



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Yüksek Lisans Tezi

AGROBACTERIUM TUMEFACIENS SÜSPANSİYONLARININ
DİELEKTRİK ANALİZİ

Neziha CİVELEK

Fizik Anabilim Dalı

Genel Fizik Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ

Haziran, 2019

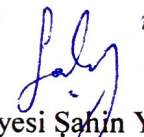
İSTANBUL

Bu çalışma, 4.07.2019 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. Merih SERİN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi


Dr. Öğr. Üyesi Şahin YAKUT
İstanbul 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 abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Başta çok değerli hocalarım danışman hocam Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ'a, Doç. Dr. Kemal ULUTAŞ'a, Dr. Öğr. Üyesi ŞahinYAKUT'a, Öğr. Gör. Deniz BOZOĞLU PARTO'ya, yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü yardım, bilgi ve tecrübelerini paylaşıp, desteklerini ve güvenlerini üzerimden eksik etmediklerinden dolayı en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Agrobacterium Tumefaciens örneklerinin dielektrik ölçümlerini gerçekleştirmemizde malzeme teminini sağlayan Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nden Prof. Dr. Ayşe Filiz GÜREL'e teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, güvenlerini her zaman hissettiğim sevgili babam Mehmet ÇETİN'e, özellikle tez yazma sürecinde oğluma sabırla bakıp sevgisini esirgemeyen çok değerli annem Aynur ÇETİN'e, desteğini her zaman hissettiğim sevgili eşim Soner CİVELEK'e teşekkürlerin en büyüğünü sunarım.

Haziran 2019

Neziha CİVELEK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. BAKTERİ YAPISI VE ÇEŞİTLERİ	1
1.2. AGROBACTERIUM TUMEFACIENS	2
2. GENEL KISIMLAR.....	6
2.1 KONDANSATÖRLER.....	6
2.1.1 Sabit Elektrik Alan Altında Kondansatör.....	6
2.1.2.Dielektrik Maddenin Moleküler Düzeyde incelenmesi.....	9
2.1.3. Değişken Elektrik Alanda Kondansatör	15
2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI.....	18
2.2.2.Elektronik ve Atomik Polarizasyon.....	19
2.2.3.İyonik Polarizasyon	20
2.2.4.Dipolar Polarizasyon	21
2.2.5.Yüzeyler arası Polarizasyon	21
2.3. CLASIUS-MOSOTTI-LORENZ-LORENTZ DENKLEMİ	23
2.4. COLE- COLE BAĞINTILARI.....	26
2.5. ALTERNATİF İLETKENLİK.....	28
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1. GENİŞ BANT DİELEKTRİK SPEKTROSKOPİ ANALİZİ.....	32
3.2. BDS ANALİZİ İÇİN ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI.....	32
4. BULGULAR.....	34
4.1. AGROBACTERIUM TUMEFACIENS SÜSPANSİYONLARIN KAPASİTESİNİN FREKANSA BAĞLI DAVRANIŞI.....	34

4.2. <i>AGROBACTERIUM TUMEFACIENS</i> SÜSPANSİYONLARIN DİELEKTRİK SABİTİNİN AÇISAL FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI	37
4.3 <i>AGROBACTERIUM TUMEFACIENS</i> SÜSPANSİYONLARIN DİELEKTRİK KAYBININ AÇISAL FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI	40
4.3 <i>AGROBACTERIUM TUMEFACIENS</i> SÜSPANSİYONLARIN İLETKENLİĞİNİN FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI.....	44
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	48
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	57



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: (a) Bakteri hücre yapısı (b) Gram-negatif bir bakteri olan E-coli hücresi.	1
Şekil 1.2: <i>Agrobacterium tumefaciens</i> yapısı.	2
Şekil 1.3: <i>Agrobacterium tumefaciens</i> 'ın hastalığa sebep olduğu bitkilerin görünümü.	2
Şekil 2.1: Arasında boşluk bulunan paralel plakalı bir kondansatörün elektrik alanı.	7
Şekil 2.2: Aynı geometrik özelliğe sahip dielektrik ve boşluk kapasitörünün aynı bataryaya bağlanması durumunda yüklenme miktarları.	8
Şekil 2.3: Elektrik dipol momenti.	9
Şekil 2.4: Dipolün uygulanan elektrik alandaki davranışı ve dipolün dönme hareketine neden olan tork.	10
Şekil 2.5: Dış elektrik alan uygulandığında, dielektrik maddenin yapısında rastgele dağılmış bulunan dipollerin uygulanan alan doğrultusunda yönelimi.	12
Şekil 2.6: (a) Kondansatörün plakaları arasında boşluk varken yük dağılımı (b) Kondansatörün plakaları arasında dielektrik madde varken yük dağılımı.	12
Şekil 2.7: Değişken elektrik alan altında dielektrik kapasitöre ait akım ve voltaj arasındaki faz farkı.	16
Şekil 2.8: Değişken dielektrik alan uygulanan kondansatörün plakaları arasındaki dielektrik maddede ortaya çıkan yükleme ve kayıp akımlarının fazör diyagramıyla gösterimi.	16
Şekil 2.9: (a) Elektrik alan yokken atom yapısı (b) Elektrik alan uygulanan atom yapısı.	20
Şekil 2.10: İyonik polarizasyon.	21
Şekil 2.11: Dipolar polarizasyon gösterimi.	21
Şekil 2.12: Yüzeyler arası polarizasyon gösterimi.	22
Şekil 2.13: Polarizasyon mekanizmalarının frekansa bağlı hakim olduğu frekans bölgeleri.	22
Şekil 2.14: Dielektrikte meydana gelen yerel alan.	23
Şekil 2.15: Cole-Cole diyagramı.	27

