boşluk kapasitörüne ait elektrik alan ifadesi elde edilmiş olur.

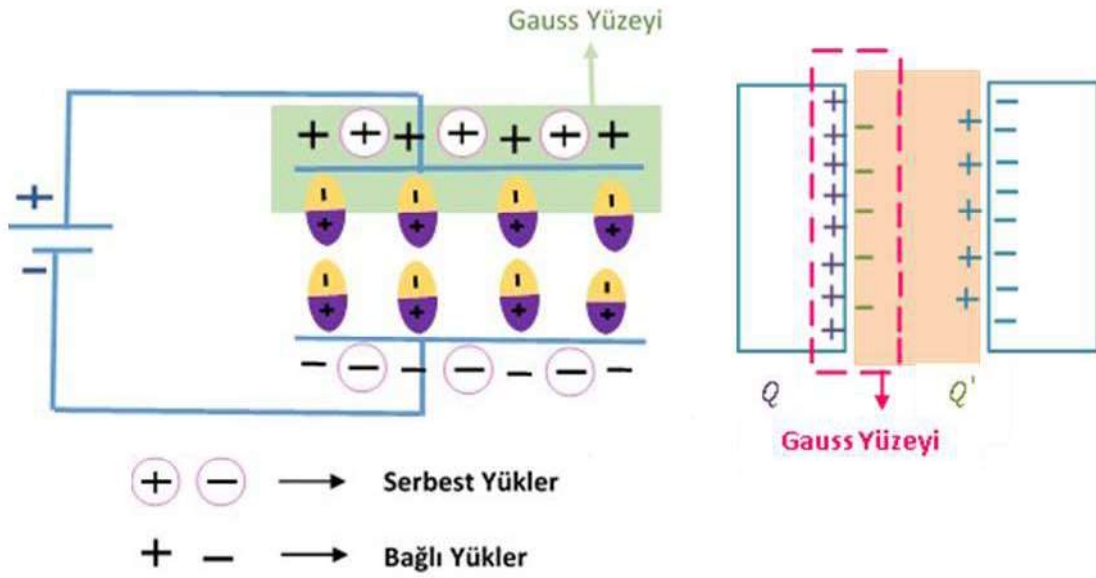
Birim alandaki yük miktarını ifade eden $\frac{Q}{A}$ yerine σ yük yoğunluğu ifadesi yazılabilir. Böylece elektrik alan ifadesi, yük yoğunluğuna bağlı olarak

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.17)$$

şeklinde yazılır.



Şekil 2.6: Boşluk kapasitörde belirlenen Gauss yüzeyi.



Şekil 2.7: Dielektrikli kapasitörde belirlenen Gauss yüzeyi.

Dielektrik kapasitörde yani plakaları arasında yalıtkan malzeme bulunan kapasitörde, Şekil 2.7' deki gibi bir Gauss yüzeyi seçilirse, elektrik alan ifadesi;

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon} \quad (2.18)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\kappa \epsilon_0} \quad (2.19)$$

şeklinde olacaktır.

$$\oint |\vec{E}| |d\vec{A}| \cos \theta = \frac{Q}{\kappa \epsilon_0} \quad (2.20)$$

(2.19) ifadesi düzenlendiğinde dielektrik kapasitöre ait elektrik alan ifadesi,

$$E = \frac{Q}{A \kappa \epsilon_0} \quad (2.21)$$

şeklinde elde edilmektedir. Yük yoğunluğuna bağlı olarak,

$$E = \frac{\sigma}{\kappa \epsilon_0} \quad (2.22)$$

ifade edilebilir.

Yük yoğunluğu ifadesini elde etmek için (2.22) ifadesi düzenlenecek olursa

$$\sigma = \kappa \epsilon_0 |\vec{E}| = \epsilon |\vec{E}| \quad (2.23)$$

elde edilir.

Q' , dielektrik malzemenin plakalara bakan yüzeylerinde indüklenme ile oluşan yükleri temsil eder. $Q - Q'$ ifadesi ise Gauss yüzeyi üzerindeki net yükü temsil eder.

Plakalar arasında dielektrik malzeme olması durumunda, toplam elektrik alan azalır. Bu azalmanın sebebi, plakalar arasında oluşan elektrik alana, polarizasyon sonucu ters yönde bir elektrik alanın oluşmasıdır. Bu durum,

$$\frac{Q}{\epsilon_0 A \kappa} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} - \frac{Q'}{\epsilon_0 A} \quad (2.24)$$

eşitliği ile ifadesi elde edilir.

Eşitlik düzenlendiğinde;

$$Q' = Q \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right) \quad (2.25)$$

elde edilir. (2.24) bağıntısındaki ilk terim, $\frac{Q}{\epsilon_0 A \kappa}$ deplasman alanına, ikinci terim; $\frac{Q}{\epsilon_0 A}$ plakalar arası uygulanan elektrik alana, son terim $\frac{Q'}{\epsilon_0 A}$ polarizasyon sebebiyle zıt yönde oluşan elektrik alana karşılık gelmektedir.

Plakalar arasındaki toplam elektrik alan,

$$|\vec{D}| = \epsilon_0 |\vec{E}| + |\vec{P}| \quad (2.26)$$

olarak tanımlanan $\vec{D}$ elektrik deplasman vektörü ile gösterilmektedir [23,24]. Toplam elektrik alan

$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ ifadesine eşit olduğundan (2.26) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2.27)$$

elde edilir. Buradan polarizasyon vektörünün,

$$\vec{P} = (\epsilon_0 - \epsilon) \vec{E} = (\kappa - 1) \epsilon_0 \vec{E} \quad (2.28)$$

şeklinde ifade edilebileceği görülmektedir.

2.1.3. Değişken Elektrik Alanda Kapasitör

Kapasitörün plakaları arasına ω açısal frekanslı potansiyel fark uygulandığında yani değişken elektrik alan uygulandığında, uygulanan potansiyel fark ifadesi

$$V = V_0 e^{i\omega t} \quad (2.29)$$

şeklinde tanımlanır. Uygulanan bu potansiyel farka karşılık kapasitörün plaka yüzeyleri,

$$Q = C_0 V = C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.30)$$

yükü ile yüklenir ve bu yüklenmeye neden olan yükleme akımı,

$$I_c = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(C_0 V_0 e^{i\omega t}) = i\omega C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.31)$$

şeklindedir. Bu denklemi düzenlemek istersek; $\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} = i$ olduğu bilindiğinden $i = e^{i\pi/2}$ yerine yazılırsa;

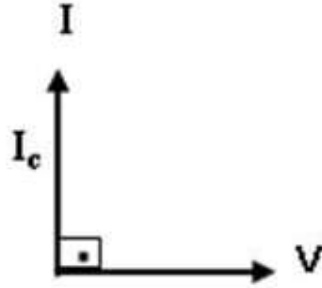
$$I_c = e^{i\pi/2} \omega C_0 V_0 e^{i\omega t} = \omega C_0 V_0 e^{i(\omega t + \pi/2)} \quad (2.32)$$

ifadesi elde edilir.

Bu eşitlikte $\omega C_0 V_0 = I_0$ olacağından,

$$I_c = I_0 e^{i(\omega t + \frac{\pi}{2})} \quad (2.33)$$

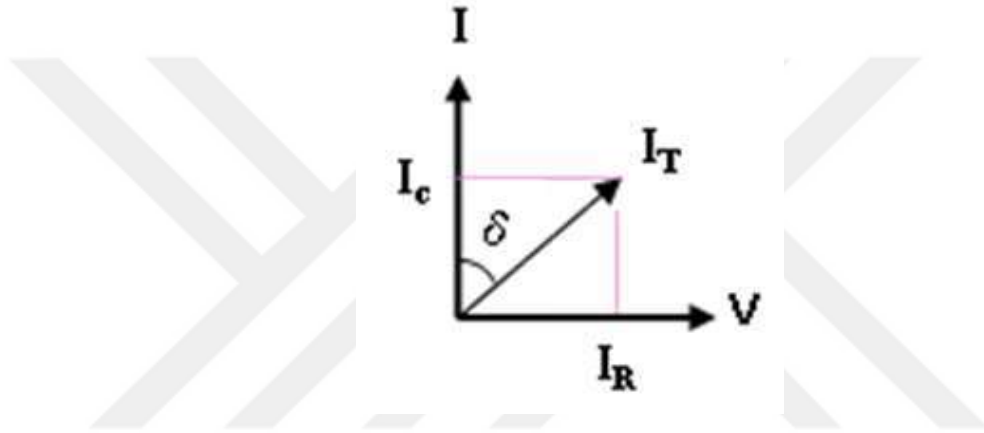
elde edilir. (2.29) ve (2.33) formüllerinde görüldüğü gibi uygulanan potansiyel ile yükleme akımı arasında 90° faz farkı vardır. Bu akımın, uygulanan voltajdan 90° ilerde olduğunu göstermektedir. Bu durum, Şekil 2.8' daki fazör diyagramıyla açıklanabilir.



Şekil 2.8: Değişken elektrik alan altında boşluk kapasitörüne ait yükleme akımı ile voltaj arasındaki faz farkını gösteren fazör diyagramı.

Değişken elektrik alanda plakalar arasına dielektrik malzeme konulduğunda, hem yükleme akımı hem de kayıp akımı denilen iki tür akım söz konusu olacaktır. Yükleme akımı ile voltaj arasında 90° faz farkı varken, kayıp akımıyla voltaj aynı fazdadır. Bu nedenle toplam akım ile voltaj arasındaki faz farkı 90° ' den daha az olacaktır. Faz farkı bu durumda, $90^\circ - \delta$ ile ifade edilir [23-25]. Bu durum, Şekil 2.9' daki gibi fazör diyagramı ile açıklanabilir.

Dielektrik malzemedeki enerji kaybı sebebiyle meydana gelen ve uygulanan potansiyelle aynı fazdaki akım bileşeni kayıp akımı olarak adlandırılır ve I_R ile gösterilir.



Şekil 2.9: Değişken elektrik alan altında dielektrik kapasitöre ait akım ve voltaj arasındaki faz farkı. Kayıp akımı ifadesi; G , kondüktans olmak üzere

$$I_R = G V \quad (2.34)$$

şeklinde tanımlanır.

Kondüktans, $G = \frac{1}{R}$ şeklinde verilirse,

Kapasitördeki toplam akım,

$$I = I_C + I_R = (i\omega C_0 + G)V \quad (2.35)$$

ifade edilir. Yükleme akımı ile toplam akım arasındaki açının tanjantı

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega RC} \quad (2.36)$$

kayıp faktörü olarak adlandırılır.

Toplam akım ifadesi ise,

$$I = (i\omega\epsilon' + \omega\epsilon'') \frac{C_0}{\epsilon_0} V = i\omega C_0 \frac{\epsilon' - i\epsilon''}{\epsilon_0} V \quad (2.37)$$

şeklindedir.

Kompleks dielektrik permitivite ifadesi,

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon'' \quad (2.38)$$

şeklinde olup, ϵ' , dielektrik permitivite ve ϵ'' , dielektrik kayıp permitivitesi olarak adlandırılır [22]. κ^* , kompleks dielektrik sabiti ifadesi

$$\kappa^* = \frac{\epsilon^*}{\epsilon_0} \quad (2.39)$$

şeklinde tanımlanır ve kompleks ifade $\kappa^* = \kappa' - i\kappa''$ şeklinde yazılır [25]. Burada κ' , dielektrik sabitinin gerçek kısmı, κ'' ise dielektrik sabitinin sanal kısmı olarak tanımlanır.

Dielektrik kapasitör için toplam akım ifadesi,

$$I = \frac{dQ}{dt} = i\omega\kappa C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.40)$$

$$I = i\omega(\kappa' - i\kappa'') C_0 V_0 e^{i\omega t} = i\omega\kappa' C_0 V_0 e^{i\omega t} + \omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.41)$$

şeklindedir. Toplam akım ifadesi I_C yükleme akımı ve I_R kayıp akımının toplamı olarak yazılacak olursa, yükleme akımı ifadesi;

$$I_C = i\omega\kappa' C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.42)$$

ve kayıp akımı ifadesi,

$$I_R = \omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.43)$$

olarak ifade edilir.

Kayıp faktörünün ise,

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t}}{i\omega\kappa' C_0 V_0 e^{i\omega t}} = \frac{\kappa''}{\kappa'} \quad (2.44)$$

ifadesinden, dielektrik sabitinin sanal ve gerçek kısımlarının oranı olduğu görülmektedir.

Akım yoğunluğu,

$$J = \frac{I_R}{A} \quad (2.45)$$

şeklinde ifade edilmektedir [23].

Bu ifadede, kayıp akımı terimi yerine yazıldığında, akım yoğunluğu;

$$J = \frac{\omega \kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t}}{A} \quad (2.46)$$

şeklinde ifade edilir. Elektrik alan ifadesi $E = V/d$ olmak üzere bu iletkenliğe ait akım yoğunluğu ifadesi,

$$J = \frac{A \varepsilon_0 \kappa'' E d e^{i\omega t}}{A} \quad (2.47)$$

$$J = \omega \kappa'' E = \sigma E \quad (2.48)$$

şeklindedir. Bu denklemler sonucunda dielektrik ortamın değişken alan iletkenliği olarak tanımlanan,

$$\sigma_{AC} = \omega \kappa'' \quad (2.49)$$

ifadesi elde edilir. Dielektrik malzemeye değişken bir elektrik alan uygulandığında, dielektrik içerisinde oluşan polarizasyon sonucunda meydana gelen ısı enerjisinin eş değeri kayıp akımı terimidir. Buna karşılık gelen terim de alternatif iletkenlik olarak adlandırılır [24].

2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI

Polarizasyon, dielektrik malzeme içerisindeki yük taşıyıcılarının, uygulanan dış elektrik alanın gerektirdiği şekilde yönelmeleridir.

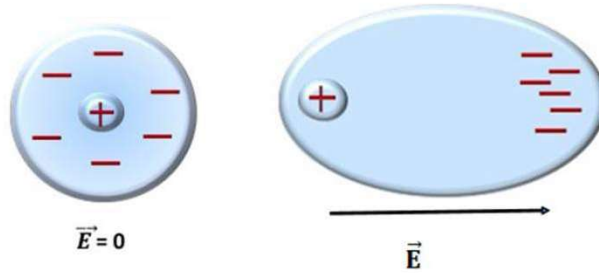
(2.26)'daki eşitlikte polarizasyon sebebiyle oluşan alana karşılık gelen $\frac{Q'}{\epsilon_0 A}$ terimi, d plakalar arası uzaklıkla çarpılıp bölünürse; polarizasyon

$$|\vec{P}| = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Q' d}{A d} = \frac{p}{\epsilon_0 A d} \quad (2.50)$$

şeklinde ifade edilebilir [24, 25]. Buradaki $Q'd$ ifadesinin dipol momentini ifade etmektedir. Polarizasyon, birim hacim başına düşen dipol momentini olarak tanımlanır.

2.2.1 Elektronik Polarizasyon

Bir dış elektrik alan uygulandığında, pozitif yüklü çekirdeğin etrafındaki negatif yüklü elektron bulutunun kütle merkezi çekirdeğe oranla bir miktar yer değiştirmesi sonucunda meydana gelir ve bunun sonucunda dipol momentleri meydana gelir. Bu durum maddenin elektronik polarizasyonu olarak tanımlanır. Elektronik polarizasyon, yaklaşık olarak 10^{15} Hz frekans aralığında gözlemlenmektedir [26].



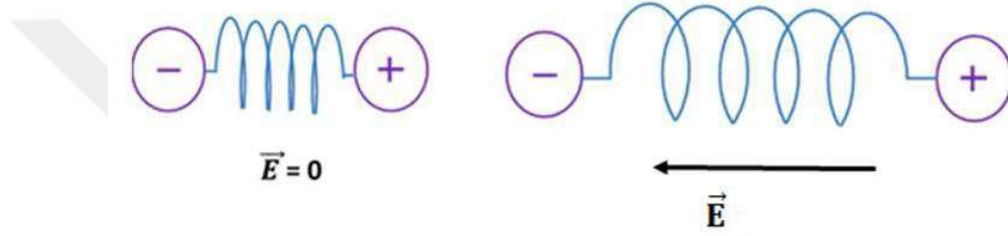
Şekil 2.10: Elektronik polarizasyon gösterimi.

Atomik polarizasyon ise, elektronik polarizasyonun aksine dış elektrik alan altındaki çok atomlu bir molekülü oluşturan atom merkezlerinin birbirlerine göre çok küçük miktarda yer değiştirmesi sonucu meydana gelir. Atomik polarizasyonda dielektrik kayıp az olduğundan toplam ısınmaya katkısı azdır [27].

2.2.2. İyonik Polarizasyon

Malzeme içerisindeki kristal yapıyı meydana getiren iyonların, dış elektrik alan etkisiyle, alanın gerektirdiği şekilde yönelmeleri sonucunda dipoller oluşur. Bu durum iyonik polarizasyon olarak adlandırılır.

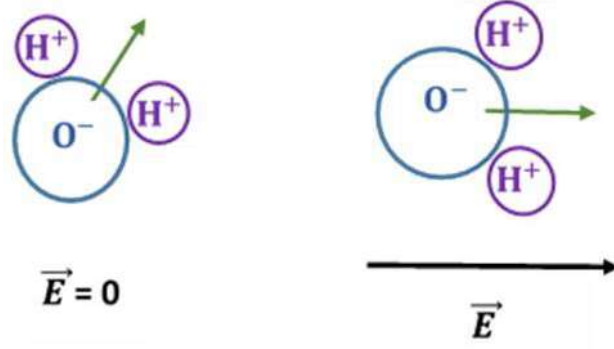
Kristal örgüyü oluşturan iyonlar, elektronlara göre kütle bakımından daha ağır oldukları için elektronik polarizasyon göre elektrik alana cevap verme süreleri daha uzundur. Bu yüzden iyonik polarizasyon, elektronik polarizasyona göre daha düşük frekanslarda gözlenir [28].



Şekil 2.11: İyonik polarizasyon gösterimi.

2.2.3. Dipolar Polarizasyon

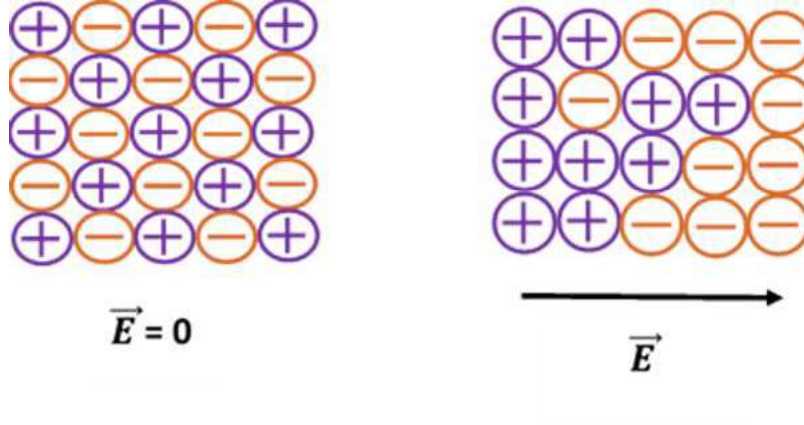
Bazı moleküller kendiliğinden dipol momentine sahiptirler ve bu moleküllere bir dış elektrik alan uygulanırsa, yapısında bulunan dipol momentleri üzerine bir tork etki ederek molekülün dönmesine neden olur. Bunun sonucunda moleküller uygulanan elektrik alanın gerektirdiği yönde yönelirler. Bu durum dipolar polarizasyon olarak tanımlanır. Su molekülü buna örnek olarak verilebilir. Dipolar polarizasyon 10^3 ile 10^6 Hz frekans aralığında gözlemlenmektedir [29].



Şekil 2.12: Dipolar polarizasyon.

2.2.4. Yüzeyler arası Polarizasyon

Yüzeyler arası polarizasyon, dielektrik malzemeyi meydana getiren örgü ve tabaka yüzeylerinin arasındaki kırık ve çatlaklara yüzey yüklerinin birikmesi sonucunda meydana gelmektedir. Yük taşıyıcılarının yavaş hareket etmesi sebebiyle yüzeyler arası polarizasyonun meydana gelmesi de yavaş bir süreçtir. Bu yüzden yüzeyler arası yük polarizasyonu 10^{-2} Hz frekans civarında meydana gelmektedir [22].



Şekil 2.13: Yüzeyler arası polarizasyon.

2.3. CLASIUS-MOSOTTI DENKLEMİ

Polarizasyon, N birim hacim başına düşen dipol moment sayısı, $\vec{\mu}$, ortalama dipol momenti olmak üzere

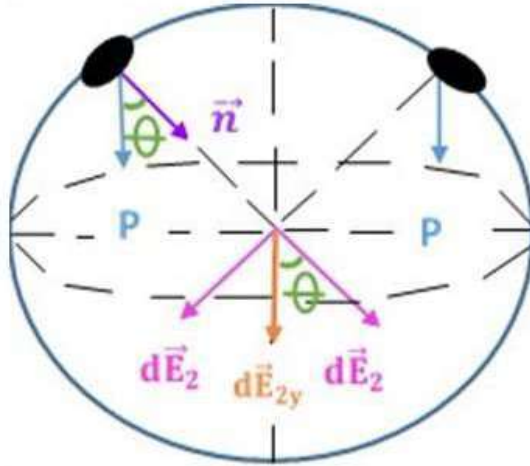
$$\vec{P} = N\vec{\mu} \quad (2.51)$$

şeklinde ifade edilir.

Ortalama dipol moment, $\vec{\mu} = \alpha \vec{E}'$ olmak üzere, α , polarizasyon katsayısı ve $\vec{E}'(\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3)$ lokal elektrik alan olmak üzere, polarizasyon

$$\vec{P} = N\alpha \vec{E}' \quad (2.52)$$

şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 2.14: Paralel levhalar arasında seçilen oyuk içerisinde oluşan elektrik alanların gösterimi.

Paralel levhalar arasında bir oyuk seçelim. $\vec{E}_1$, plakalar arasında oluşan elektrik alanı, $\vec{E}_2$, dipoller arasında oluşan elektrik alan ve $\vec{E}_3$, civardaki dipollerden kaynaklanan elektrik alanı ifade etmektedir. Ancak buradaki $\vec{E}_3$ elektrik alanı $\vec{E}_1$ ve $\vec{E}_2$ 'ye göre çok çok küçük olduğundan ihmal edilebilir.

Oyuk içerisinde bir $d\vec{A}$ yüzey alanı seçersek, her alana karşılık gelen bir elektrik alan olacaktır.

$\vec{E}_2$ elektrik alanı,

$$d\vec{E}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \quad (2.53)$$

$$dE_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} P \cos \theta dA \quad (2.54)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$\vec{E}_2$ elektrik alanının y bileşeni, $\vec{E}_2$ elektrik alanının $\cos \theta$ bileşeni olduğundan,

$$dE_{2y} = d\vec{E}_2 \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{P \cos^2 \theta}{r^2} dr \quad (2.55)$$

ifade edilir. Bütün yükler yarıçap kadar uzaklıkta olduğundan dr ifadesi kaldırılabilir, böylece ifade düzenlenirse,

$$dE_{2y} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{P \cos^2 \theta}{r^2} r^2 \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.56)$$

elde edilir. Buradan E_{2y} , Lorentz alanı

$$E_{2y} = \frac{P}{3\epsilon_0} \quad (2.57)$$

bulunur. $\vec{E}'$ lokal elektrik alanı, $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ ve $\vec{E}_3$ alanlarının toplamı olduğuna göre;

$$E' = E + \frac{P}{3\epsilon_0} + 0 \quad (2.58)$$

olarak ifade edilir. Buradan da (2.51) eşitliğindeki polarizasyon ifadesi yerine yazılırsa,

$$E' = \frac{(\kappa' + 2)E}{3} \quad (2.59)$$

elde edilir. (2.29) ile (2.53) eşitliklerindeki polarizasyon ifadeleri birbirine eşitlenirse

$$(\kappa' - 1)\epsilon_0 E = N\alpha E' \quad (2.60)$$

$$(\kappa' - 1)\epsilon_0 E = N\alpha \frac{(\kappa' + 2)E}{3} \quad (2.61)$$

bulunur. Eşitlik düzenlendiğinde

$$\frac{(\kappa' - 1)}{(\kappa' + 2)} = \frac{N\alpha}{3\varepsilon_0} \quad (2.62)$$

elde edilir ve bu eşitlik Classius-Mossotti eşitliği olarak adlandırılır [23]. Elde edilen bu eşitlikle makroskopik κ' ile mikroskopik α ilişkilendirilmektedir.

2.4. ALTERNATİF İLETKENLİK

Değişken elektrik alan (AC) iletkenliği, değişken alanda dielektrik ortamda meydana gelen polarizasyona harcanan enerji ile orantılı olup, polarizasyon mekanizmalarına bağlı olarak açıklanabilir. Polarizasyon mekanizmaları yaygın durumlara ve lokal durumlara ait olmak üzere başlıca iki gruba ayrılabilir. Yaygın durumlara ait polarizasyon ancak yüksek frekanslarda ölçülebilen bir iletkenliğe neden olabilir ve meydana gelen AC iletkenliğinin frekansın karesi ile orantılı olduğu gözlenmektedir

Bağlı yüklerin elektrik alan altındaki davranışları incelendiğinde, bu yüklerin sürtünme kuvvetlerini de dikkate almak gerekir.

$$\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E} + \vec{F}_{drag} \quad (2.63)$$

$\vec{F}_{drag}$: sürtünme kuvveti

$$\vec{F}_{drag} = -\frac{m\vec{V}}{\tau} \quad (2.64)$$

$$m\vec{a} = q\vec{E} + \left(-\frac{m\vec{V}}{\tau}\right) \quad (2.65)$$

$$m\frac{d\vec{V}}{dt} = q\vec{E} - \frac{m\vec{V}}{\tau} \quad (2.66)$$

$$m\frac{d\vec{V}}{dt} + \frac{m\vec{V}}{\tau} = q\vec{E} \quad (2.67)$$

Alternatif alan altında hız ve elektrik alan:

$$V(t) = V_0 e^{i\omega t}$$

$$E(t) = E_0 e^{i\omega t}$$

şeklindedir.

(2.67) numaralı ifadeyi kullanarak,

$$\frac{dV(t)}{dt} = i\omega V_o e^{i\omega t} \quad (2.68)$$

$$i\omega V_o e^{i\omega t} + \frac{m}{\tau} V_o e^{i\omega t} = qE_o e^{i\omega t} \quad (2.69)$$

$e^{i\omega t}$ ifadeleri sadeleşir.

$$V_o m \left(i\omega + \frac{1}{\tau} \right) = qE_o \quad (2.70)$$

(2.70) numaralı ifade için gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$V_o = \left(\frac{q\tau}{m} \right) \frac{1}{1 + i\omega\tau} E_o \quad (2.71)$$

(2.71) numaralı ifade sürüklenme hızına eşittir.

$$V_o = V_s$$

$$J = \frac{nq^2\tau}{m} \frac{1}{1 + i\omega\tau} E_o \quad (2.72)$$

elde edilir.

$$J = \sigma \cdot E$$

$$J(\omega) = \sigma(\omega) \cdot E(\omega)$$

$$J = \frac{\sigma_0}{1 + i\omega\tau} E_o = \sigma(\omega) \cdot E(\omega) \quad (2.73)$$

$\sigma(\omega)$ ifadesinin paydasını reel yaparak sanal ve reel kısımlarına ayıralım.

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1 + \omega^2\tau^2} - \frac{i\omega\tau\sigma_0}{1 + \omega^2\tau^2}$$

(Re) (Im)

AC iletkenlik

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.74)$$

olarak bulunur.

Belirli bir frekans (ω) ve sıcaklıkta gerçekleştirilen ölçümde toplam iletkenlik şu şekilde yazılabilir:

$$\sigma_{total}(\omega) = \sigma(\omega) + \sigma_{dc} \quad (2.75)$$

$\sigma(\omega)$: AC iletkenlik

σ_{dc} : DC iletkenlik

Bu denklem, AC ve DC iletkenliğin tamamıyla farklı süreçler olduğunu varsaymaktadır.

Birçok amorf yarı-iletken ve yalıtkanda, AC iletkenlik her zaman şu forma sahiptir:

$$\sigma(\omega) = A \cdot \omega^s \quad (2.76)$$

A: Sıcaklığa bağlı sabit

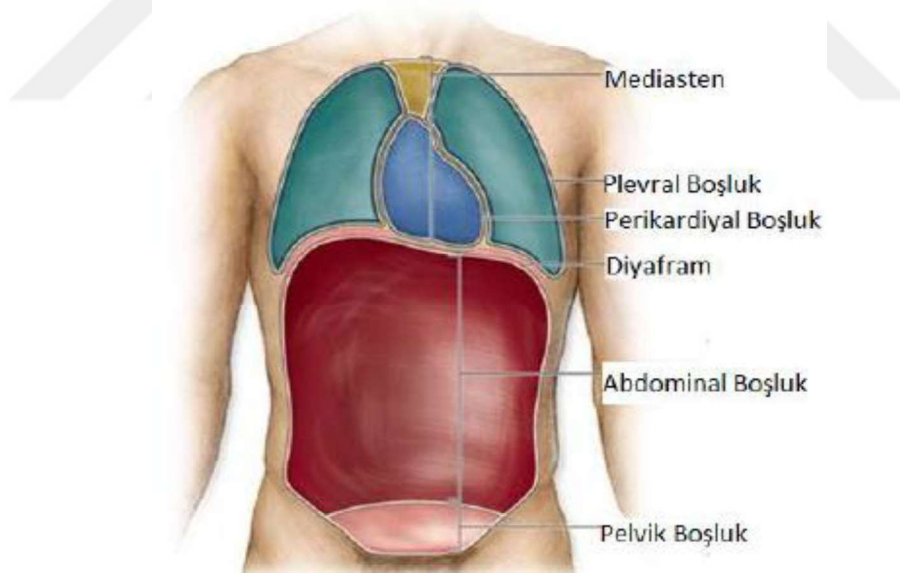
s: frekans üssü; genellikle 1'e eşit veya 1'den küçük değerler alır. ($0 < s < 1$)

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ANALİZ İÇİN KULLANILAN NUMUNELER VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ

3.1.1. Periton ve Plevral efüzyon

İnsan vücudunda, şekil 3.1’de görüldüğü gibi plevra (akciğer), periton (karın), perikard (kalp) olmak üzere 3 vücut boşluğu bulunur. Bu boşluklarda, belirli sebeplerden anormal sıvı birikimi gözlenebilir. Bu sıvı birikimine Seröz Efüzyon denir [30]. Bu vücut boşluklarında meydana gelen Seröz Efüzyon durumu, aşırı sıvı birikiminin olduğu bölgeye göre isimlendirilir. Akciğer dış yüzünü ve göğüs duvarı iç yüzünü saran akciğer zarları arasında kalan boşlukta sıvı birikimi Plevral Efüzyon olarak adlandırılır. Normalde, bu iki zar arasında çok az (20 ml) sıvı bulunur. Akciğer veya akciğer dışı hastalığa bağlı olarak, bu sıvının salgılanmasının artması veya geri emiliminin azalmasına bağlı olarak bu zarlar arasında sıvı miktarı artar ve Plevral Efüzyon durumu gelişir [31].



Şekil 3.1: Vücudumuzdaki seröz boşluklar.

Aynı şekilde, periton astarının iki tabakası arasında bir yağlayıcı olarak az miktarda bir sıvı (<50 ml) bulunur. Bu sıvının, normal dışı artması durumuna ise Periton Efüzyon denir [32].

Seröz Efüzyon durumunda hastalardan alınan doku sıvıları, tetkikler sonucunda hastalığın seyrine göre benign (iyi huylu) veya malign (kötü huylu) şeklinde adlandırılırlar [33, 35]. Vücut boşluklarında malign tümör yayılımı, hastalığın son evreye girdiğini gösteren bir bulgudur ve hastanın beklenen yaşam süresini oldukça kısaltır. Bu nedenle, seröz efüzyon sitolojisinde esas amaç, eğer varsa, sıvıda malign hücre içeriğini tespit etmektir.



Şekil 3.2: Vücut boşluklarından alınan doku sıvılarının görünümü.

Bu çalışmada karın ve akciğer zarı boşluklarından alınmış doku sıvılarının dielektrik cevapları incelenmiştir. Bu amaçla, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Patoloji Anabilim Dalından farklı hastalardan toplam 28 adet örnek alınmıştır.

Doku sıvıları yapısal olarak kan plazmasına benzetilmektedir, bu sebeple yapı içerisinde mümkün polarizasyon mekanizmalarının tayin edilmesi için doku sıvısında bulunan bileşenler aşağıdaki şekilde verilmiştir.

İçerik
Su
İyonlar (kan elektrolitleri)
Sodyum
Potasyum
Kalsiyum
Magnezyum
Klor
Bikarbonat
Plazma proteinleri
• Albümin
• Fibrinojen
• İmmüoglobulinler (Antikorlar)

Şekil 3.3: Doku sıvısının bileşenleri.

3.1.2. Dielektrik Spektroskopi Analizi

Periton ve plevra örnekleri, canlı dokulardan oluştuklarından dolayı vücut dışında bozulmaya uğrayabileceğinden alındığı tarihten itibaren dielektrik ölçümlerinin yapılması gerekmektedir [32].



Şekil 3.4: Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer cihazı.

Dielektrik ölçümler gerçekleştirilmesi için kapasitör yapısının oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle, doku örnekleri iki iletken levha arasında belirli bir kalınlıkla yerleştirilerek kapasitör yapısı oluşturulmuştur. Kullanılan iletken levhalar şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5: Alt ve üst elektrot yapısı.

Alt ve üst elektrot kimyasal ile temizlendikten sonra doku sıvısı, alt elektrot üzerine 2 veya 3 damla olacak şekilde damlatılır ve 13 mm çapına sahip üst elektrot yerleştirilerek bu iki elektrotun birbirine temas etmemesi için 0.08 mm kalınlığında mika parçaları kenarlara yerleştirilmiştir ve böylece örneğimizin kalınlığı tespit edilmiştir.

Aşağıda ölçümleri gerçekleştirilen doku sıvıları tablo halinde verilmiştir.

Toplamda 17 adet Periton (karın zarı) örneği bulunmaktadır. Bunlardan 4 adet sağlıklı(tümör olmayan), 7 adet kötü huylu ve 6 adet iyi huyu tümör örneği bulunmaktadır.

Tablo 3.1: Karın zarından alınan örnekler.

Sağlıklı	Malign	Benign
9425	26458	26507
27553	24992	14514
28837	29781	28061
28963	293	30229
	13400	2751
	14850	12266
	8794	

Plevra örnekleri 11 adet olup, bunlardan 3 adet sağlıklı, 4 adet ise kötü huylu ve iyi huylu örneklerden oluşmaktadır.

Tablo 3.2: Akciğer zarından alınan örnekler.

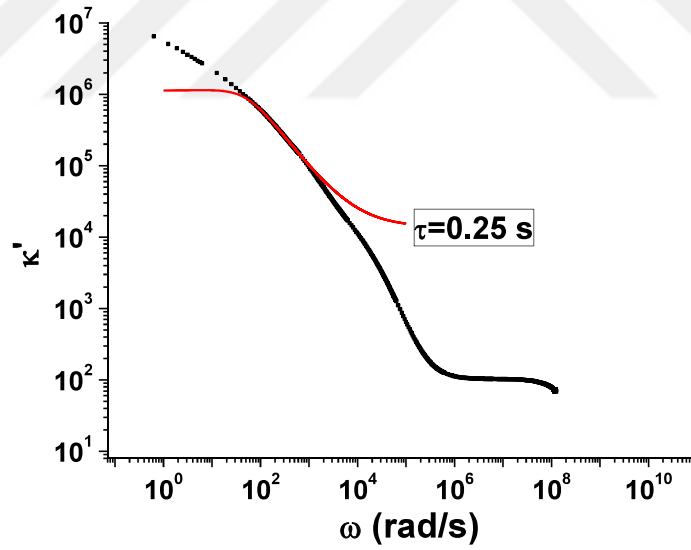
Sağlıklı	Malign	Benign
27767	9212	14553
1367	8979	24828
1446	24984	24930
	15106	10835

4. BULGULAR

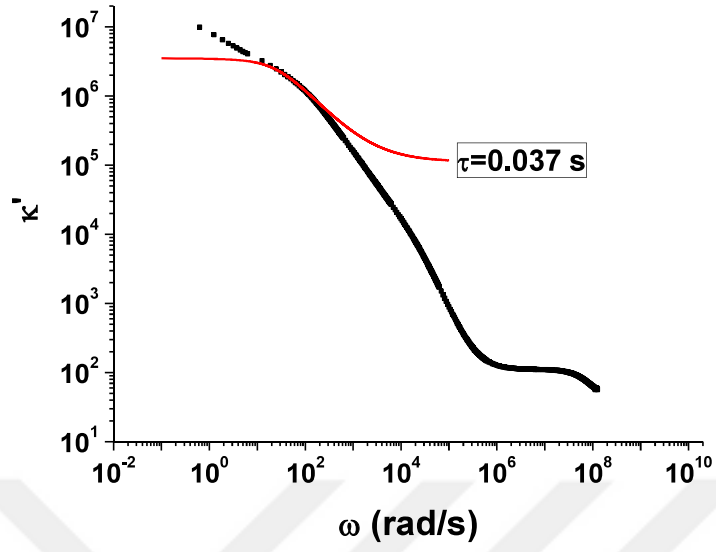
4.1. SAF SU VE ŞEKERLİ SU

- Tüm örnekler dielektrik sabiti ve dielektrik enerji kaybın, artan frekansla eksponansiyel azaldığı,
- Dielektrik sabitinde Cole-Cole denklemleri kullanılarak relaksasyon bölgelerinin belirlendiği,
- Jonscher'in iletkenlik ifadesine $\sigma_{toplam} = \sigma_{DC} + \sigma_{AC}$ / $\sigma_{toplam} = \sigma_{DC} + A\omega^s$ uyduğu ve bu ifade ile polarizasyon bölgelerinin belirlendiği,
- Frekansla değişenlik gösteren bölgelerin alternatif iletkenlik bölgesi (AC) ve frekanstan bağımsız bölgelerin DC iletkenlik bölgesi olduğu görülmektedir.

4.1.1. Dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı

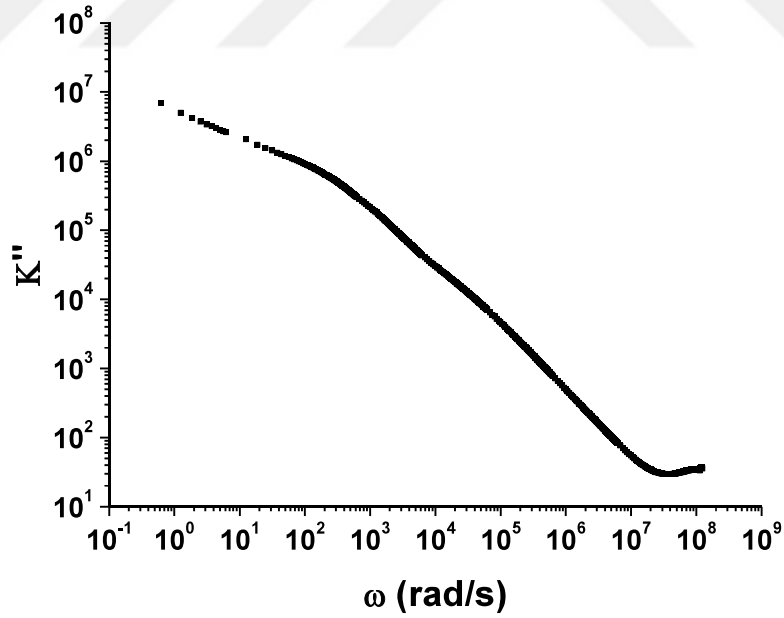


Şekil 4.1: Saf su için dielektrik sabiti (K') frekansa bağlı olarak değişimi.

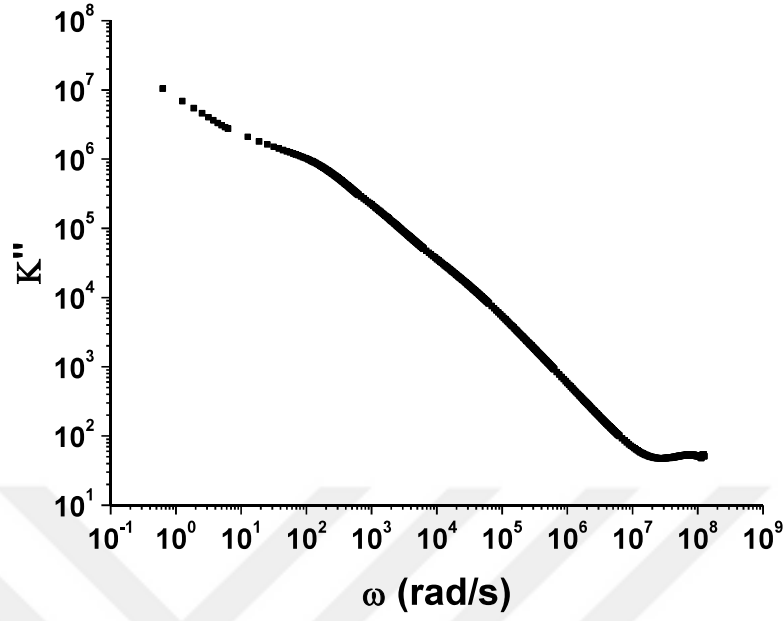


Şekil 4.2: 1/15 ml şeker ilaveli su için dielektrik sabiti (K') frekansa bağlı olarak değişimi.

4.1.2. Dielektrik enerji kaybın frekansa bağlı davranışı

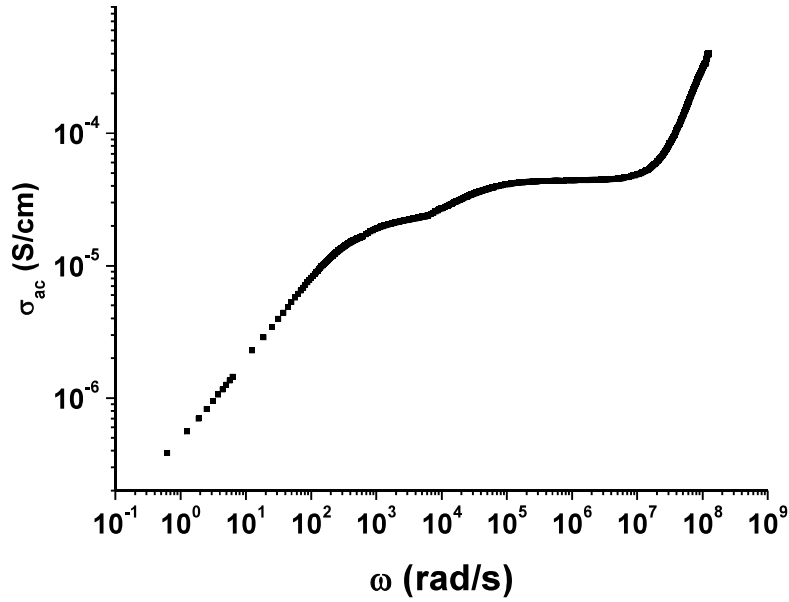


Şekil 4.3: Saf su için dielektrik enerji kaybı (K'') frekansa bağlı olarak değişimi.

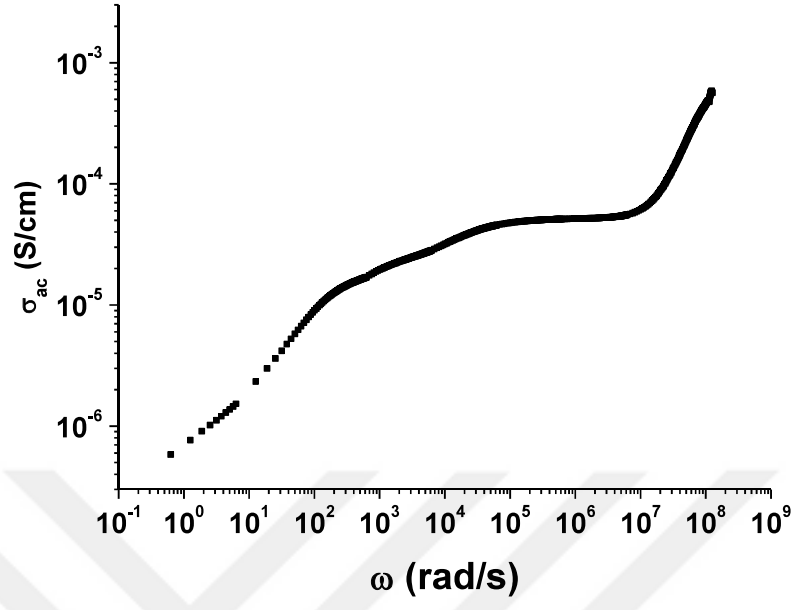


Şekil 4.4: 1/15 ml şeker ilaveli su için dielektrik enerji kaybı (K'') frekansa bağlı olarak değişimi.

4.1.3. Elektrik İletkenliği



Şekil 4.5: Saf suyun frekansa bağlı olarak elektrik iletkenlik değişimi.

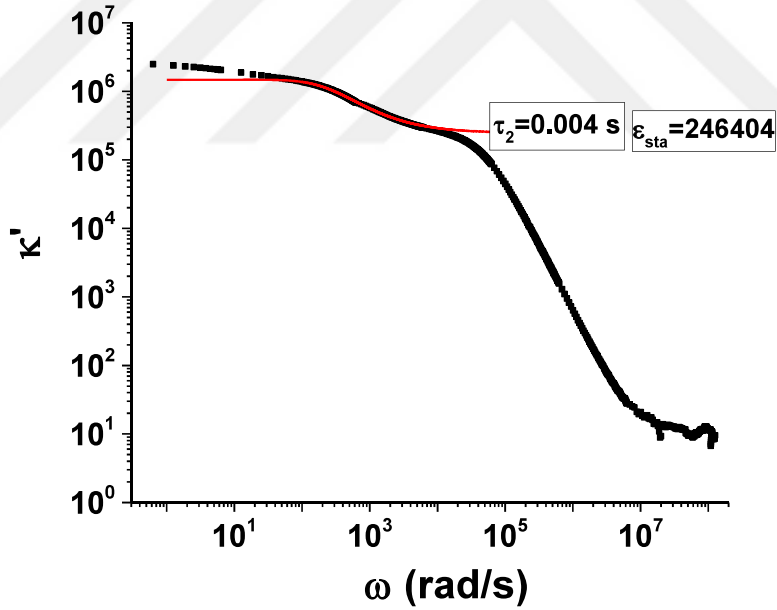


Şekil 4.6: 1/15 ml şekerli suyun frekansa bağlı olarak elektrik iletkenlik değişimi.

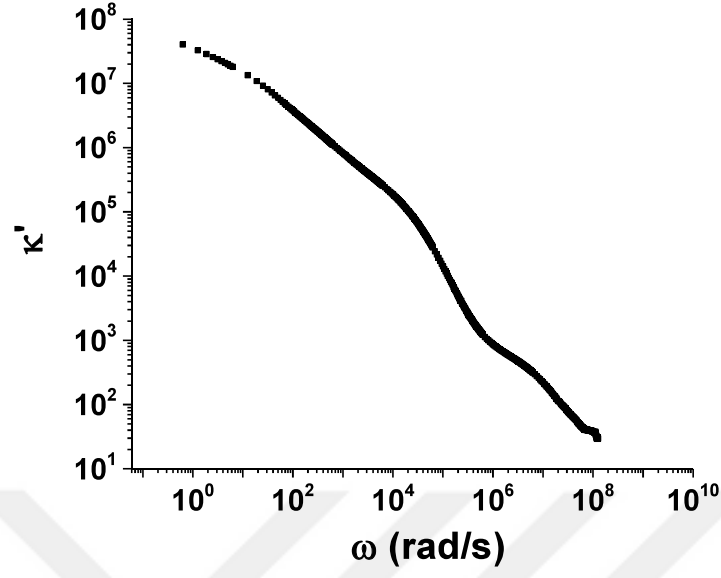
4.2. KARIN ZARI

- Tüm örnekler dielektrik sabiti ve dielektrik enerji kaybın, artan frekansla eksponansiyel azaldığı,
- Dielektrik sabitinde Cole-Cole denklemleri kullanılarak relaksasyon bölgelerinin belirlendiği,
- Jonscher'in iletkenlik ifadesine $\sigma_{toplamlam} = \sigma_{DC} + \sigma_{AC}$ / $\sigma_{toplamlam} = \sigma_{DC} + A\omega^s$ uyduğu ve bu ifade ile polarizasyon bölgelerinin belirlendiği,
- Frekansla değişenlik gösteren bölgelerin alternatif iletkenlik bölgesi (AC) ve frekanstan bağımsız bölgelerin DC iletkenlik bölgesi olduğu görülmektedir.

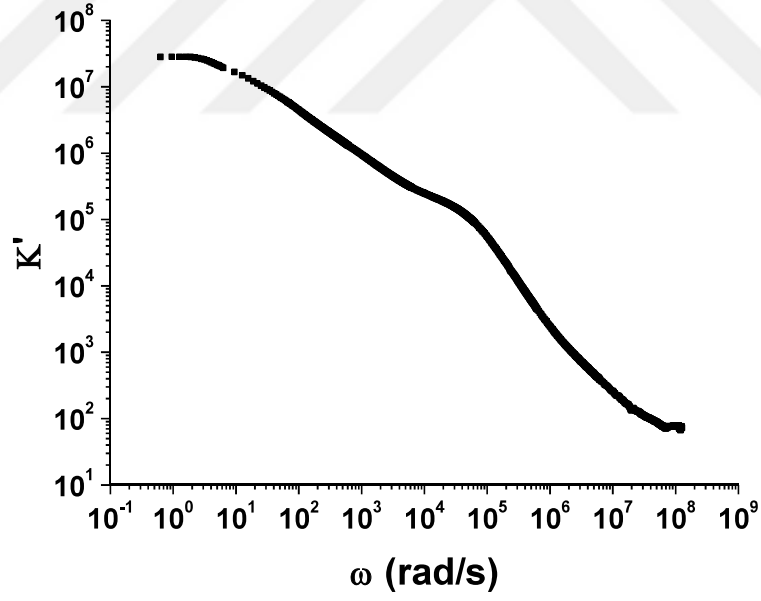
4.2.1. Karın zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı



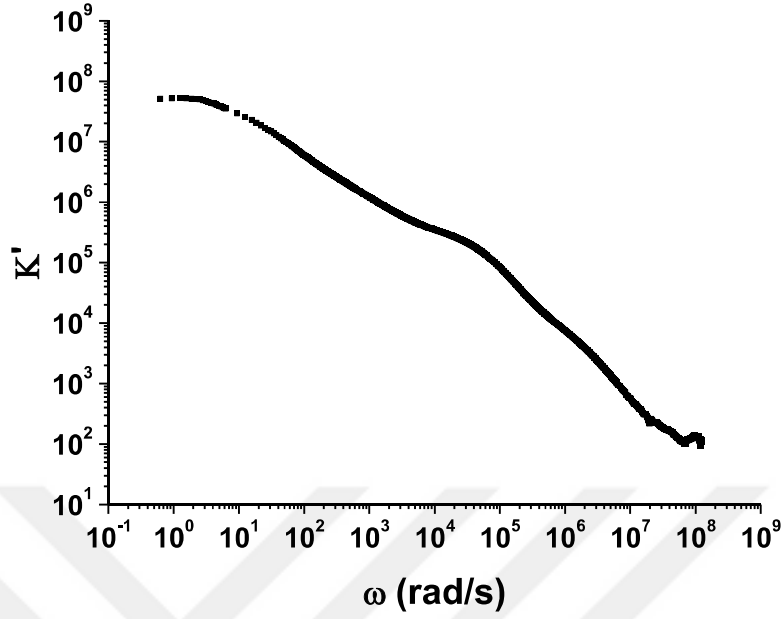
Şekil 4.7: 9425 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.8: 27553 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

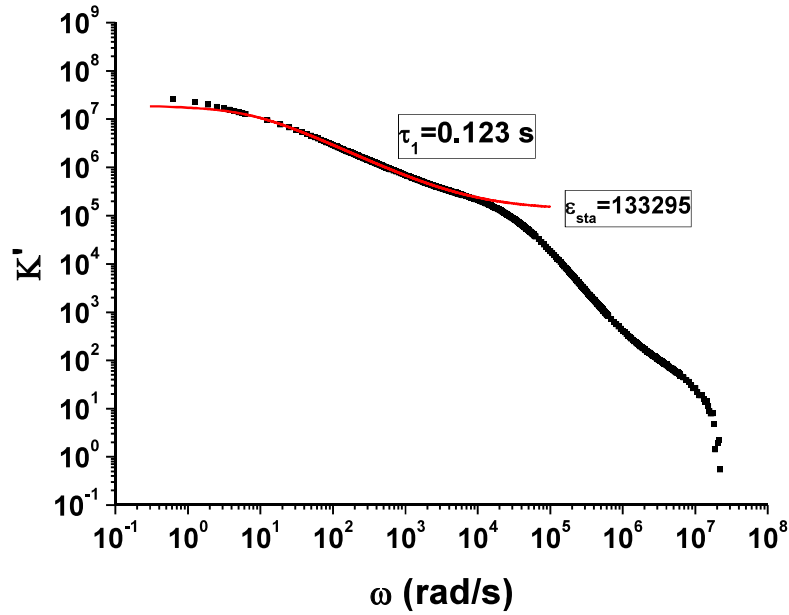


Şekil 4.9: 28837 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

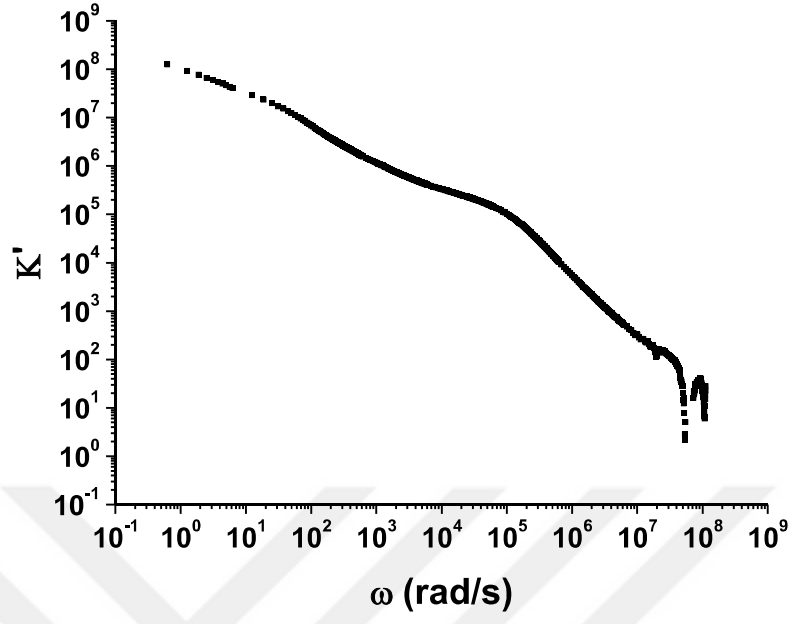


Şekil 4.10: 28963 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

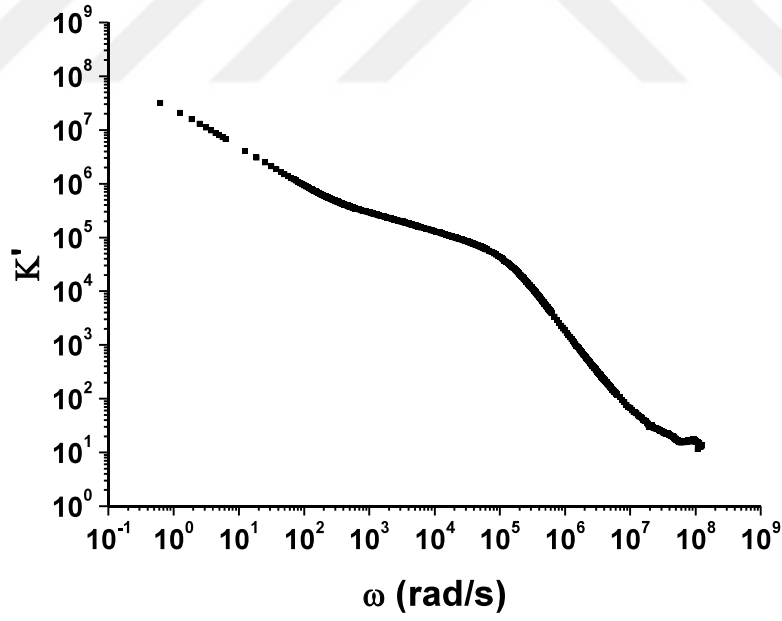
4.2.2. Karın zarından alınan benign örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı



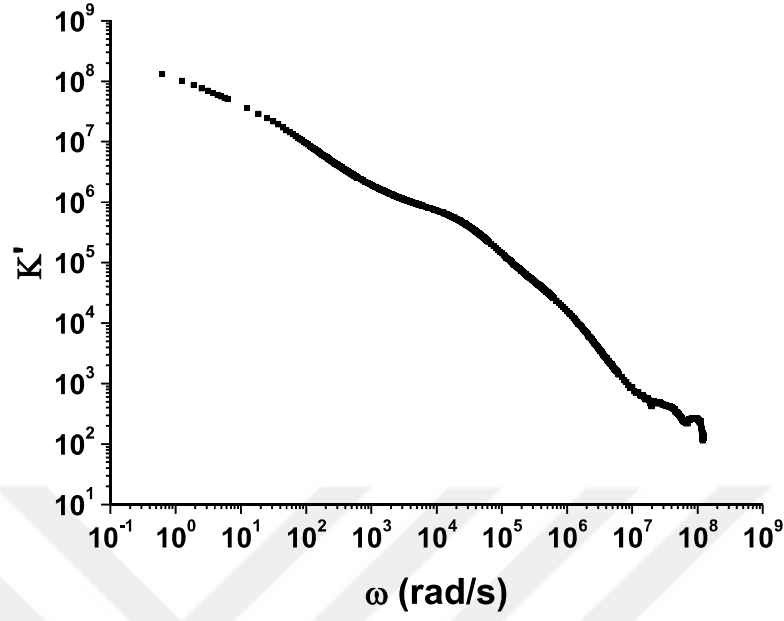
Şekil 4.11: 26507 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



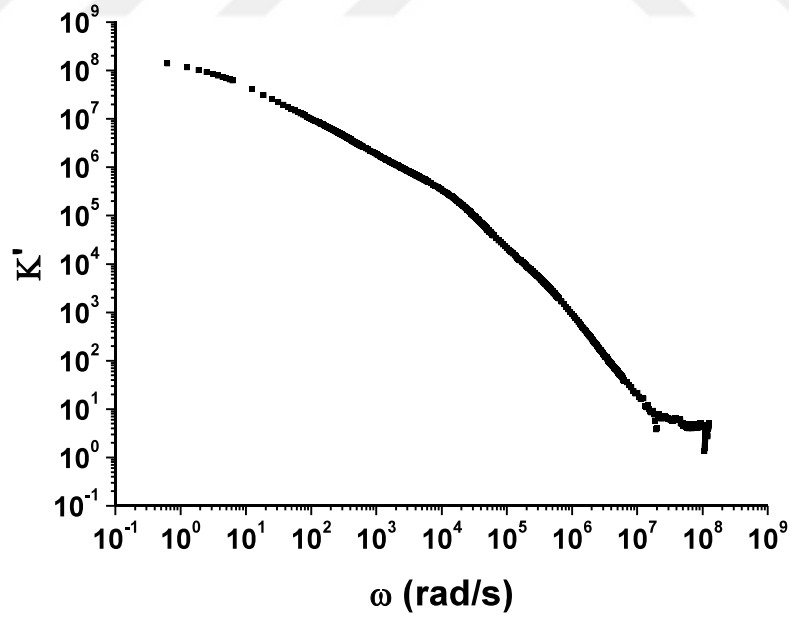
Şekil 4.12: 14514 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



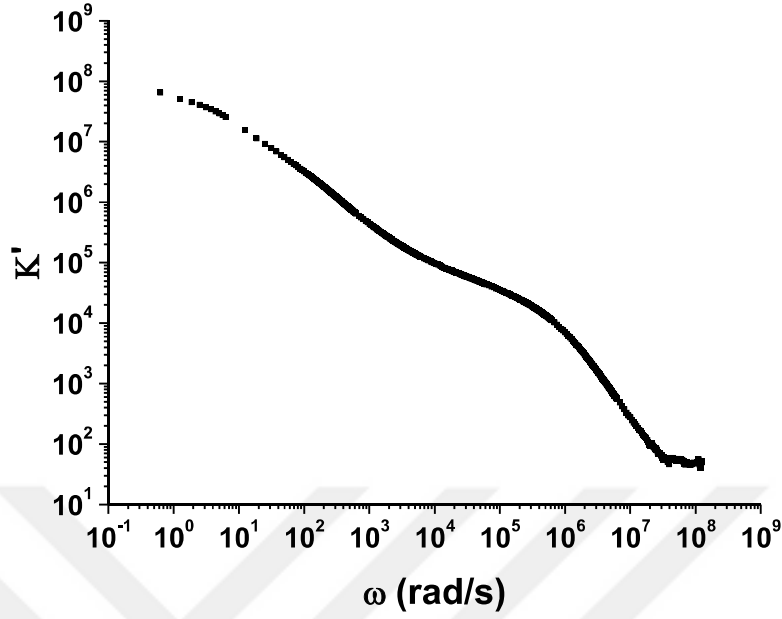
Şekil 4.13: 28061 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.14: 30229 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

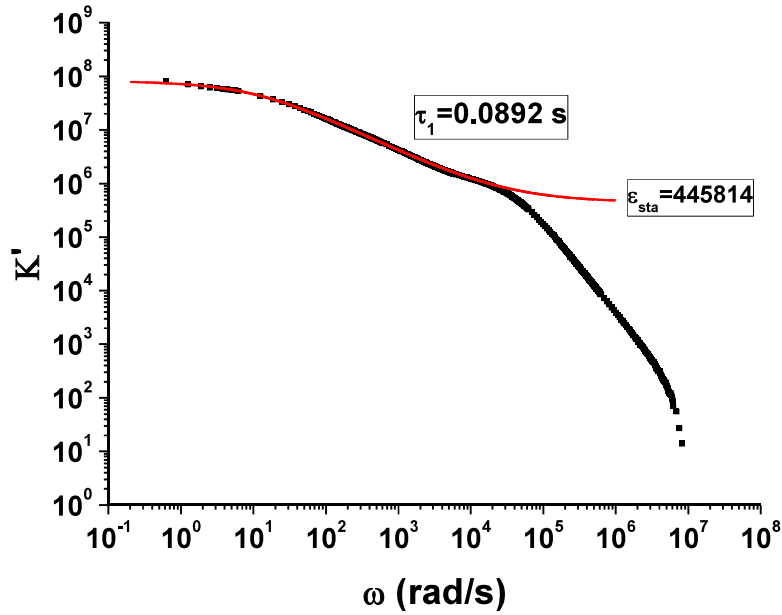


Şekil 4.15: 2751 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

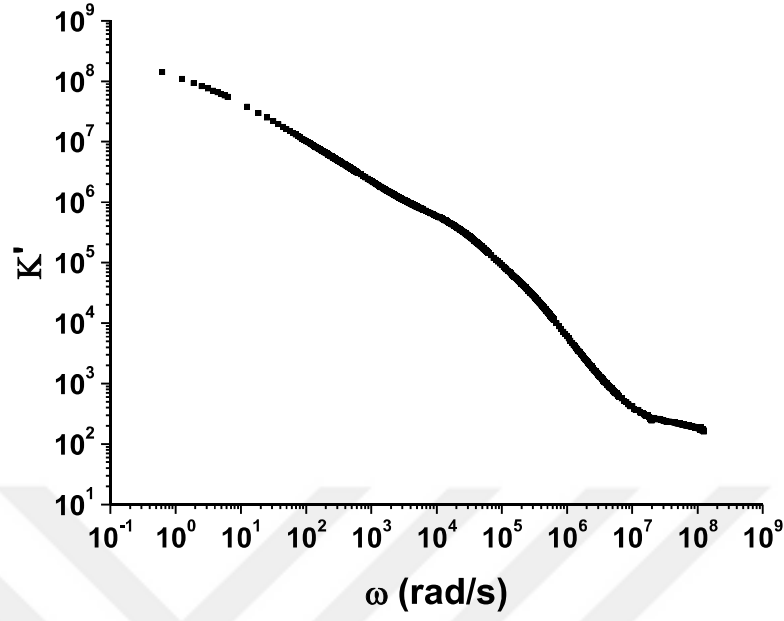


Şekil 4.16: 12266 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

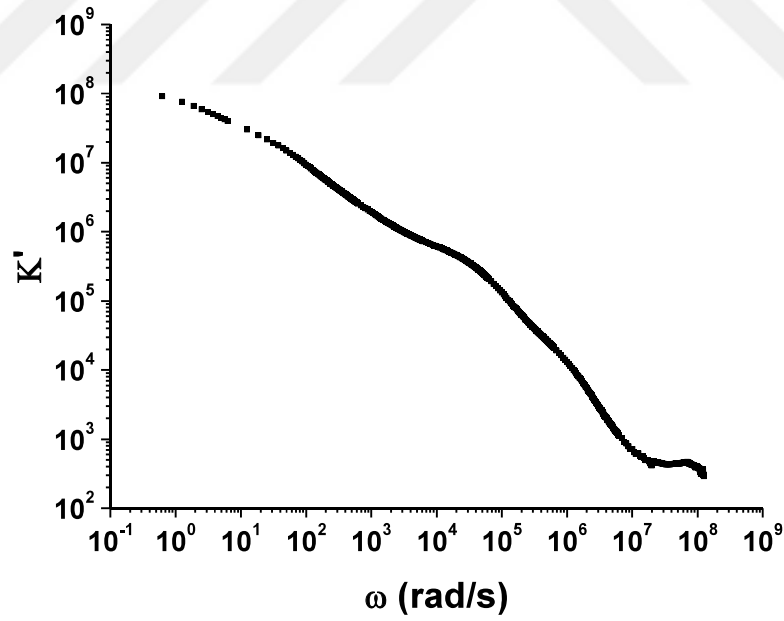
4.2.3. Karın zarından alınan malignant örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı



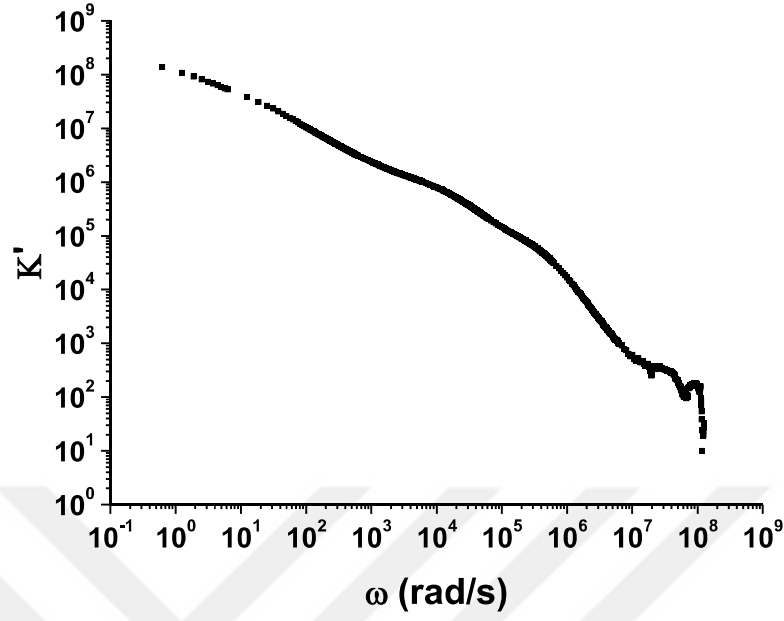
Şekil 4.17: 26458 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



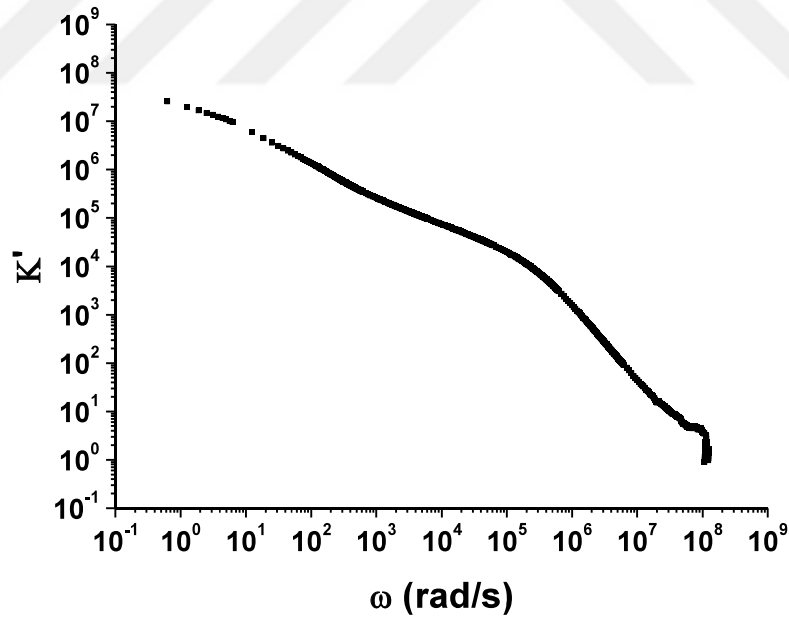
Şekil 4.18: 24992 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



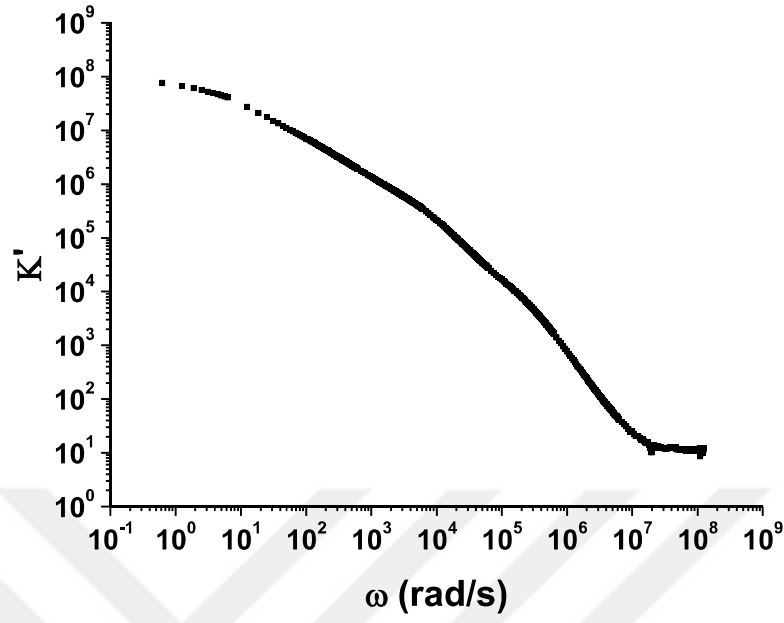
Şekil 4.19: 29781 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



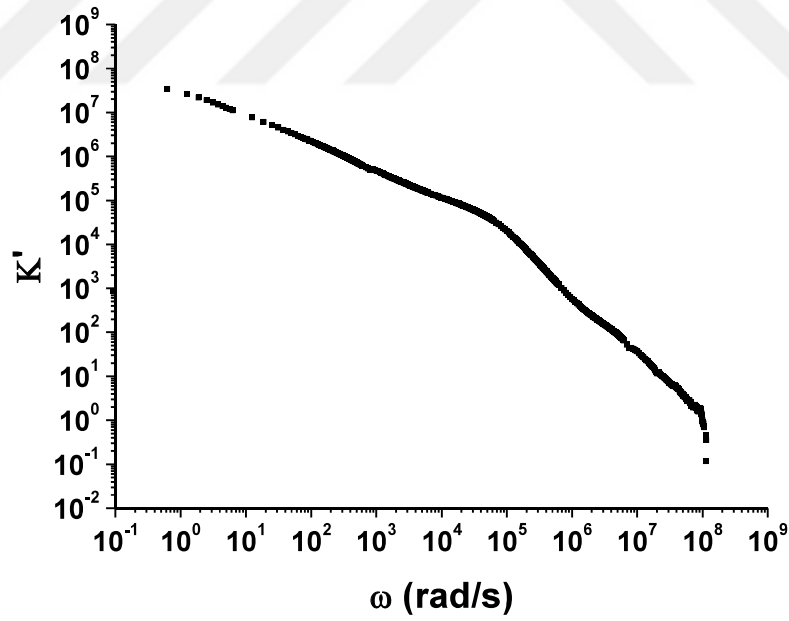
Şekil 4.20: 293 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.21: 13400 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

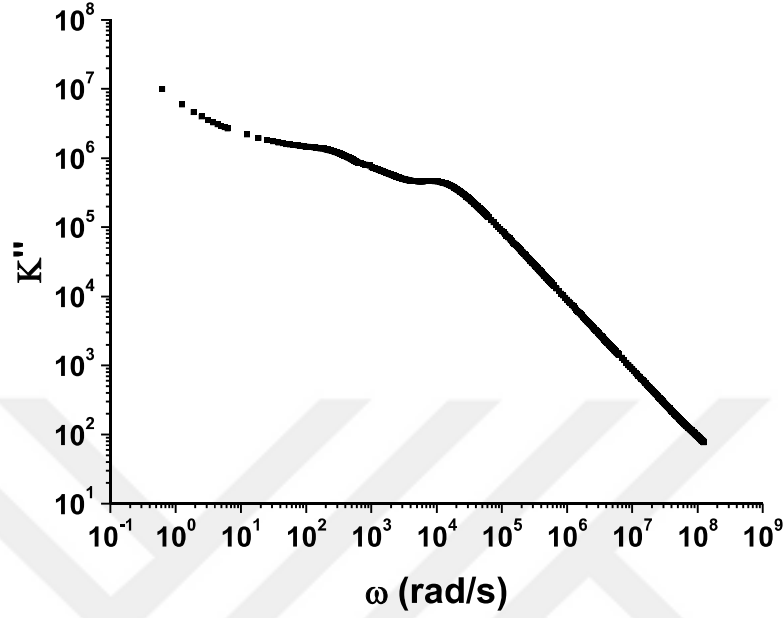


Şekil 4.22: 14850 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

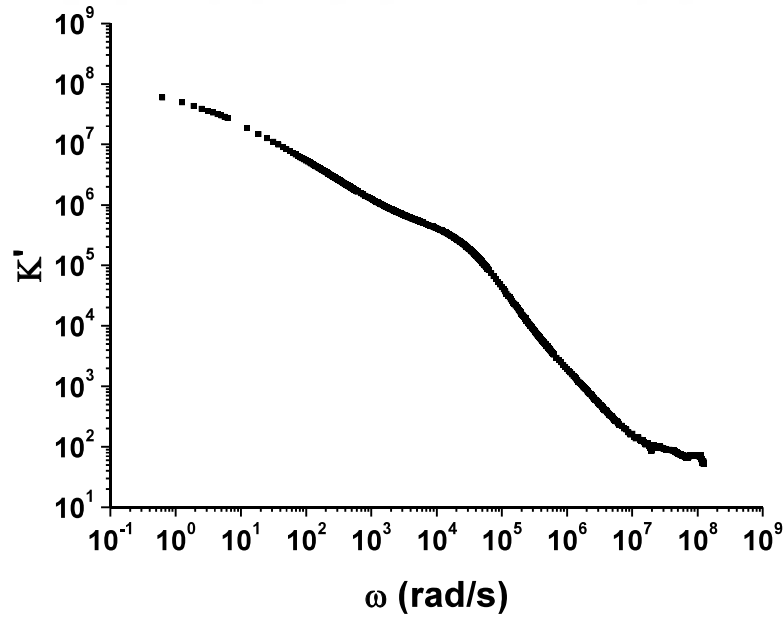


Şekil 4.23: 8794 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

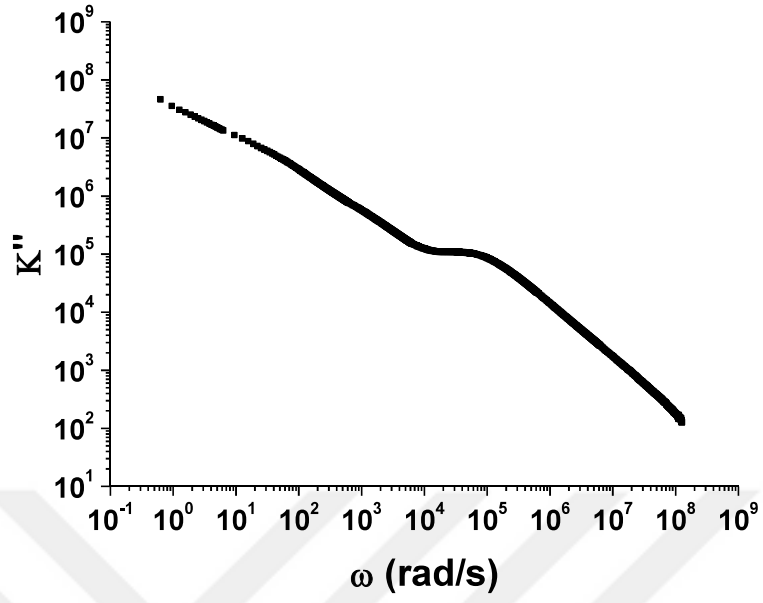
4.2.4. Karın zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik enerji kaybı



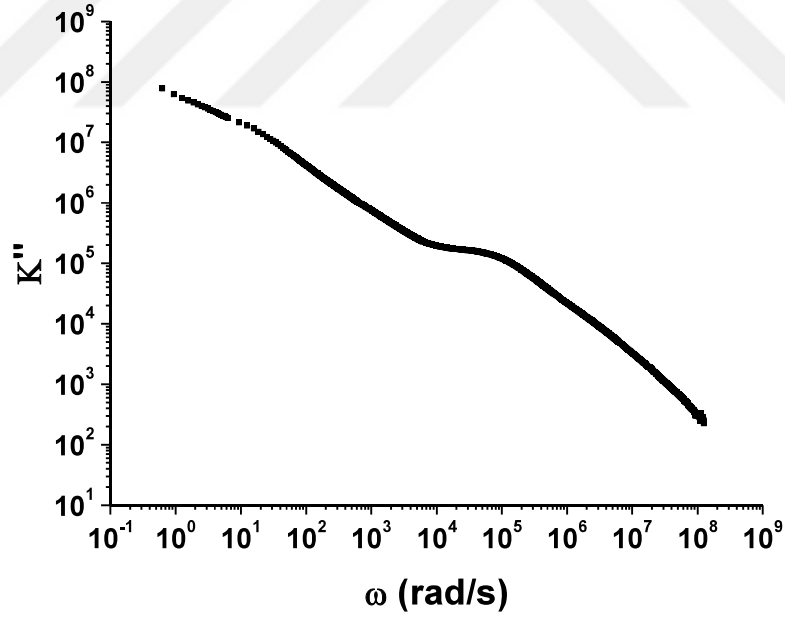
Şekil 4.24: 9425 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.25: 27553 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

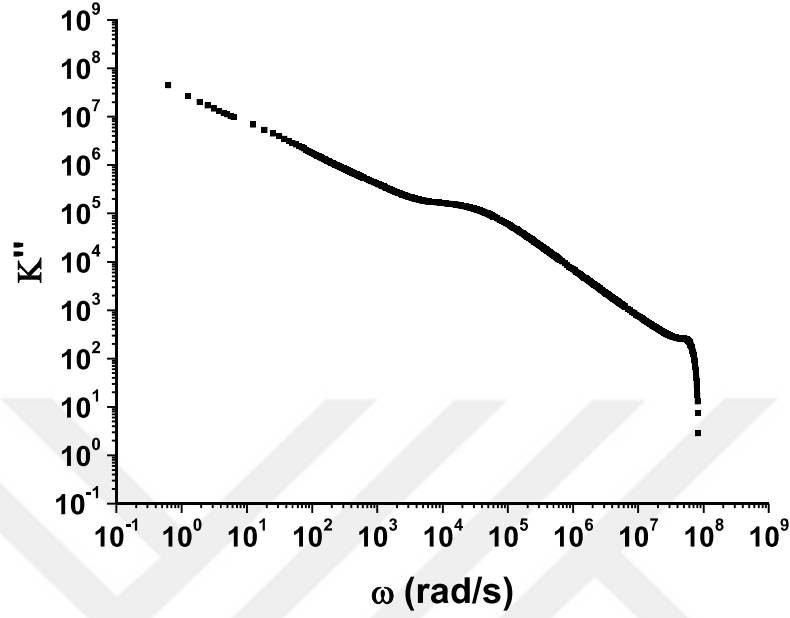


Şekil 4.26: 28837 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

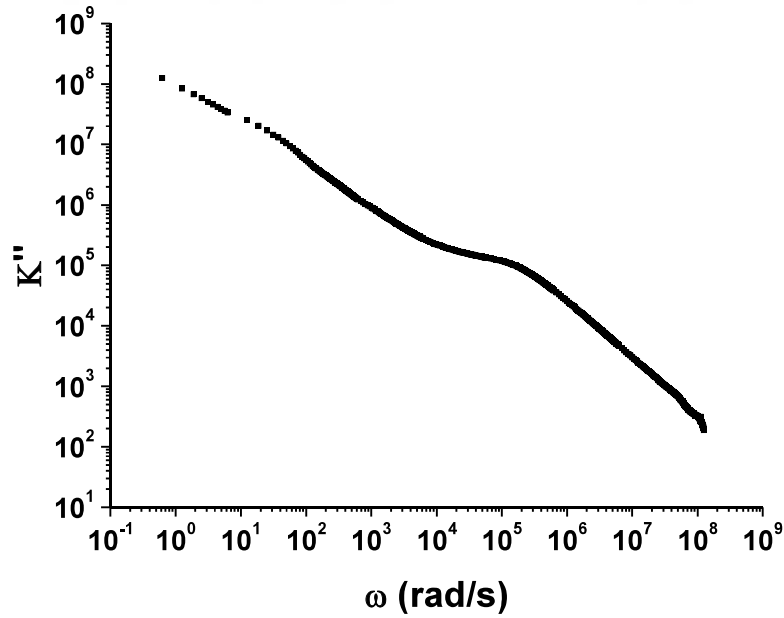


Şekil 4.27: 28963 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

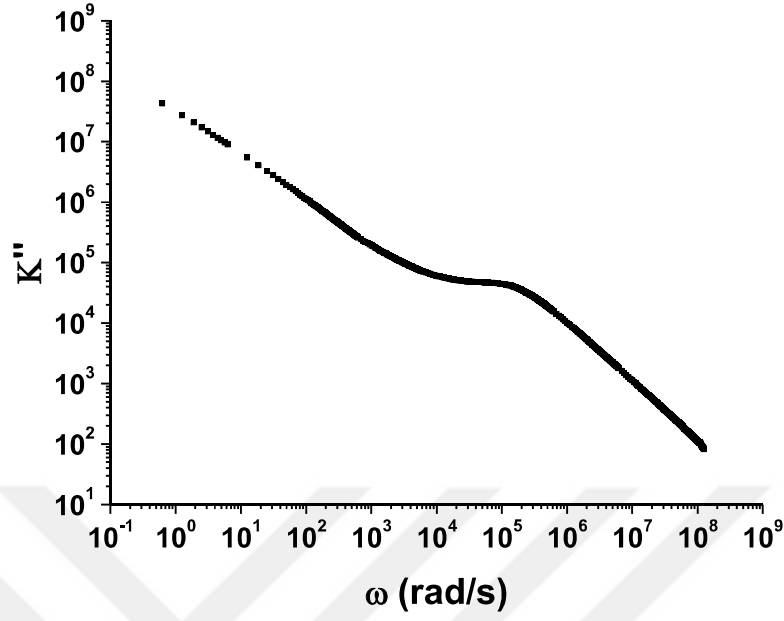
4.2.5. Karın zarından alınan benign örneklerin dielektrik enerji kaybı



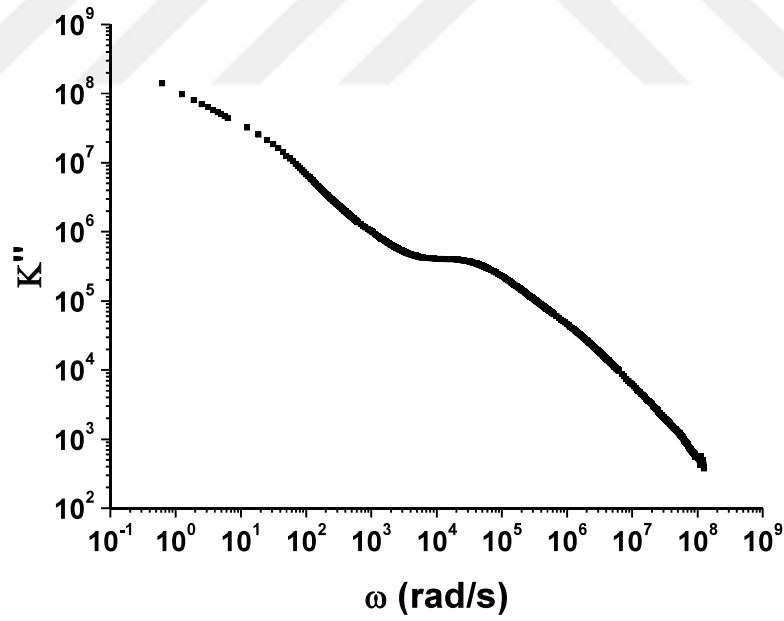
Şekil 4.28: 26507 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



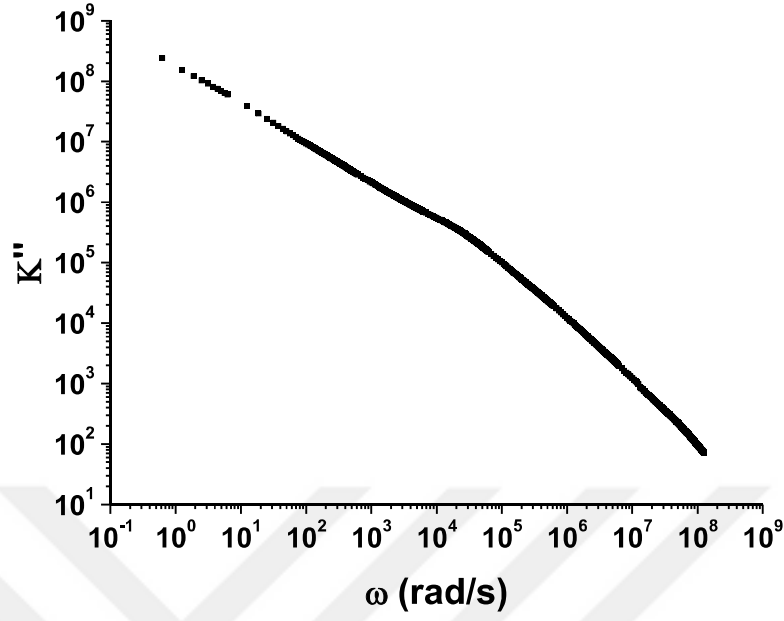
Şekil 4.29: 14514 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



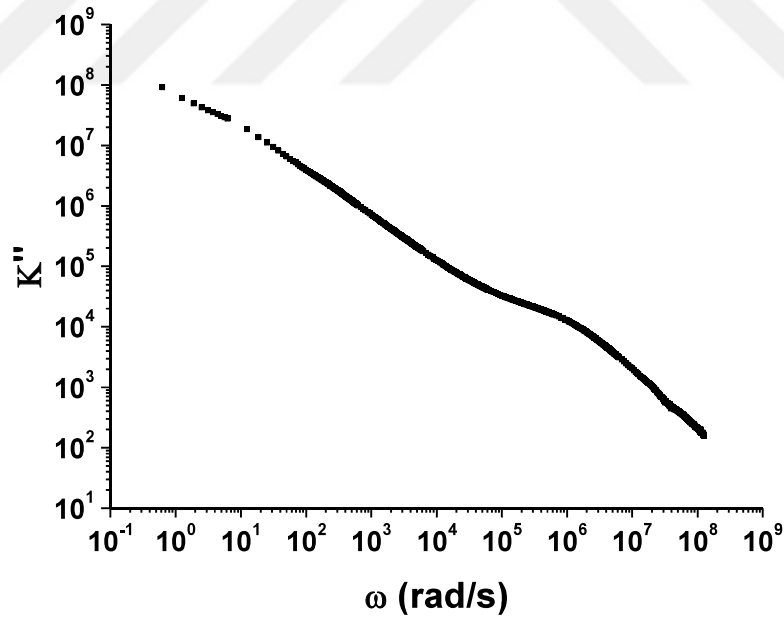
Şekil 4.30: 28061 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.31: 30229 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

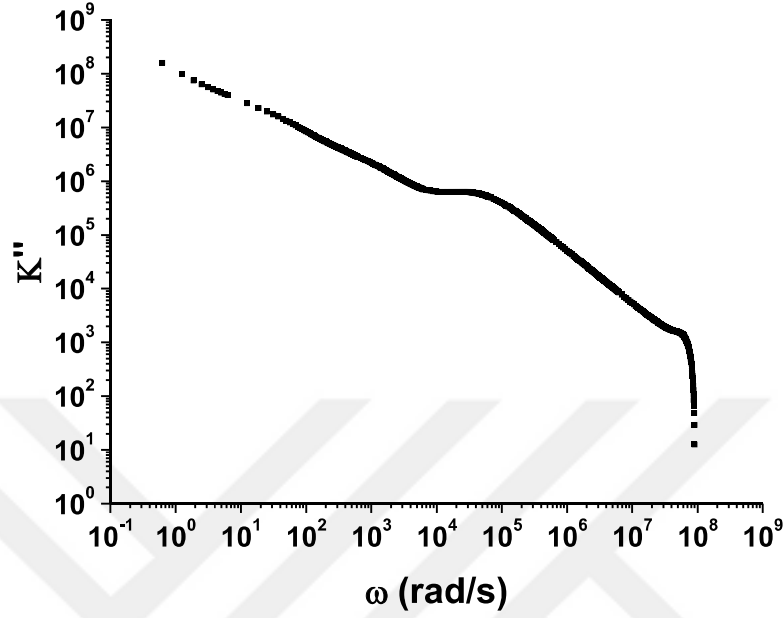


Şekil 4.32: 2751 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

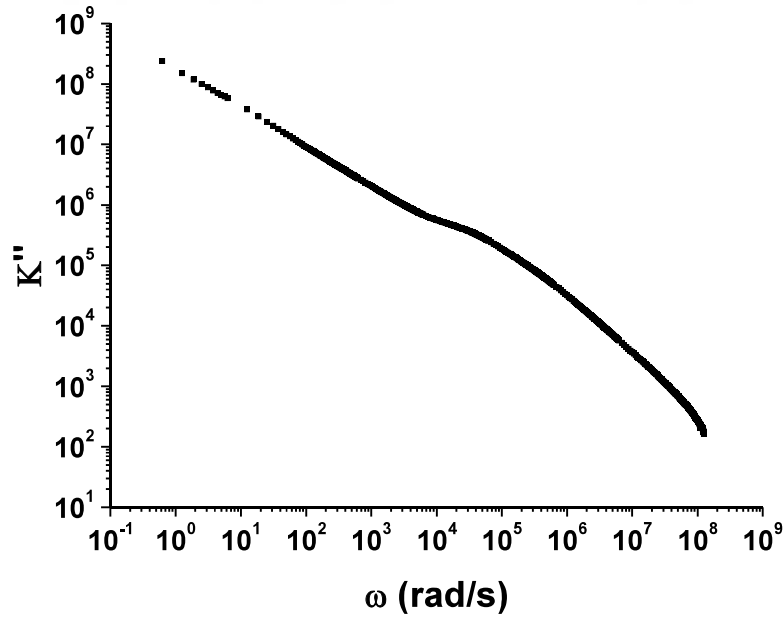


Şekil 4.33: 12266 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

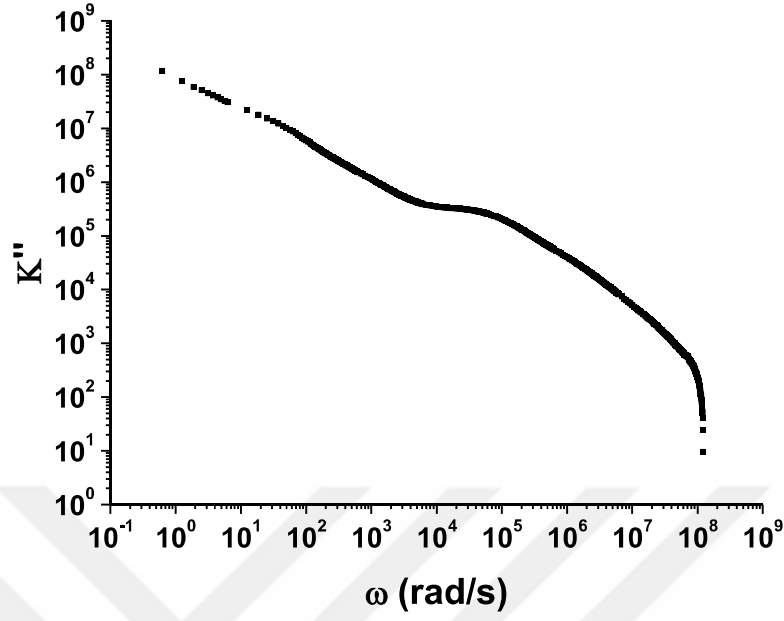
4.2.6. Karın zarından alınan malignant örneklerin dielektrik enerji kaybı



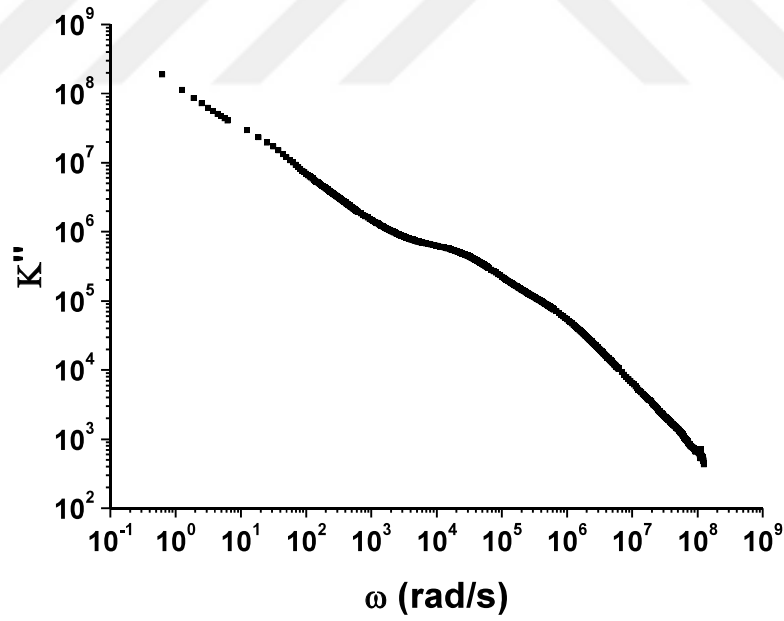
Şekil 4.34: 26458 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



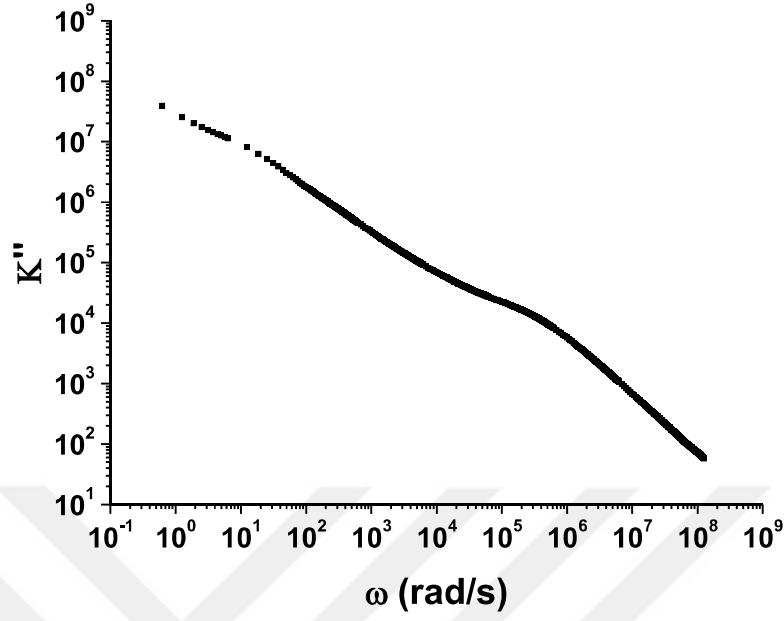
Şekil 4.35: 24992 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



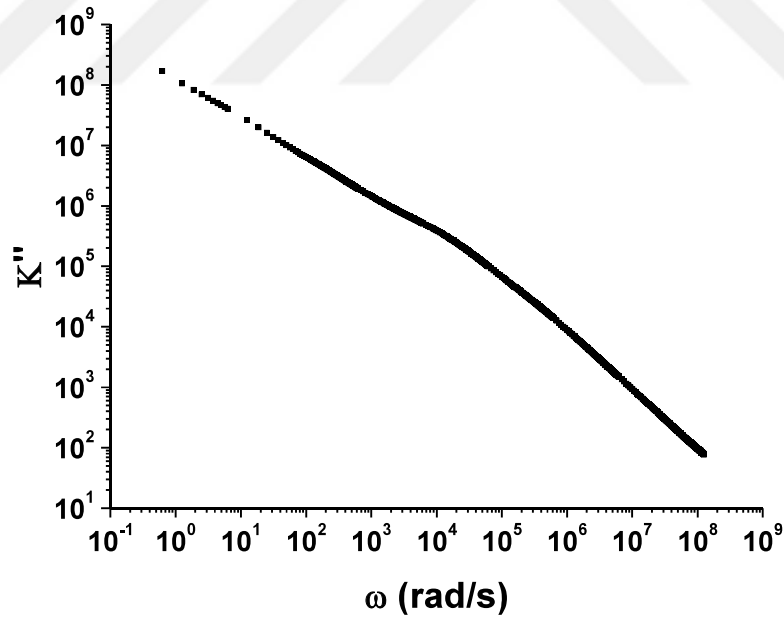
Şekil 4.36: 29781 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



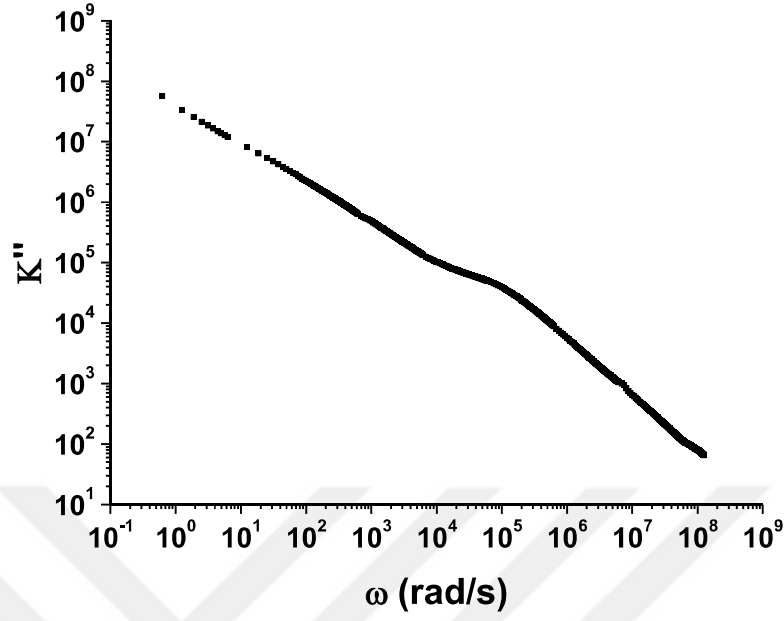
Şekil 4.37: 293 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.38: 13400 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

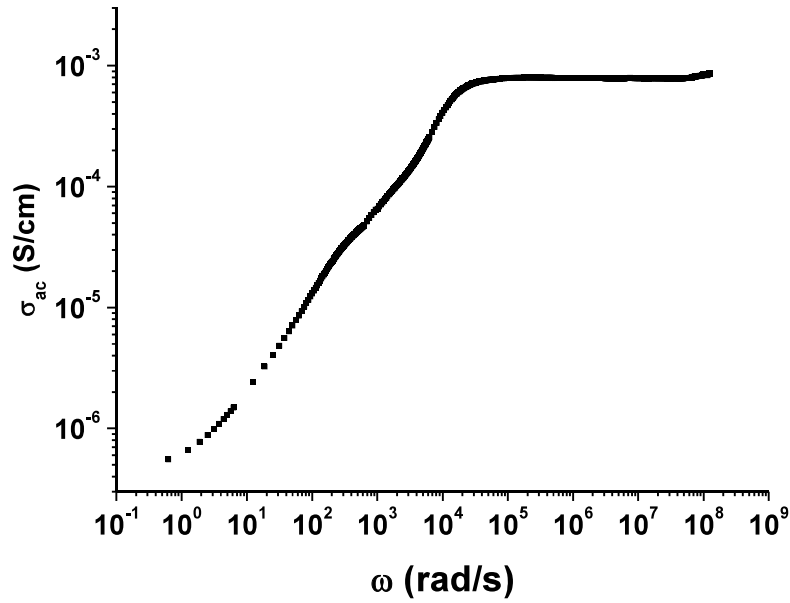


Şekil 4.39: 14850 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

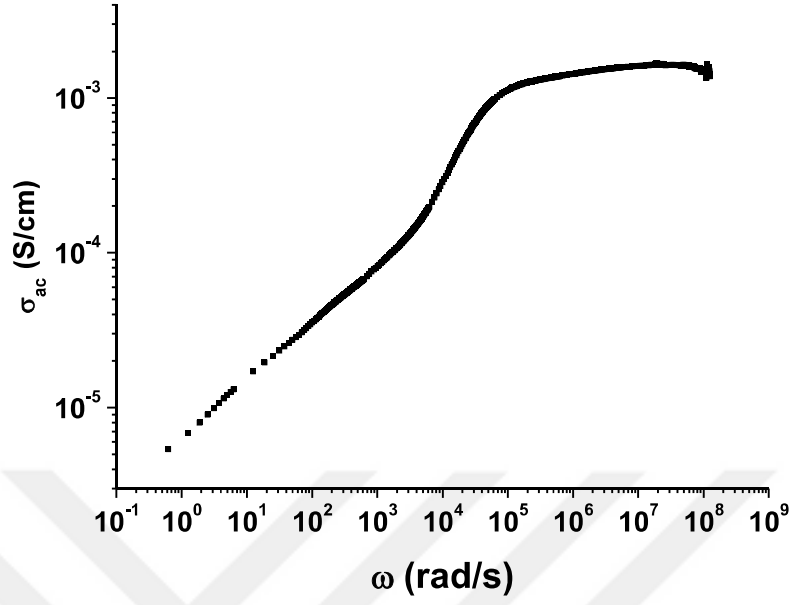


Şekil 4.40: 8794 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi

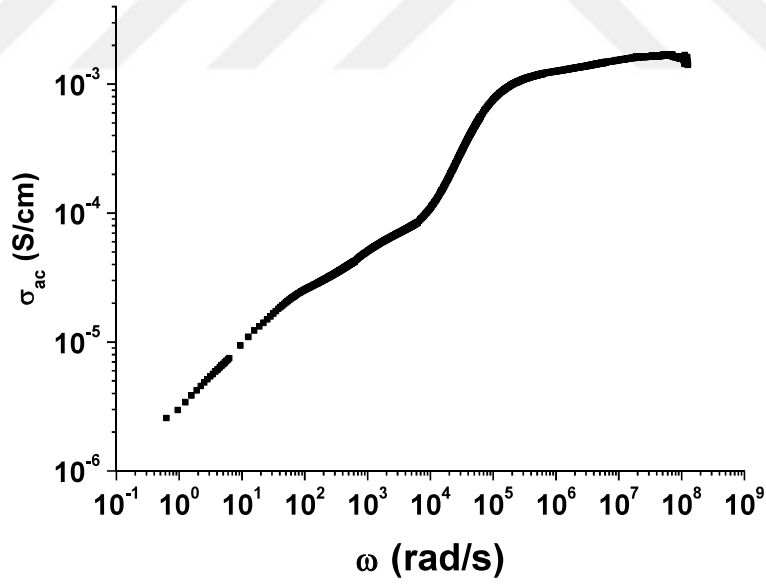
4.2.7. Karın zarından alınan sağlıklı örneklerin elektrik iletkenliği



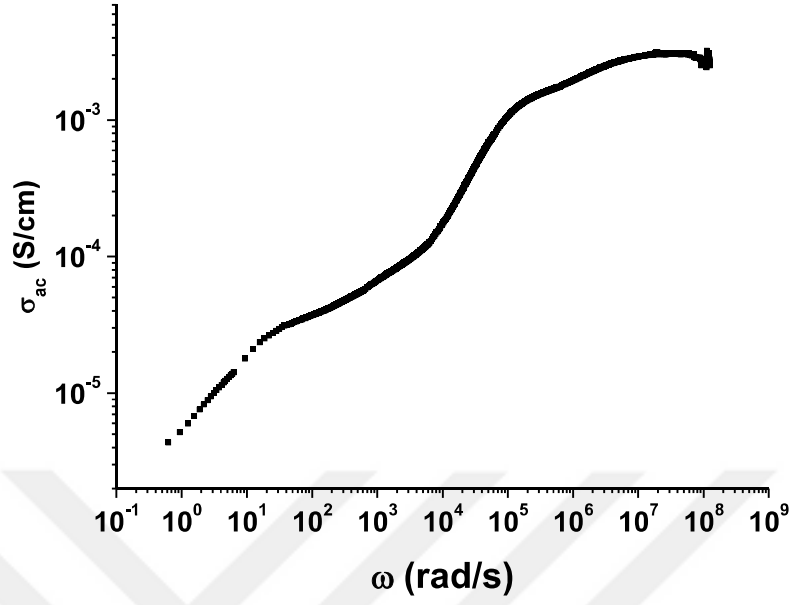
Şekil 4.41: 9425 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.42: 27553 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

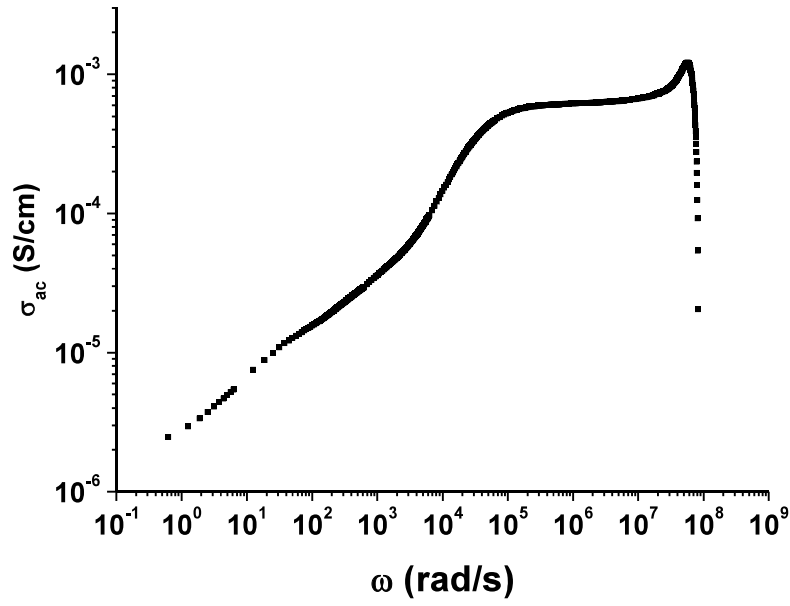


Şekil 4.43: 28837 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

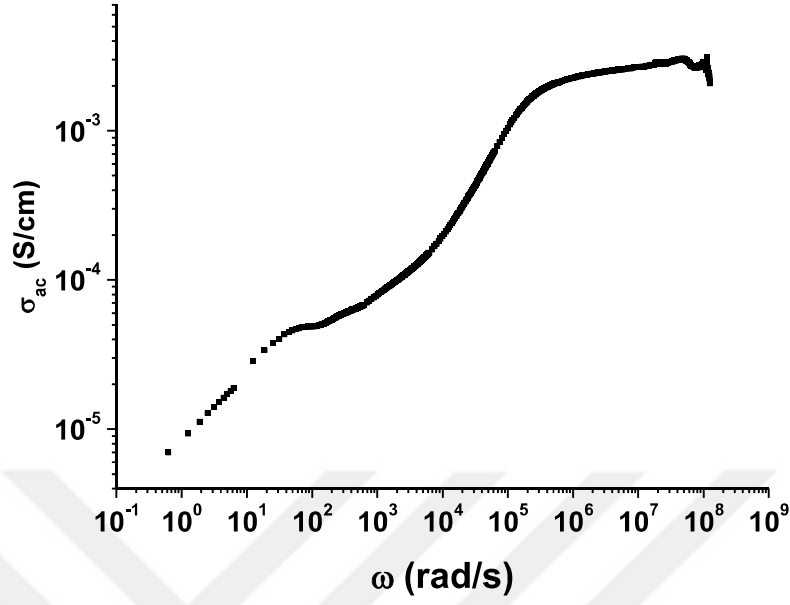


Şekil 4.44: 28963 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi

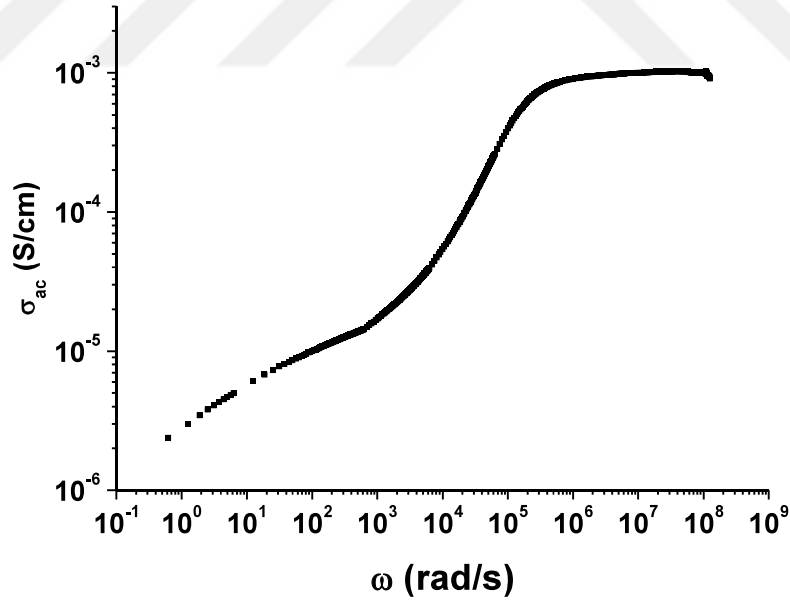
4.2.8. Karın zarından alınan benign örneklerin elektrik iletkenliği



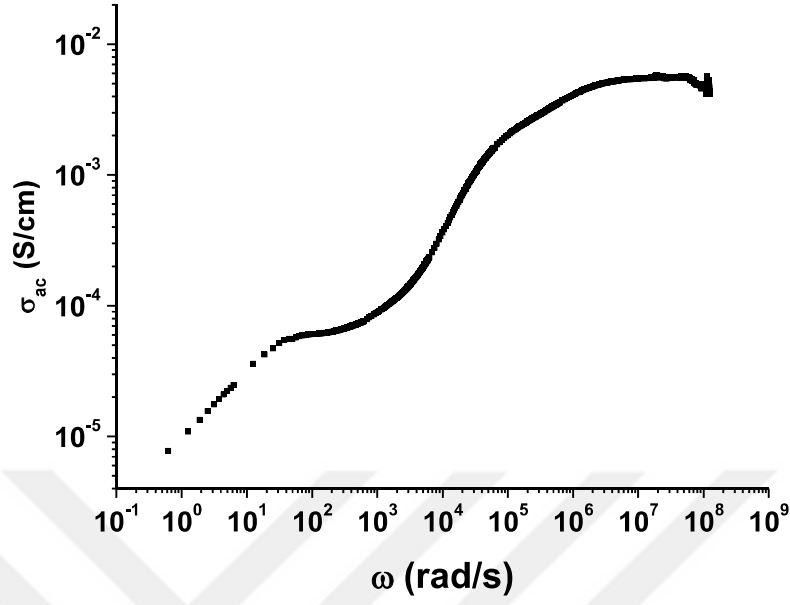
Şekil 4.45: 26507 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



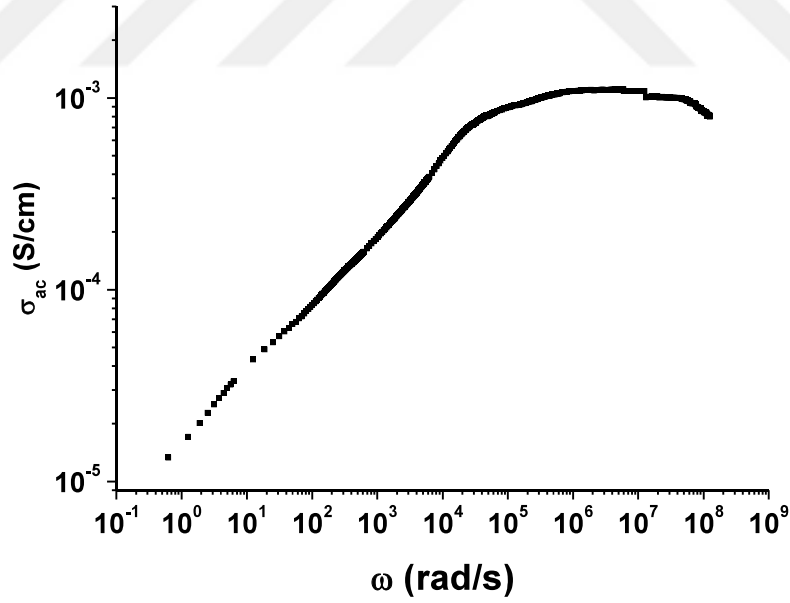
Şekil 4.46: 14514 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



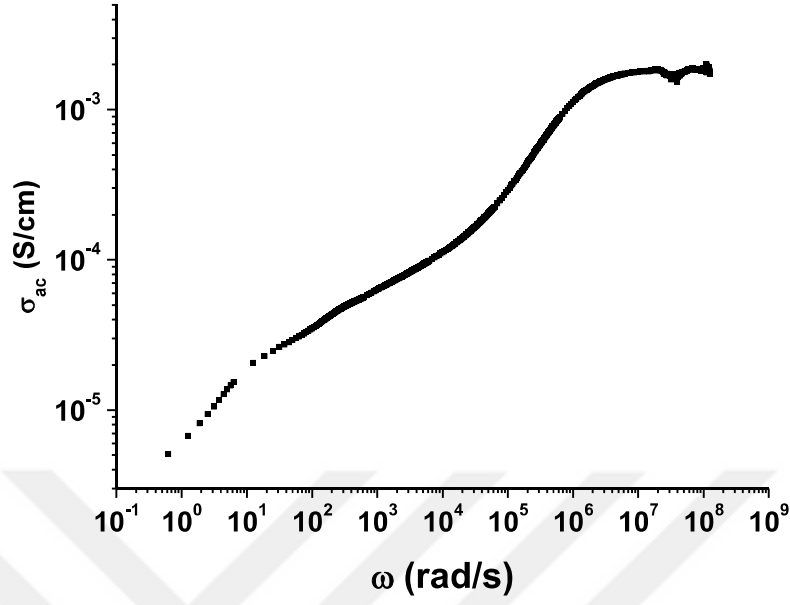
Şekil 4.47: 28061 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.48: 30229 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

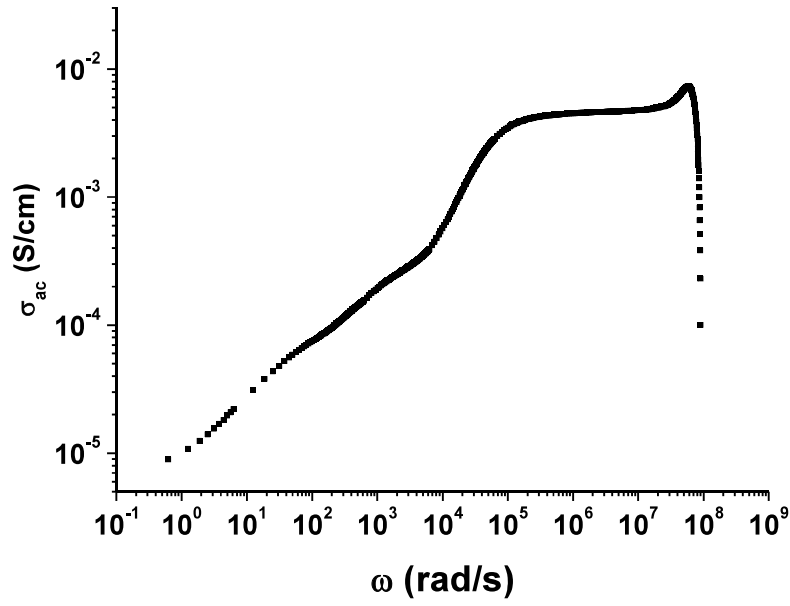


Şekil 4.49: 2751 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

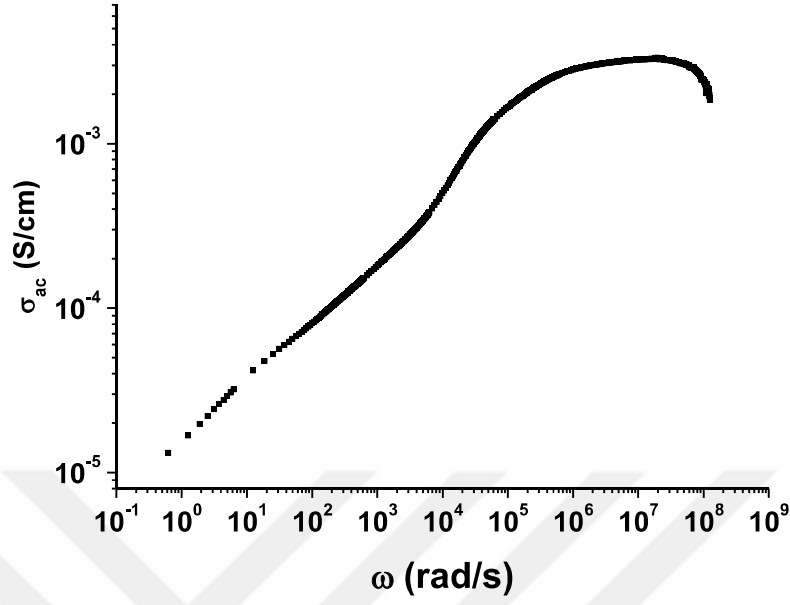


Şekil 4.50: 12266 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

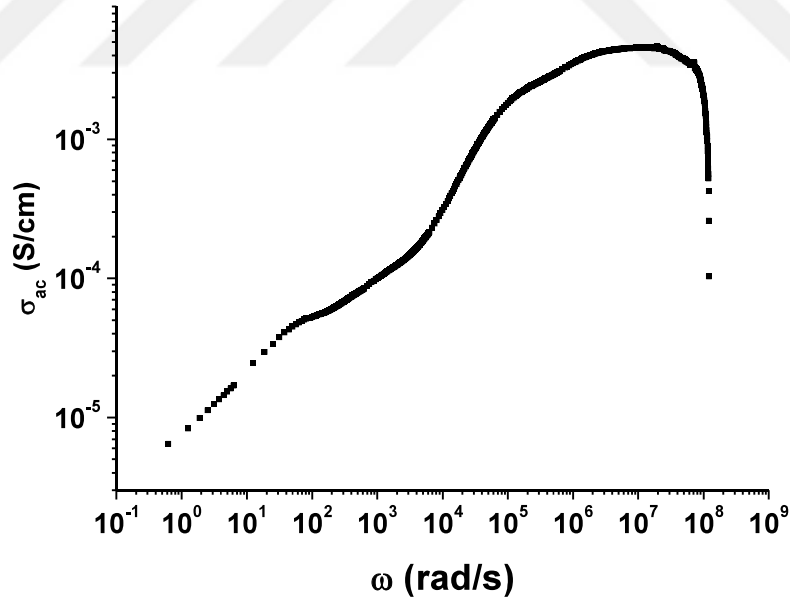
4.2.9. Karın zarından alınan malign örneklerin elektrik iletkenliği



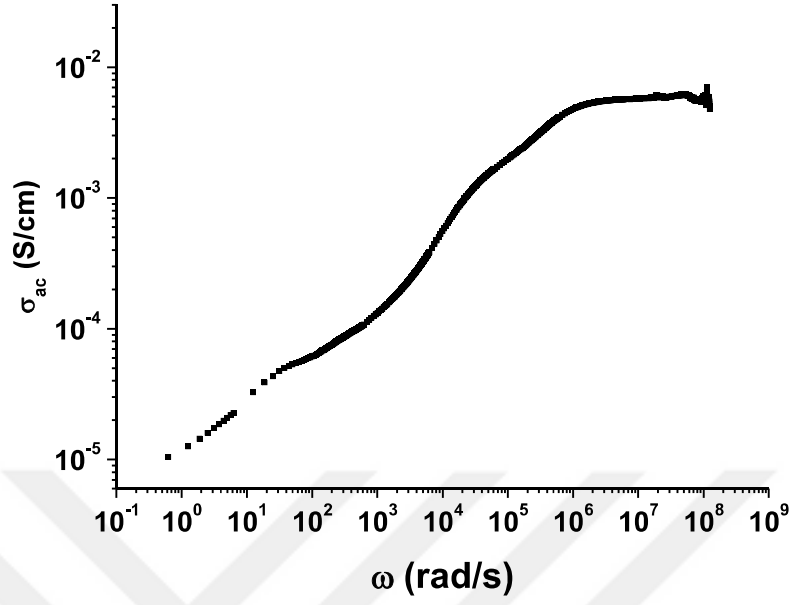
Şekil 4.51: 26458 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



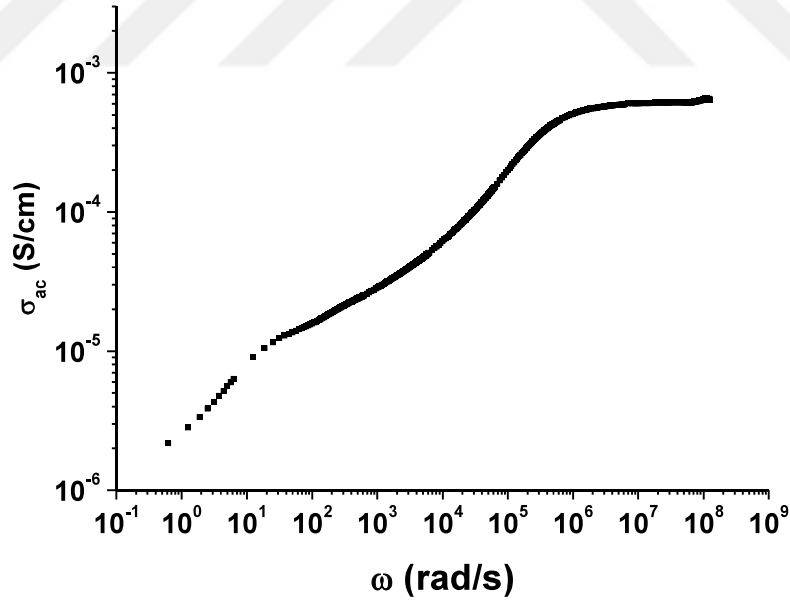
Şekil 4.52: 24992 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



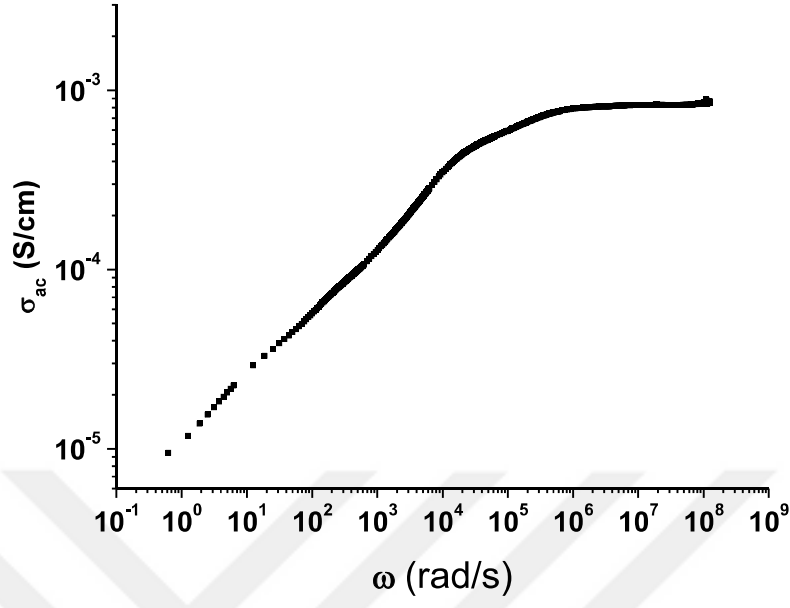
Şekil 4.53: 29781 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



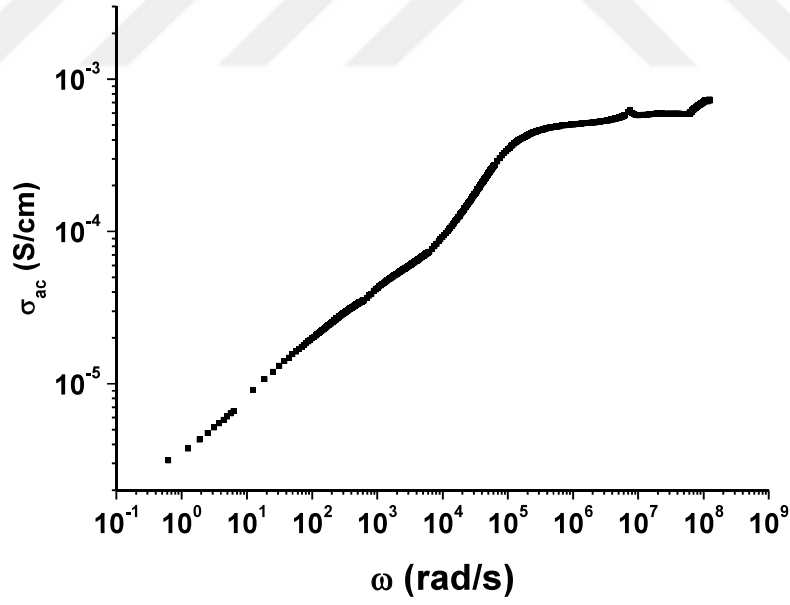
Şekil 4.54: 293 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.55: 13400 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.56: 14850 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

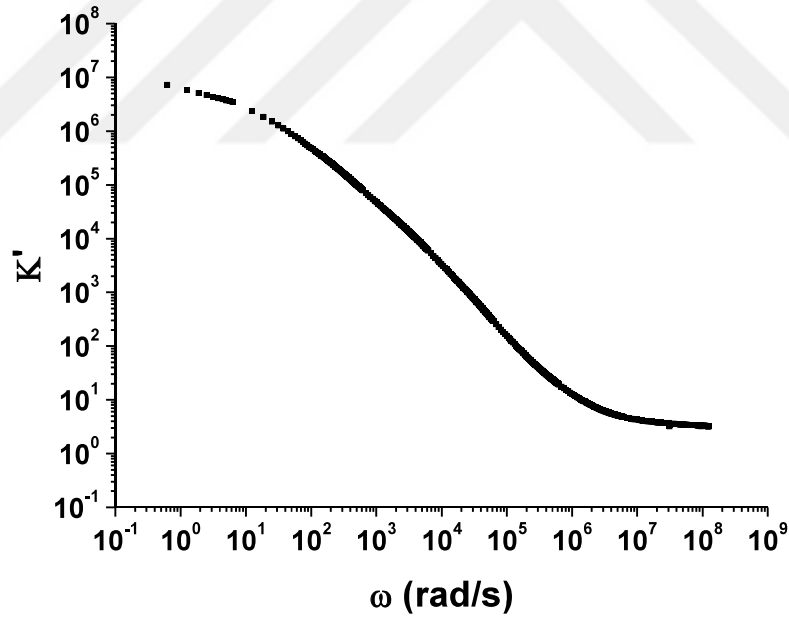


Şekil 4.57: 8794 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

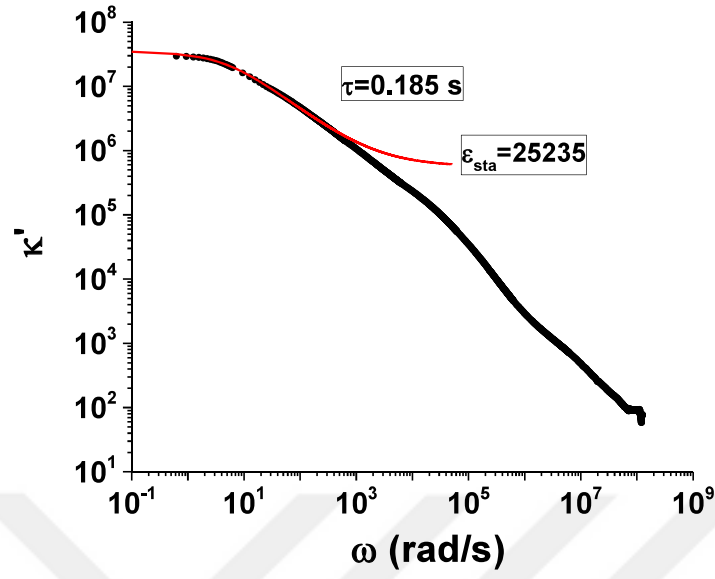
4.3. AKCİĞER ZARI

- Tüm örnekler dielektrik sabiti ve dielektrik enerji kaybın, artan frekansla eksponansiyel azaldığı,
- Dielektrik sabitinde Cole-Cole denklemleri kullanılarak relaksasyon bölgelerinin belirlendiği,
- Jonscher'in iletkenlik ifadesine $\sigma_{toplamlam} = \sigma_{DC} + \sigma_{AC}$ / $\sigma_{toplamlam} = \sigma_{DC} + A\omega^s$ uyduğu ve bu ifade ile polarizasyon bölgelerinin belirlendiği,
- Frekansla değişenlik gösteren bölgelerin alternatif iletkenlik bölgesi (AC) ve frekanstan bağımsız bölgelerin DC iletkenlik bölgesi olduğu görülmektedir.

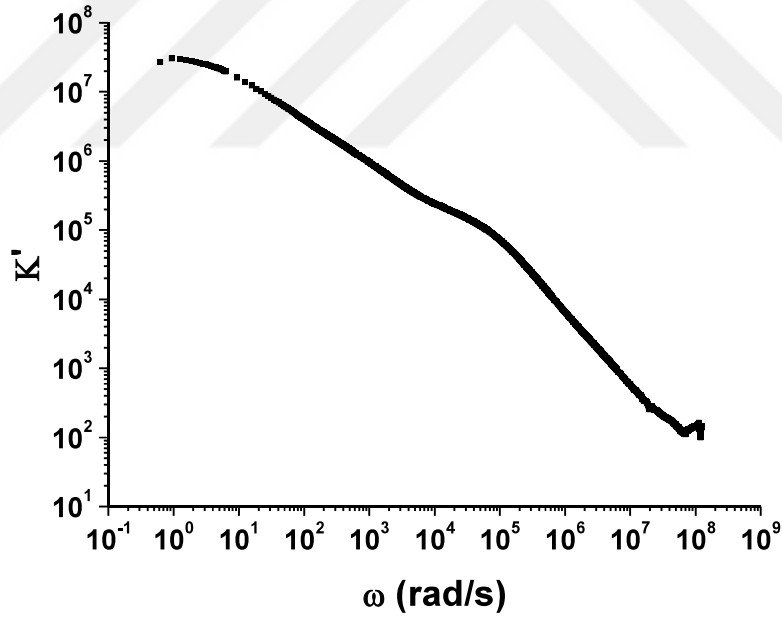
4.3.1. Akciğer zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik sabiti



Şekil 4.58: 27767 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

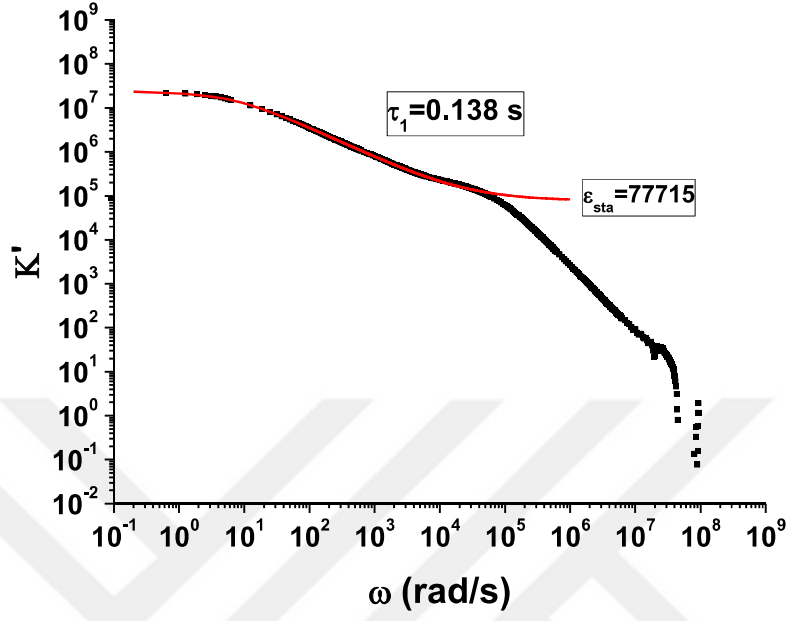


Şekil 4.59: 1367 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

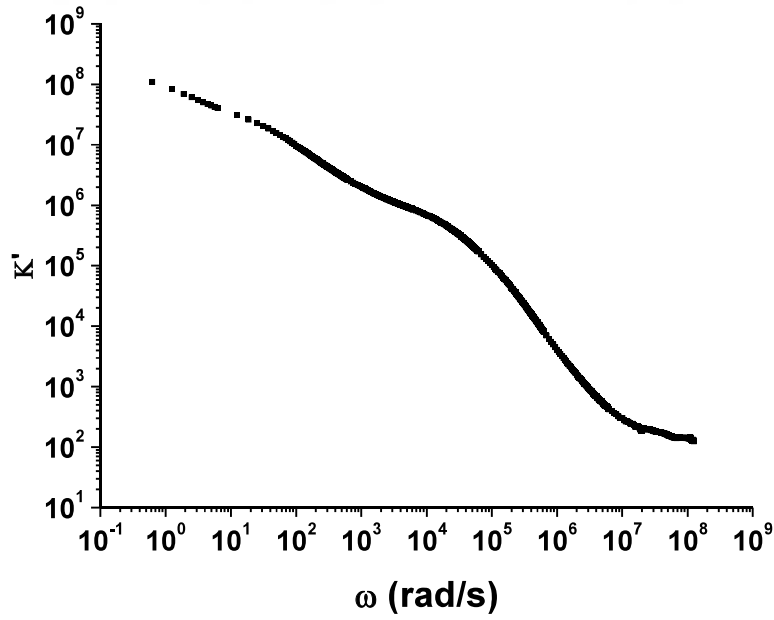


Şekil 4.60: 1446 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

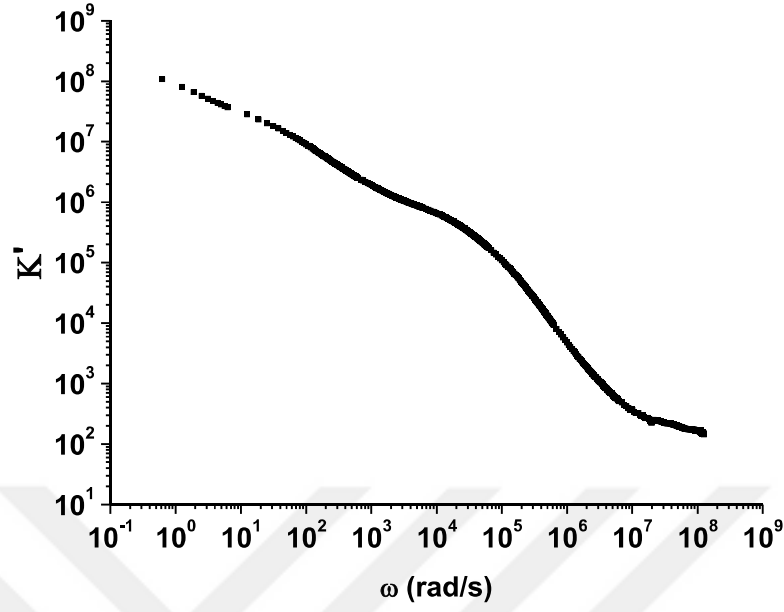
4.3.2. Akciğer zarından alınan benign örneklerin dielektrik sabiti



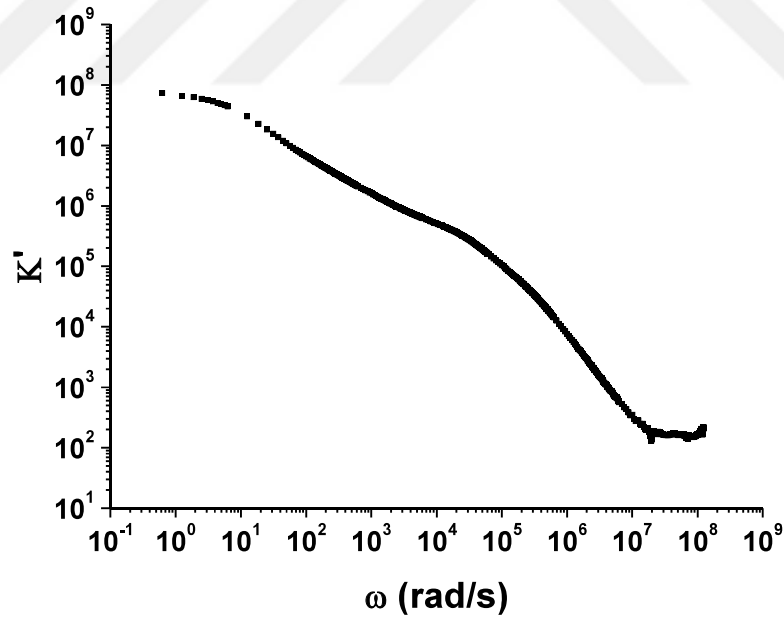
Şekil 4.61: 14553 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.62: 24828 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

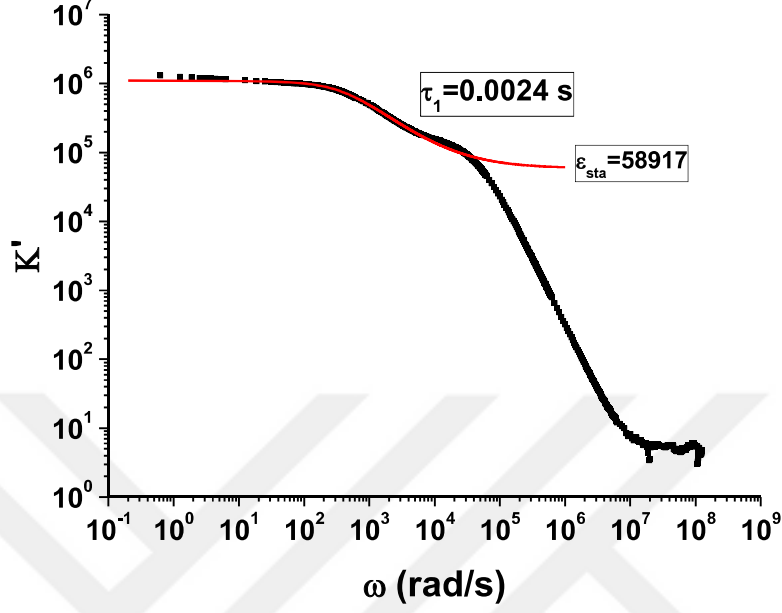


Şekil 4.63: 24930 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

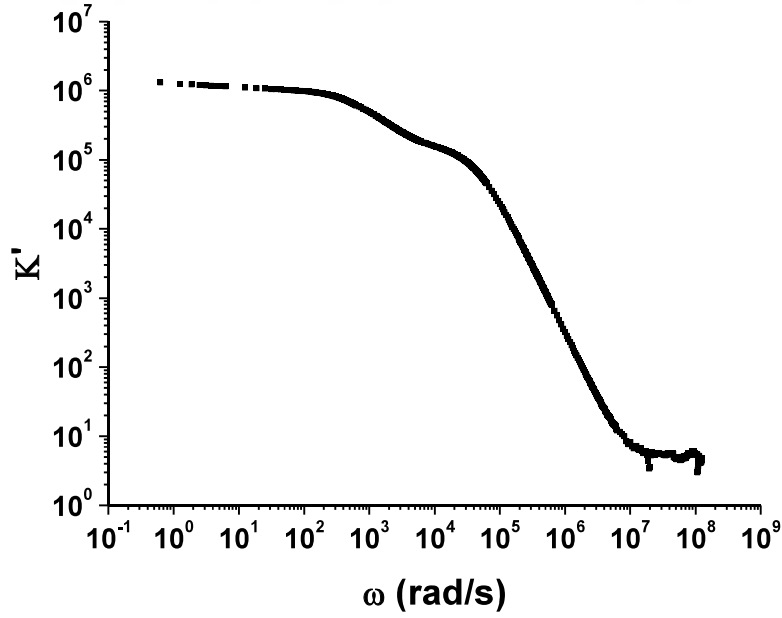


Şekil 4.64: 10835 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

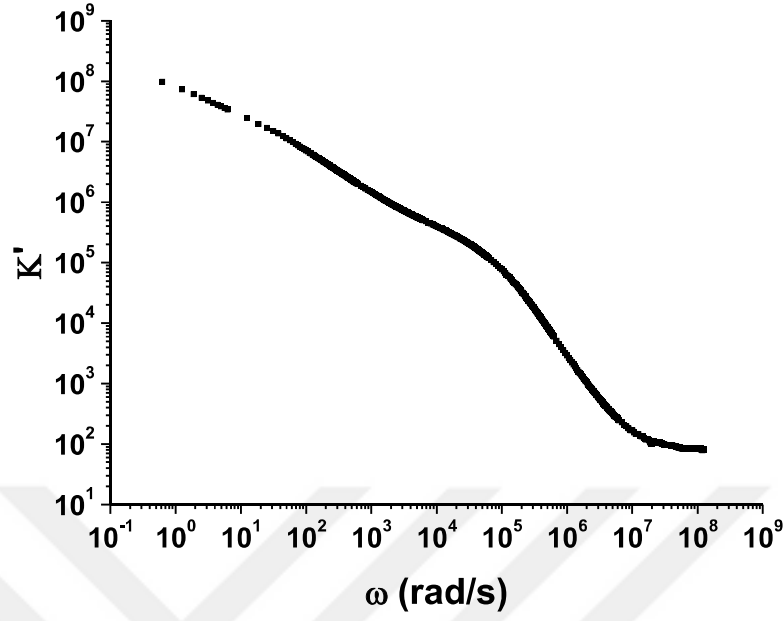
4.3.3. Akciğer zarından alınan malign örneklerin dielektrik sabiti



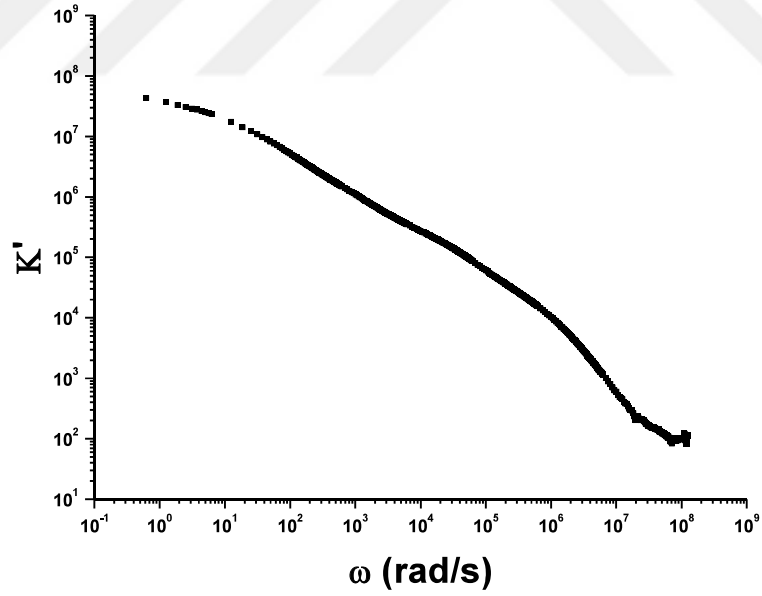
Şekil 4.65: 9212 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.66: 8979 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

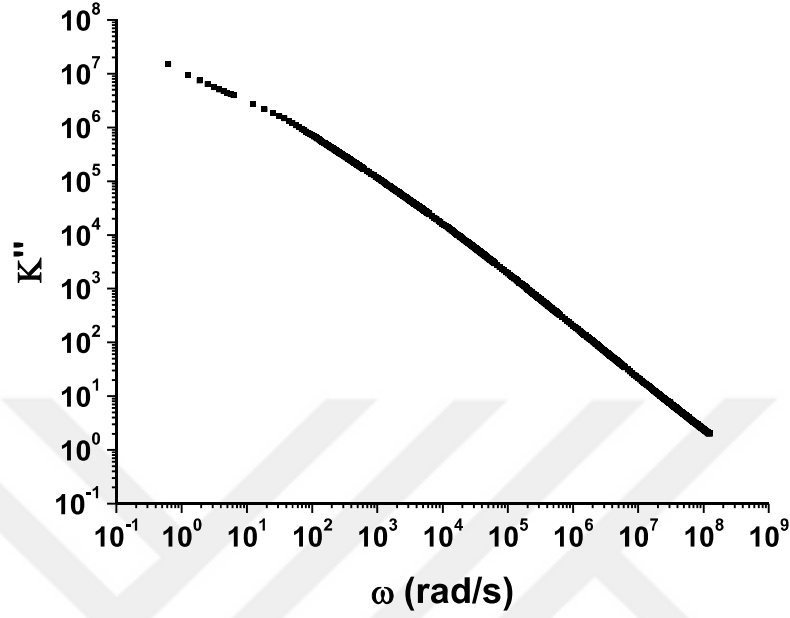


Şekil 4.67: 24984 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

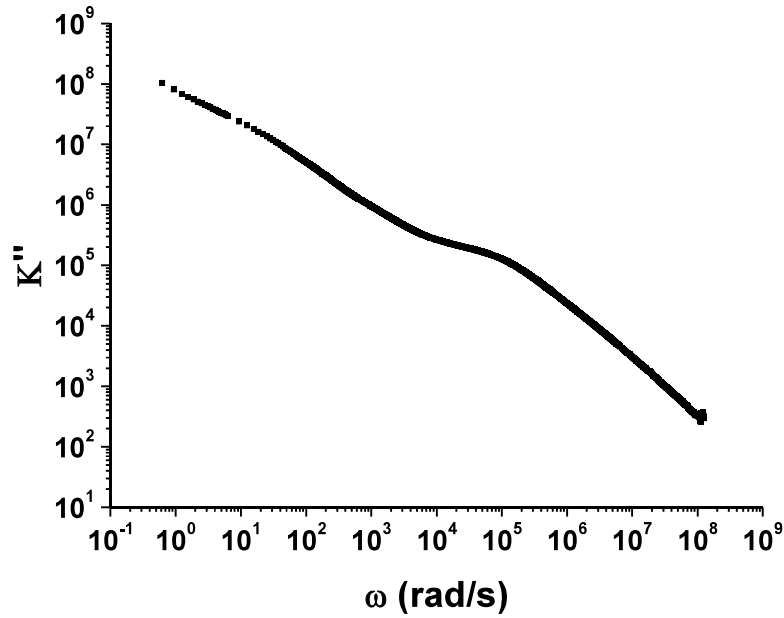


Şekil 4.68: 15106 kodlu örneğin dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi.

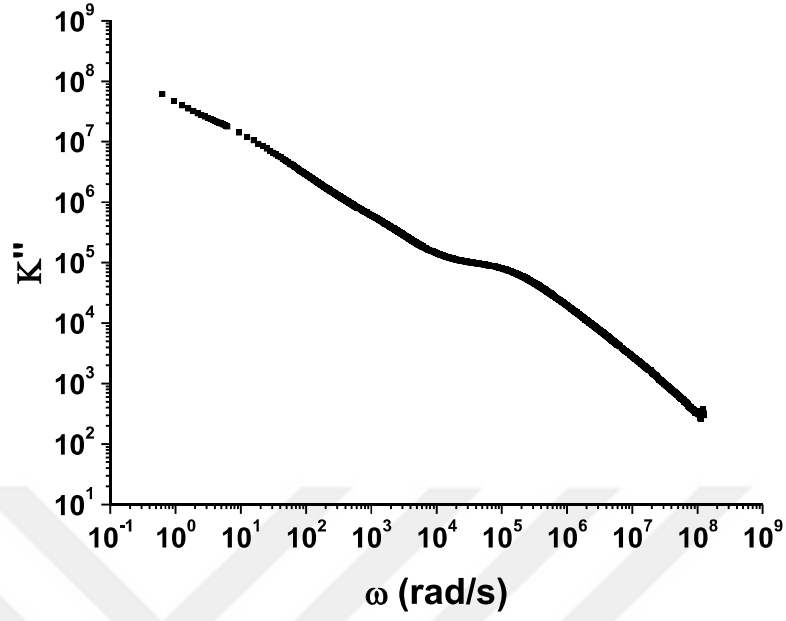
4.3.4. Akciğer zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik enerji kaybı



Şekil 4.69: 27767 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

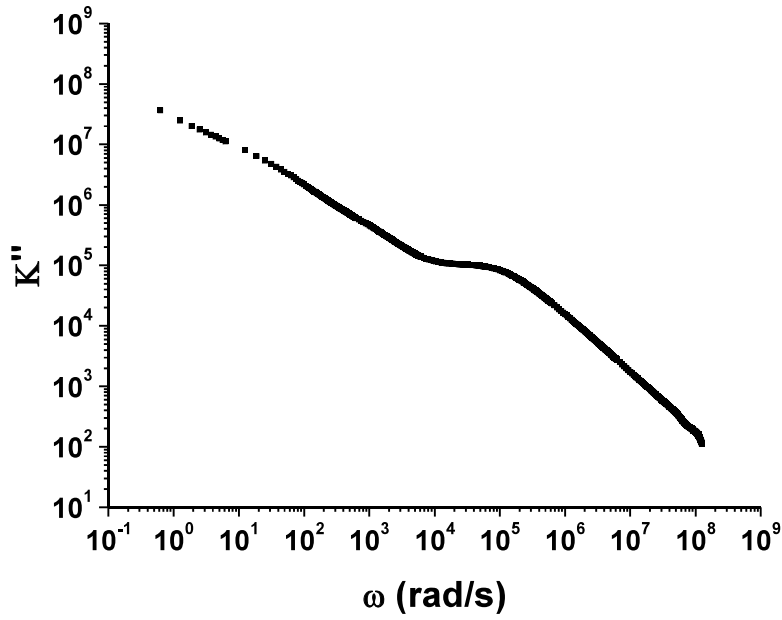


Şekil 4.70: 1367 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

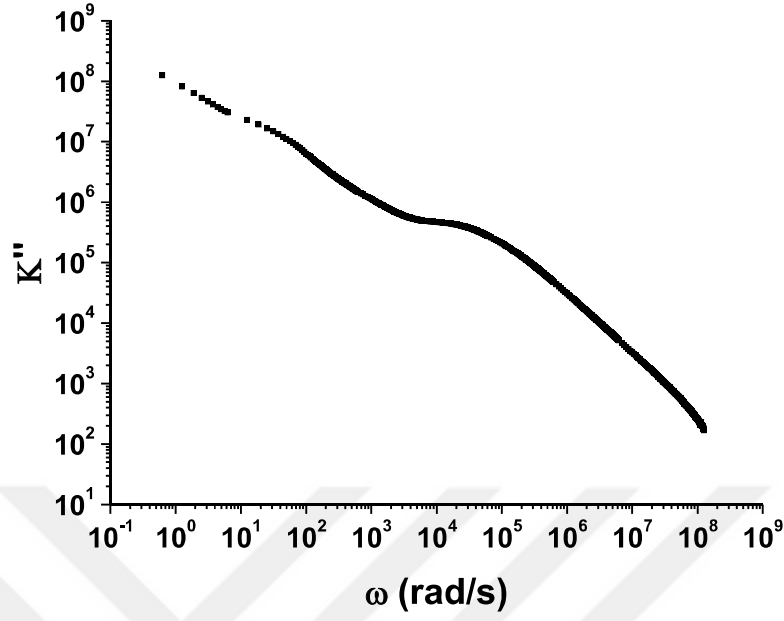


Şekil 4.71: 1446 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

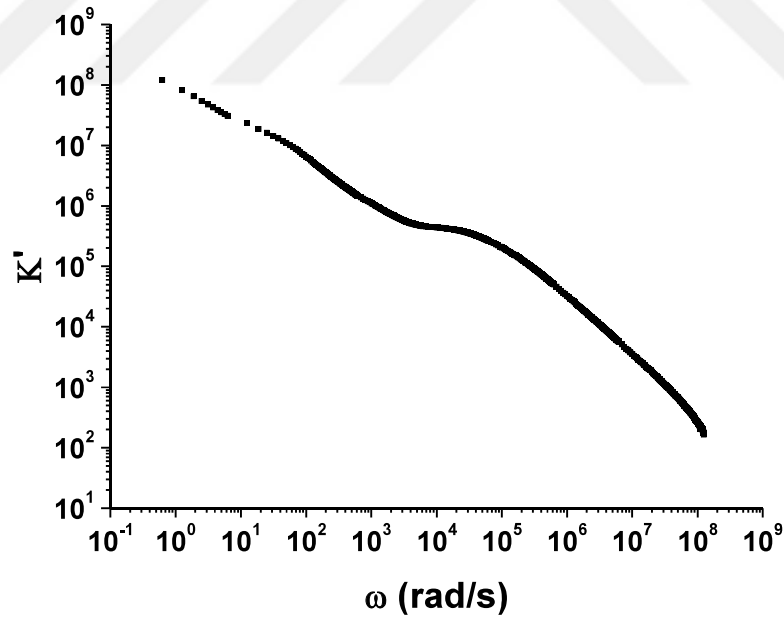
4.3.5. Akciğer zarından alınan benign örneklerin dielektrik enerji kaybı



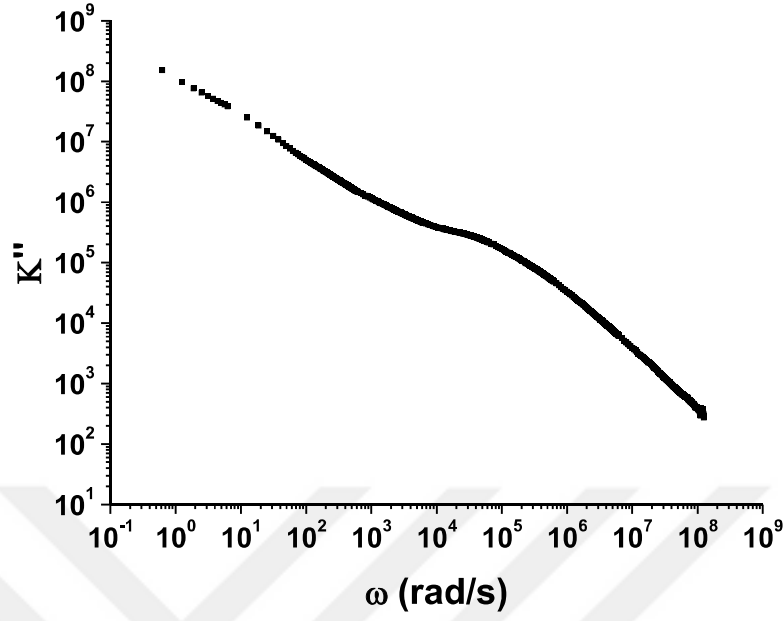
Şekil 4.72: 14553 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.73: 24828 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

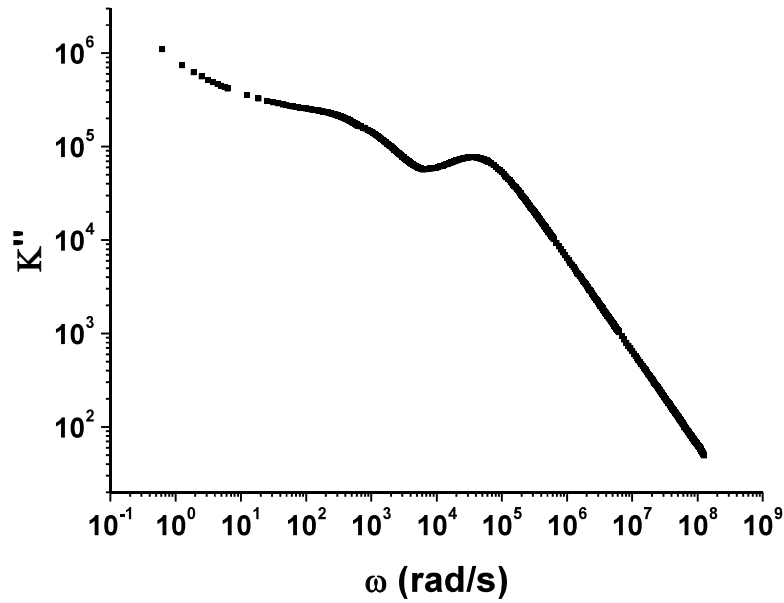


Şekil 4.74: 24930 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

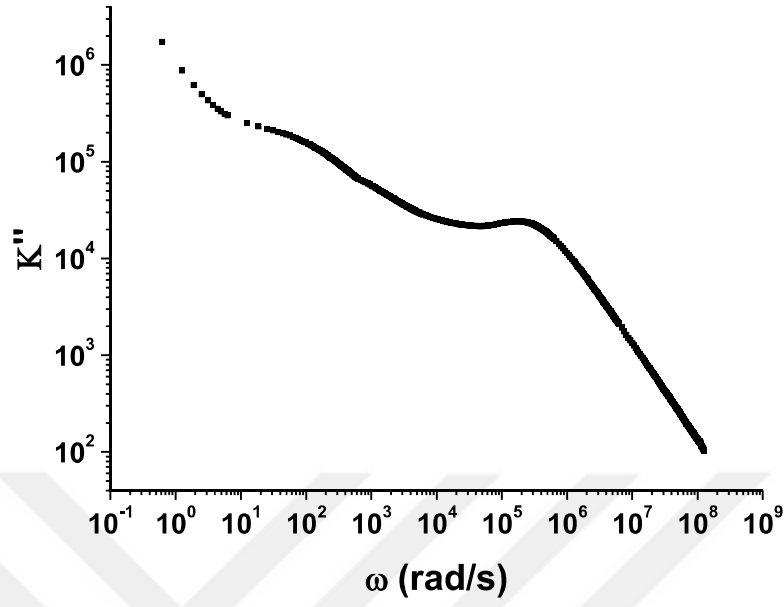


Şekil 4.75: 10835 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

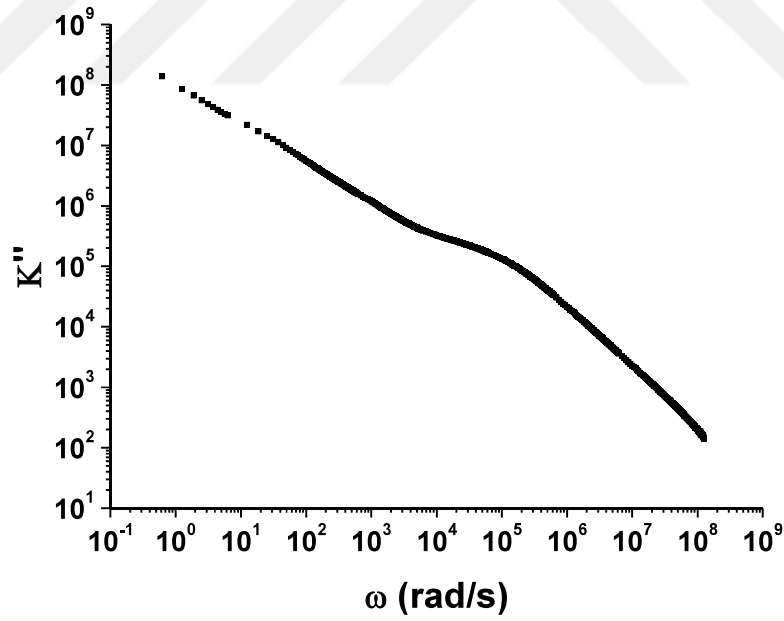
4.3.6. Akciğer zarından alınan malign örneklerin dielektrik enerji kaybı



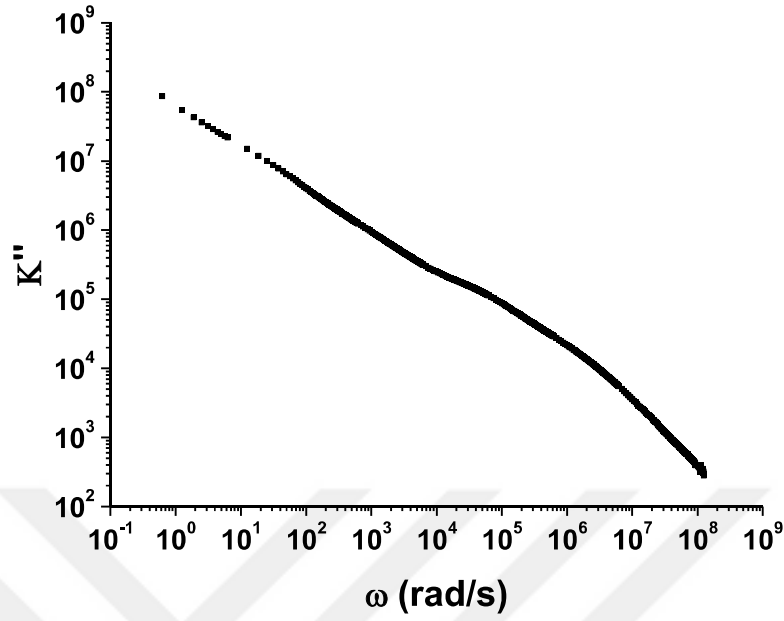
Şekil 4.76: 9212 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.77: 8979 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

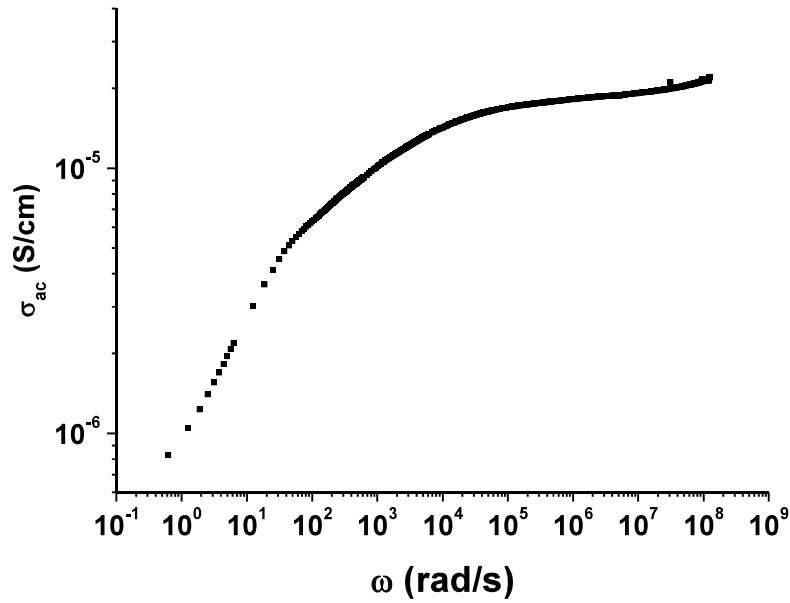


Şekil 4.78: 10835 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

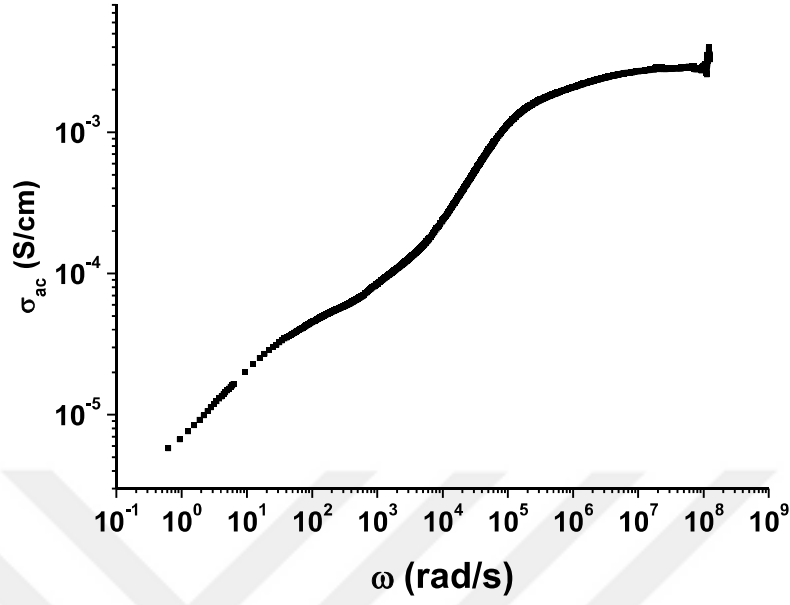


Şekil 4.79: 15106 kodlu örneğin dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı değişimi.

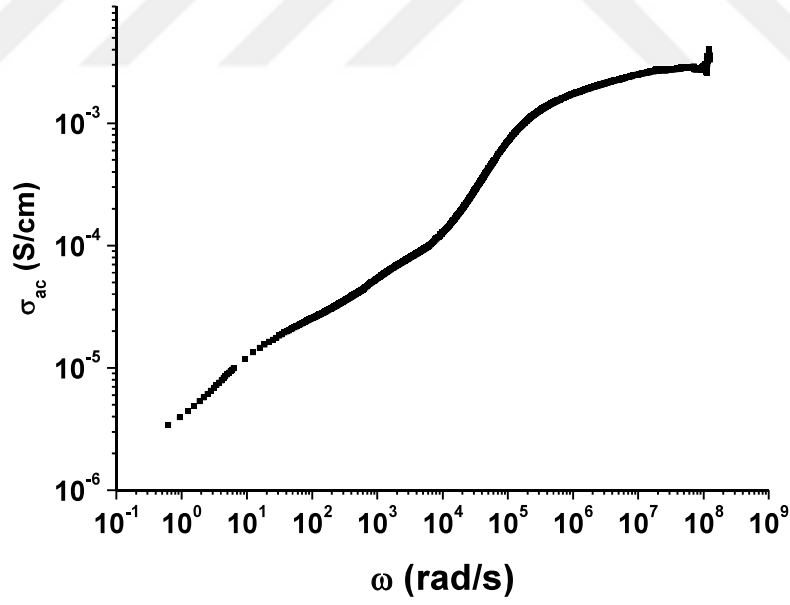
4.3.7. Akciğer zarından alınan sağlıklı örneklerin elektrik iletkenliği



Şekil 4.80: 27767 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

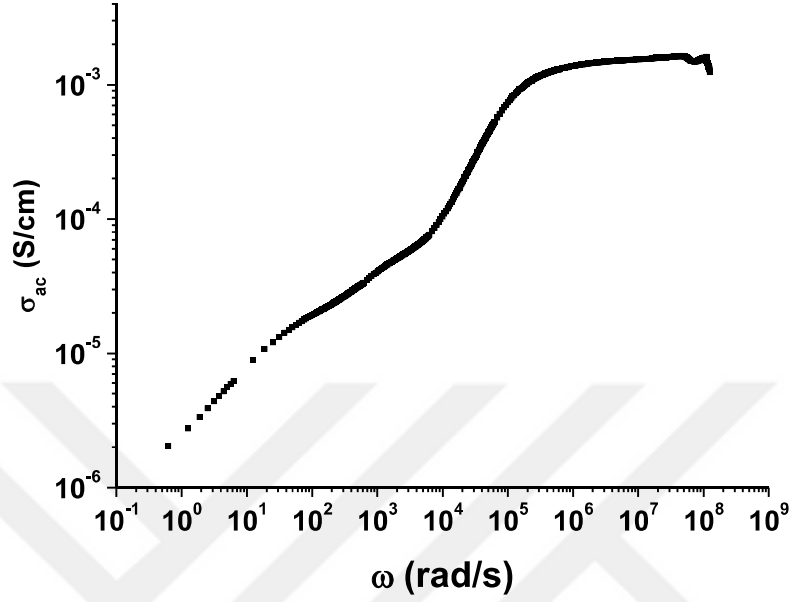


Şekil 4.81: 1367 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

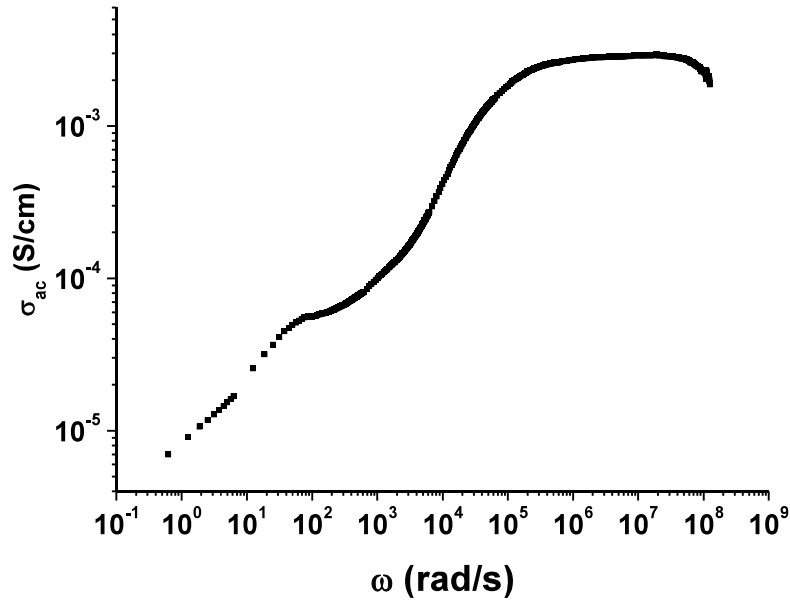


Şekil 4.82: 1446 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

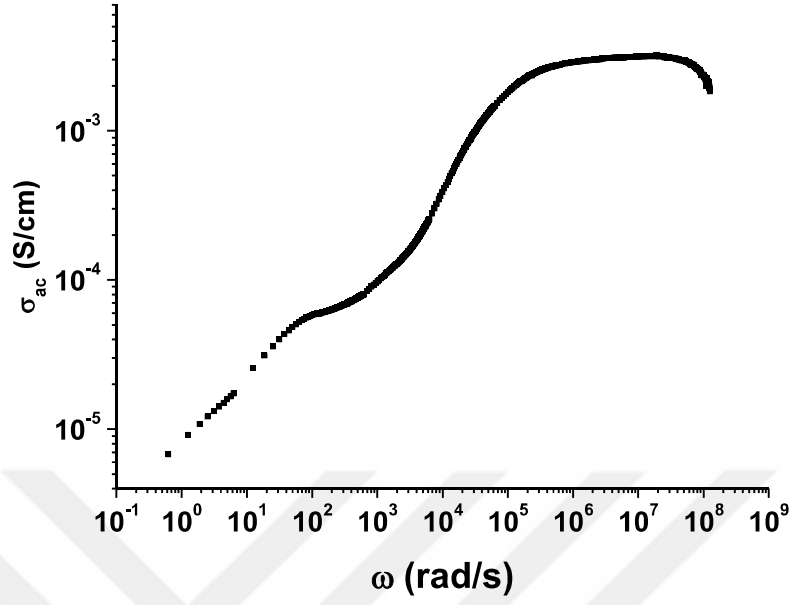
4.3.8. Akciğer zarından alınan benign örneklerin elektrik iletkenliği



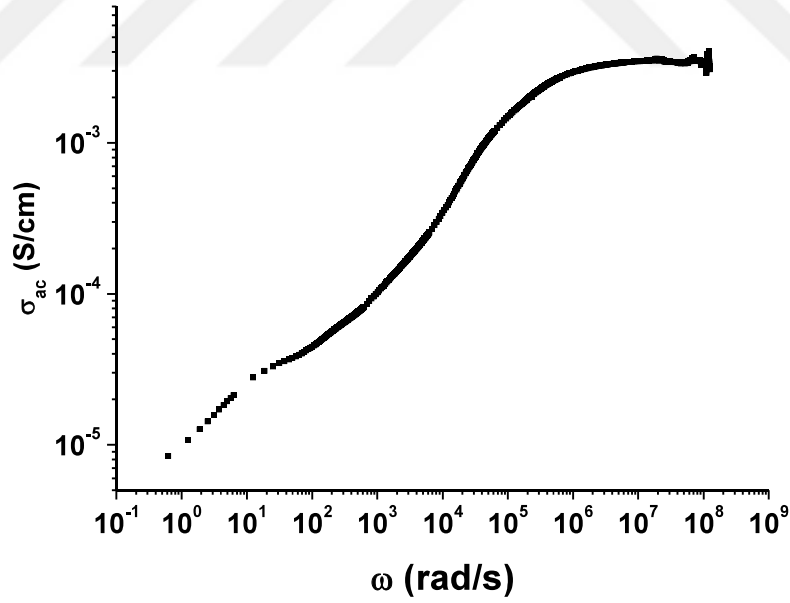
Şekil 4.83: 14553 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.84: 24828 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

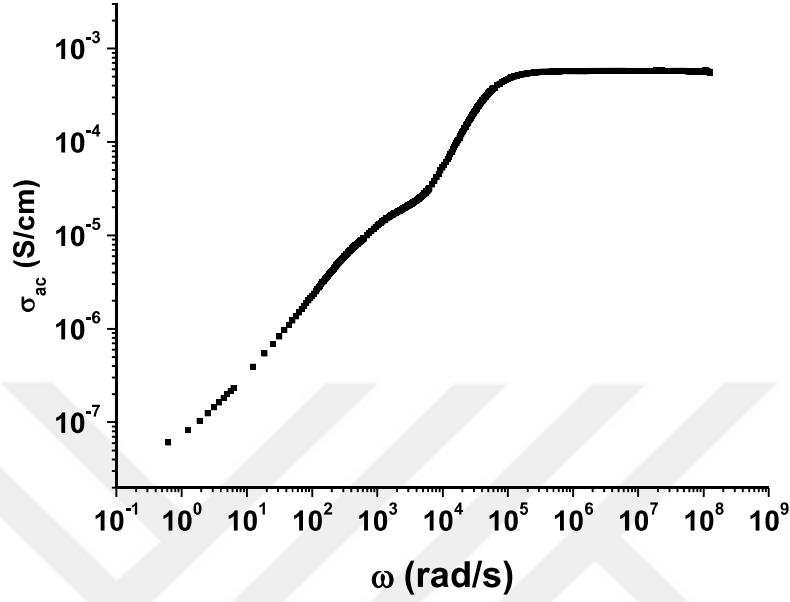


Şekil 4.85: 24930 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

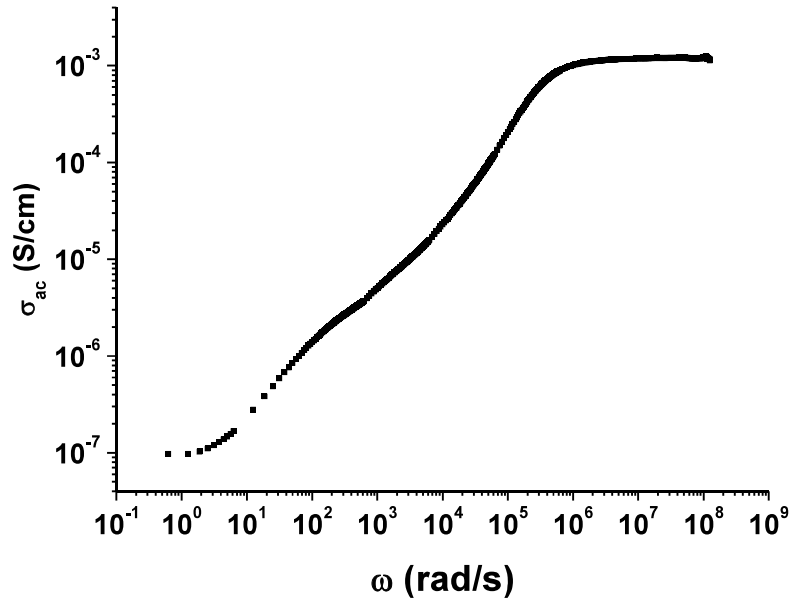


Şekil 4.86: 10835 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

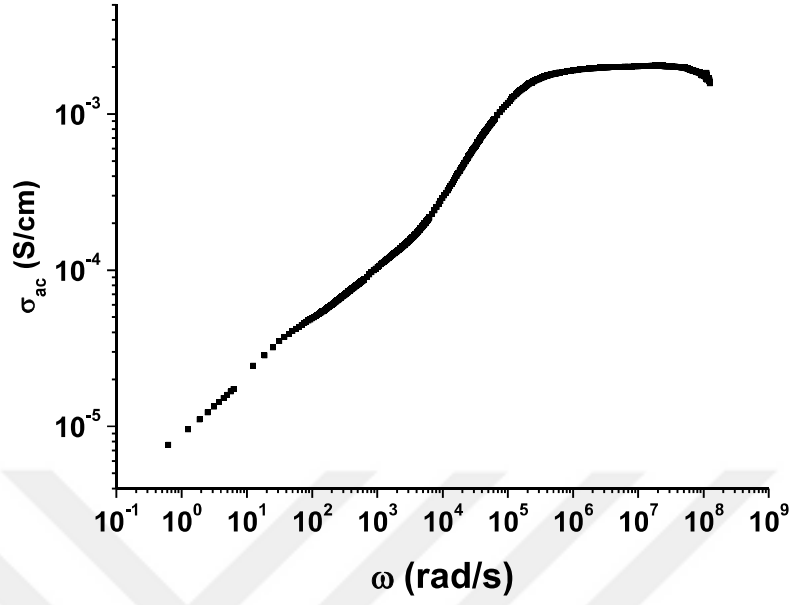
4.3.9. Akciğer zarından alınan malign örneklerin elektrik iletkenliği



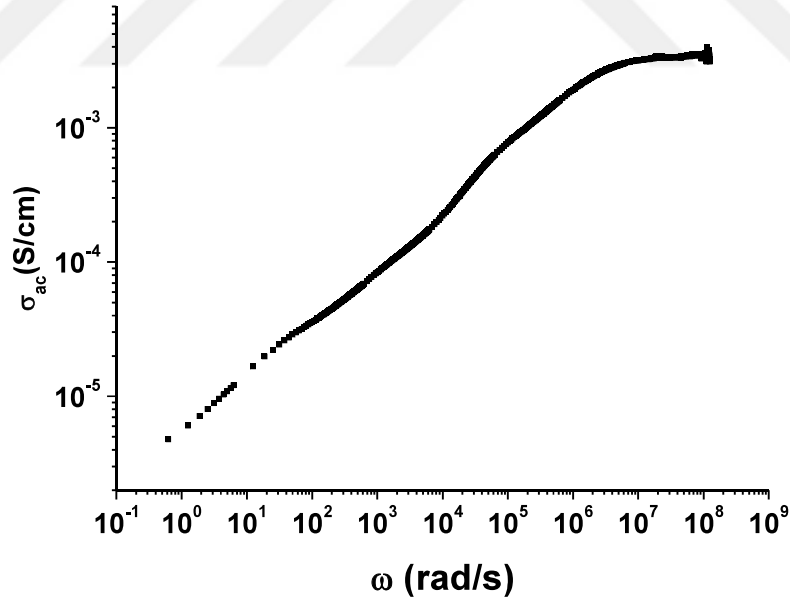
Şekil 4.87: 9212 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.88: 8979 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.89: 24984 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.



Şekil 4.90: 15106 kodlu örneğin elektrik iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada vücudun farklı iki bölgesinden alınmış sıvı örneklerin dielektrik cevapları incelenmiştir. Bu amaçla Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Patoloji Anabilim Dalından farklı hastalardan toplam 28 adet örnek alınmıştır. Değişen elektrik alan altında 1Hz- 20MHz frekans aralığında kapasite (C) ve kayıp faktör ($\tan\delta$) değerleri dielektrik spektroskopi cihazı ile ölçülmüştür. Bu değerlerden yola çıkarak, dielektrik sabiti (K'), dielektrik enerji kaybı (K'') ve AC iletkenlik (σ_{ac}) değerleri hesaplanarak, frekansa bağlı davranışları incelenmiştir. Elde edilen verilerden, yapılarıdaki mümkün polarizasyon mekanizmaları değerlendirilerek sağlıklı ve malign (kanserli) doku sıvıları arasındaki farklılık tespit edilmeye çalışılmıştır.

Şekil 4.1 de saf su örneğinin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı incelendiğinde, dielektrik sabitinin artan frekans ile azaldığı görülmektedir. Ayrıca, farklı mekanizmalara ait polarizasyon bölgeleri, aşağıda verilen Cole-Cole denklemi ile fit edilerek tespit edilen bölgelerin relaksasyon zamanları hesaplanmıştır.

$$K'(\omega) = K_{\infty} \left[\frac{\sin(\beta\pi/2)}{(\omega\tau_0)^{-\beta} + 2 \cos(\beta\pi/2) + (\omega\tau_0)^{\beta}} \right] \quad (5.1)$$

Grafik incelendiğinde 3 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığından bahsedilebilir. Düşük frekans bölgesinde ($1-10^4$ rad/s aralığında) tespit edilen polarizasyon bölgesi su yapısında bulunan minerallerin polarizasyonuna atfedilebilir. Bu, yapıdaki iyonların lokalize bölgeler arasında hoplama ya da tünelleme yapan uzun relaksasyon zamanlı bir polarizasyon mekanizması olarak açıklanabilir. Yüksek frekanslara doğru gidildikçe, ikinci polarizasyon bölgesinin varlığı tespit edilmiştir. 10^3-10^6 rad/s aralığındaki bölge su yapısındaki -OH (hidroksil) gruplarının polarizasyonunu işaret etmektedir. 10^6-10^8 rad/s frekans aralığındaki üçüncü bölge ise, yapıdaki moleküler boyuttaki grupların ya da azot, kükürt, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum gibi yapıda bulunan elementlerin iyonik polarizasyonuna atfedilebilir. Saf su örneğinin bu davranışı literatür ile uyumludur [33].

Şekil 4.2 de şekerli su örneğinin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı incelendiğinde, saf suyun davranışı ile benzerlik göstermekle birlikte şeker ($C_6H_{12}O_6$) katkısından dolayı dielektrik sabitinde gözlenen polarizasyon bölgelerinde kaymalar olduğu görülmektedir. Ayrıca, şekerin su içerisinde çözülmesi tamamen fiziksel bir olay olup, yapı içerisinde uzun şeker zincirinin

polarizasyonunun eklenmesi ile birlikte birim hacimde polarlanabilen varlıkların artmasından dolayı dielektrik sabitinde artış olduğu görülmektedir. Saf su ve şekerli su için bulduğumuz cevaplar sağlıklı ve hastalıklı yapıların temelini oluşturmakta bize referans oluşturacaktır.

Şekil 4.7- 4.10 arasındaki karın zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı incelendiğinde, saf su ile benzer davranış göstermektedir. Yapıda 3 farklı polarizasyon bölgesinin varlığından söz edilebilir. Bunlardan birincisi, $1-10^4$ rad/s frekans aralığında konumlanmış, doku yapısında bulunan protein zincirlerinin polarizasyonu olduğu söylenebilir. İkinci polarizasyon bölgesi, 10^3-10^5 rad/s frekans aralığında, canlı hücrenin büyük kısmını oluşturan sitoplazmanın polarizasyonudur. Sitoplazmanın %80 lik kısmı sudan oluştuğu için beklenildiği gibi saf su ve şekerli su grafiklerinde gözlemlediğimiz polarizasyon bölgesine karşılık gelmektedir ve literatür ile uyumludur. Son olarak, 10^6-10^8 rad/s frekans aralığında karşımıza çıkan polarizasyon bölgesi yapı içerisinde ve hücrenin beslenmesi için ortamda bulunan karbon, azot, kükürt, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve demir gibi yapıda bulunan elementlerin polarizasyonu olduğu söylenebilir. Şekil 4.58- 4.60 arasındaki akciğer zarından alınan sağlıklı örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı için benzer davranış gözlenmektedir. Buna göre, sağlıklı vücut sıvılarından alınan örneklerle ait cevaplar kendi içinde uyumludur [34, 35].

Şekil 4.11- 4.16 arasındaki karın zarından alınan benign örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı incelendiğinde, karın zarından alınmış sağlıklı örneklerle benzer davranış göstermekle birlikte, dielektrik sabiti artmış ve tespit edilen polarizasyon mekanizmalarının frekans bölgelerinde kaymaların olduğu görülmüştür. Bu durum, sağlıklı örneklerle kıyasla benign örneklerde hücrelerin yapısının farklılaşmasından dolayı olduğu söylenebilir. Ancak, bu yapıdaki değişimler bir kitle haline gelmediğinden, yapı içerisinde dağınık halde bulunduğu birim hacimdeki polarlanabilen yapıların sayısının artması ile polarizasyonda ve dolayısıyla dielektrik sabitinde artış meydana getirecektir [36]. Şekil 4.61- 4.64 arasındaki akciğer zarından alınan benign örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı için benzer davranış gözlenmektedir. Buna göre, benign vücut sıvılarından alınan örneklerle ait cevaplar kendi içinde uyumludur.

Şekil 4.17- 4.23 arasındaki karın zarından alınan malign örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı incelendiğinde, diğer örneklerde görüldüğü gibi dielektrik sabiti frekans ile azalmaktadır. Benign örneklerde olduğu gibi malign örneklerde de benzer polarizasyon

mekanizmalarının varlığından söz edilebilir. Ancak benign ve malign örnekler arasındaki en önemli fark, hücre yapısının farklılığıdır. Bu farklılık, sağlıklı örnekler ile malign örnekler arasındaki dielektrik cevapları arasında önemli bir ayrıntı olarak karşımıza çıkar. Bu farklılaşma, dielektrik sabitinin değerlerinde bir artma yaratır. Malign yapılar incelendiğinde, doku içerisinde kontrolsüzce çoğalan ve kitle oluşturan çekirdekli hücrelerdir [37]. Malign örneklerde, gruplar halinde bulunan, sağlıklı ve benign örneklerle göre daha ağır olduğu düşünülen çekirdekli hücre yapılarının artması ve dolayısıyla birim hacim içerisinde polarlanabilen grupların artmasına bağlı olarak sağlıklı örneklerle kıyasla dielektrik sabitinde artış gözlenmektedir. Ayrıca, malign örneklerin dielektrik sabitinin benign örneklerle kıyasla daha düşük olmasının sebebi ise, birim hacim içerisinde polarlanabilen yapıların artması nedeniyle ile bu grupların elektrik alan cevap verebilme yeteneği kısıtlanması ile açıklanabilir. Bu durum, Cole- Cole denklemi ile hesaplanan dielektrik sabitleri ile desteklenmektedir. Şekil 4.65- 4.68 arasındaki akciğer zarından alınan malign örneklerin dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı için benzer davranış gözlenmektedir.

Tablo 5.1: Vücut sıvılarına ait örneklerin dielektrik sabitleri.

	KARIN ZARI	AKCİĞER ZARI
Sağlıklı	$2,4 \times 10^5$	$2,5 \times 10^4$
Benign	$1,3 \times 10^5$	$7,7 \times 10^4$
Malign	$4,4 \times 10^5$	$5,8 \times 10^4$

Tüm örneklerin dielektrik kaybın açısal frekansla değişimine incelendiğinde; düşük frekans değerlerinden yüksek frekans değerlerine gidildikçe dielektrik enerji kaybı azalmaktadır. κ'' , yapının uygulanan elektrik alana karşı direnci nedeniyle meydana gelen dielektrik enerji kaybını tanımlamaktadır. Düşük frekanslarda gözlenen uzun molekül zincirlerinin polarlanmasına ilave olarak daha yüksek frekanslarda daha küçük molekül grupların polarizasyonlarının gözlenmesi beklenir. Bu durum, dielektrik sabitinde gözlenen davranışı desteklemektedir.

Tüm örnekler için iletkenliğin açısal frekansla değişimine incelendiğinde, alternatif iletkenlik, (5.2) denkleminde belirtildiği gibi frekansla doğru orantılıdır ve aşağıda verilen Jonscher'in yasası ile uyumludur.

$$\sigma_{toplam} = \sigma_{DC} + \sigma_{AC} = \sigma_{DC} + A\omega^s \quad (5.2)$$

Değişken alan iletkenliğinin frekansa bağlılığı incelendiğinde, düşük frekanslarda frekanstan bağımsız DC iletkenlik mekanizması tespit edilirken, yüksek frekans aralığında AC iletkenlik mekanizması tespit edilmektedir. Bu davranış dielektrik enerji kaybının frekansa bağlı davranışında gözlenen durumla örtüşmektedir. Doku içerisinde bulunan karbon, hidrojen atomlarının yanı sıra sitoplazmanın iletkenliğe katkısının olduğu düşünülmektedir ve literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Pethig, R., Kell, D., B., 1987 , “The passive electrical properties of biological systems: their significance in physiology, biophysics and biotechnology”, *Physics in medicine and biology*, 32 (8), 933-970.
- [2]. Asami, K., 2002, Characterization of biological cells by dielectric spectroscopy, *Journal of non-crystalline solids*, 305, 268–277.
- [3]. Dean, D. A., Ramanathan, T., Machado, D., Sundararajan, R., 2008, Electrical impedance spectroscopy study of biological tissues, *Journal of electrostatics*, 66, 165–177.
- [4]. Geddes, L. A., Baker, L. E., 1967, The specific resistance of biological material-a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist, *Pergamon Press*,. 5 (3), 271-293.
- [5]. Gabriel, C., Gabriel, S., Corthout, E., 1996, The dielectric properties of biological tissues: I. literature survey, *Phys. med. biol.*, 41, 2231–2249.
- [6]. Halter, R., Hartov, A., Heaney, J., Paulsen, K., Schned, A., 2007, Electrical impedance spectroscopy of the human prostate, *IEEE trans. biomed. eng.*, 54 (7), 1321-1327.
- [7]. Kerner, T., E., Paulsen, K., Hartov, A., Soho, S. K., Poplack, S. P., 2002, Electrical impedance spectroscopy of the breast: clinical imaging results in 26 subjects, *IEEE Trans. Med. Imaging*, 21(6), 638–645.
- [8]. Gersing, E., 1998, Impedance spectroscopy on living tissue for determination of the state of organs, *Bioelectrochem. bioenerg.*, 45, 145–149.
- [9]. Pethig, R., 1984, Dielectric properties of biological materials: Biophysical and medical applications, *IEEE trans. electr. insul.*, 19 (5), 453–474.
- [10]. Gabriel, S., Lau, R., W., Gabriel, C., 1996, The dielectric properties of biological tissues: III. parametric models for the dielectric spectrum of tissues, *Phys. med. biol.* 41, 2251–2269.

- [11]. Egot-Lemaire, S., Pijanka, J., Sulé-Suso, J., Semenov, S., 2009, Dielectric spectroscopy of normal and malignant human lung cells at ultra-high frequencies, *Phys. med. biol.* 54, 2341–2357.
- [12]. Wolf, M., Gulich, R., Lunkenheimer, P., Loidl, A., 2011, Broadband dielectric spectroscopy on human blood, *Biochim. biophys. acta - gen. subj.*, 1810, 727–740.
- [13]. Stoneman, M., R., Kosempa, M., Gregory, W., D., Gregory, C., W., Marx, J., J., Mikkelsen, W., Tjoe, J., Raicu, V., 2007, Correction of electrode polarization contributions to the dielectric properties of normal and cancerous breast tissues at audio/radiofrequencies, *Phys. med. biol.*, 52, 6589–6604.
- [14]. Asami, K., 2011, Design of a measurement cell for low-frequency dielectric spectroscopy of biological cell suspensions, *Meas. sci. technol.* 22 (8), 1-7.
- [15]. Wang, H., He, Y., Yang, M., Yan, Q., You, F., Fu, F., Wang, T., Huo, X., Dong, X., Shi, X., 2014, Dielectric properties of human liver from 10Hz to 100MHz: normal liver, hepatocellular carcinoma, hepatic fibrosis and liver hemangioma, *Biomed. mater. eng.*, 24, 2725–2732.
- [16]. O'Rourke, A., P., Lazebnik, M., Bertram, J., M., Converse, M., C., Hagness, S., C., Webster, J., G., Mahvi, D., M., 2007, Dielectric properties of human normal, malignant and cirrhotic liver tissue: In vivo and ex vivo measurements from 0.5 to 20 GHz using a precision open-ended coaxial probe, *Phys. med. biol.* 52, 4707–4719.
- [17]. Laufer, S., Ivorra, A., Reuter, V., E., Rubinsky, B., Solomon, S., B., 2010, Electrical impedance characterization of normal and cancerous human hepatic tissue, *Physiol. meas.* 31, 995–1009.
- [18]. Schepps, J., L., Foster, K., R., 1980, The UHF and microwave dielectric properties of normal and tumour tissues: variation in dielectric properties with tissue water content., *Phys. med. biol.* 25, 1149–59.
- [19]. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., 2008, Fundamentals of physics, *Wiley*, New York, ISBN: 978-1-118-23072-5.

- [20]. Keller, F.J., Gettys, W.E., Skove, M.J., 2002, *Physics*, Literatür yayıncılık, İstanbul, ISBN: 975-7860-54-9.
- [21]. Bozoğlu, D., 2014, *Aerojel katkılı polimer kompoziterinin hazırlanışı karakterizasyonu ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22]. Yakut, Ş., 2009, *Antimon tellür (Sb_2Te_3) bileşiğinin elektriksel özellikleri*, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23]. Von Hippel, A.R. , 1995, *Dielectrics and waves*, Artech house print on demand, New York, ISBN:54-11020.
- [24]. Parto, M., 2010, *Talyum antimon disülfid ince filmlerinin elektriksel özellikleri*, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25]. Frohlich, H. , 1958, *Theory of dielectric*, Clarendon press, Oxford, ISBN: 0198513798.
- [26]. Elliott, R.S., 1999, *Electromagnetics: history, theory, and applications*, Wiley, New York, ISBN: 9780470544525.
- [27]. Lökçü E., 2013, *Spinel Mikrodalga Dielektrik Seramiklerin Polimerik Jel Yöntemi İle Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28]. Moliton, A., 2007, *Applied electromagnetism and materials*, Springer science, Limoges, ISBN-10: 0-387-38062-0.
- [29]. Şahin, Y., 2011, *İyonik tuz içeren polimer elektrolitlerde iyonik iletkenlik davranışı*, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30]. Karkhanis S., V., Jyotsna M., J., 2012, Pleural effusion: diagnosis, treatment, and management, *Dove press journal*, 4, 31-52.
- [31]. Kocakel, M., 2016, *Plevral efüzyon*, <http://www.tgcd.org.tr/3-soruda-akciger-zarları-arasında-su-birikmesi-plevral-efuzyon/>, [08.06.2019].

- [32]. Oruç, E., 2015, *Seröz Efüzyon Sitolojisiinde Konvansiyonel Sitoloji ve Sıvı Bazlı Sitoloji (Thinprep) Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Uzmanlık tezi, İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Patoloji Anabilim Dalı.
- [33]. Bibbo, M., Wilbur, D., 2015, *Comprehensive cytopathology*, Elsevier, Philadelphia, ISBN: 978-1-4557-5195-2.
- [34]. Shidham V., B, Atkinson B., F., 2007, *Cytopathologic diagnosis of serous fluids*: Elsevier, Philadelphia, ISBN: 978-1-4160-145-4.
- [35]. Demay R., M., Press A., 2012, *The art & science of cytopathology*, ASCP Press, Chicago, ISBN: 9780891896449.
- [36]. Marieb, E. N., 1998, *Human anatomy & physiology.*, Pearson, California, ISBN: 978-0321616401.
- [37]. Fabbri, A., Fen-Chong, T., Coussy, O., 2006, Dielectric capacity, liquid water content, and pore structure of thawing-freezing materials, *Cold regions science and technology*, 44, 52-66.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Çağdaş DEMİRTAŞ
Doğum Yeri K.D.Z. EREĞLİ
Doğum Tarihi 03.02.1989
Uyruğu x T.C. ☐ Diğer:
Telefon 05439546850
E-Posta Adresi cagdasdemirtas6@gmail.com
Web Adresi



Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite Ankara Üniversitesi
Fakülte Fen Fakültesi
Bölümü Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Yılı 15.06.2012

Yüksek Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı Fizik Anabilim Dalı
Programı Genel Fizik Programı

Makale ve Bildiriler

Ulutaş, H. K., Ulutaş, D., Yakut, Ş., Uygun, N., Oruç, E., "Dielectric investigation on biological cells ", *9 th Liquid Matter Conference*, Lizbon, PORTEKIZ, 21-25 Temmuz 2014, 388-388.

Ulutaş, D., Ulutaş, H. K., Yakut, Ş., Uygun, N., Oruç, E., "Dielectric spectroscopy application on biological cells", *9 th Liquid Matter Conference*, Lizbon, PORTEKIZ, 21-25 Temmuz 2014, 1-1

Demirtaş, Ç. , Bayramoğlu, A., Şengül, B., Ulutaş, H. K., Ulutaş, D. D., Yakut, Ş., "Dielektrik Spektroskopisi ve Uygulamaları", *Turkish Physical Society 31th International Physics Congress*, MUĞLA, TÜRKİYE, 21-24 Temmuz 2014, 110-110