Şekil 3.1: Alpha-A empedans analiz cihazı.	32
Şekil 3.2: Elektrot yapısı.	33
Şekil 4.1: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.	34
Şekil 4.2: p-Cambia plazmidine sahip, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.	35
Şekil 4.3: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.	35
Şekil 4.4: Pzp201 plazmidine sahip, 150 mg/L Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.	36
Şekil 4.5: Pzp201 plazmidine sahip, 180 mg/L Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.	36
Şekil 4.6: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.	38
Şekil 4.7: p-Cambia plazmidine sahip, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.	38
Şekil 4.8: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.	39
Şekil 4.9: Pzp201 plazmidine sahip, 150 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.	39
Şekil 4.10: Pzp201 plazmidine sahip, 180 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.	40
Şekil 4.11: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.	41
Şekil 4.12: p-Cambia plazmidine sahip, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.	42

Şekil 4.13: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.	42
Şekil 4.14: Pzp201 plazmidine sahip, 150 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.	43
Şekil 4.15: Pzp201 plazmidine sahip, 180 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.	43
Şekil 4.16: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı.	45
Şekil 4.17: p-Cambia plazmidine sahip, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı.	45
Şekil 4.18: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı.	46
Şekil 4.19: Pzp201 plazmidine sahip, 150 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.	46
Şekil 4.20: Pzp201 plazmidine sahip, 180 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki <i>Agrobacterium Tumefaciens</i> 'ın iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı.	47

TABLO LİSTESİ

Şekil	tablosu	öğesi	Sayfa No
			bulunamadı.



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Polarlanabilme katsayısı
C_0	: Plakalar arasında boşluk bulunan kondansatöre ait kapasite
C	: Kapasite
$\vec{D}$	: Elektrik deplasman alanı vektörü
ϵ	: Dielektrik maddenin elektrik permitivitesi
ϵ_0	: Boşluğun elektrik permitivitisi
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
K^*	: Kompleks dielektrik sabiti
K'	: Kompleks dielektrik sabitinin reel kısmı
K''	: Kompleks dielektrik sabitinin sanal kısmı
K_s	: Düşük frekanslarda dielektrik sabiti
K_∞	: Yüksek frekanslarda dielektrik sabiti
λ	: Dalga boyu
M''	: Elektriksel modülüsün sanal kısmı
ω	: Açısal frekans
ω_0	: Rezonans frekansı
p	: Elektrik dipol moment
$\vec{P}$	: Polarizasyon vektörü
σ_{ac}	: Değişken alan iletkenliği

R	: Direnç
ρ	: Kapasitörün spesifik direnci
$\tan\delta$	: Dielektriğe ait kayıp faktörü (disipasyon)
τ	: Rölaksasyon zamanı
T	: Sinyal gecikme zamanı
V_0	: Uygulanan potansiyelin maksimum değeri
V	: Voltaj



ÖZET

AGROBACTERIUM TUMEFACIENS SÜSPANSİYONLARININ DİELEKTRİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Neziha CİVELEK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ

Agrobacterium tumefaciens, oksijensiz solunum yapan, konak olarak seçtiği bitkilerde kontrolsüzce çoğalarak hastalık yapan çubuk yapılı bir gram-negatif bir bakteridir. *Agrobacterium Tumefaciens* bakterisinin farklı ırklarının (LBA4404 ve AGL1), farklı dozlarda uygulanmış antibiyotik etkisine bağlı olarak dielektrik özellikleri geniş frekans aralığında ($0.1 - 10^6$ Hz) dielektrik spektroskopi (Novocontrol Alpha-A Dielectric/Empedance Analyzer) ile incelenmiş olup, örneklerin dielektrik sabiti ve enerji kaybının davranışı incelenerek yapıdaki mümkün polarizasyon mekanizmaları belirlenmiştir.

Haziran 2019, 69 sayfa.

Anahtar kelimeler: *Agrobacterium Tumefaciens* , dielektrik sabiti, dielektrik kayıp, dielektrik spektroskopi.

SUMMARY

DIELECTRIC ANALYSIS OF *AGROBACTERIUM TUMEFACIENS* SUSPENSIONS

M.Sc. THESIS

Neziha CİVELEK

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ

Agrobacterium tumefaciens is a gram-negative bacteria with oxygen-free breathing which grows uncontrollably in plants. The dielectric properties of *Agrobacterium Tumefaciens* with LBA4404 and AGL1 strains have been investigated by dielectric spectroscopy (Novocontrol Alpha-A Dielectric / Empedance Anlyzer) in a wide frequency range (0.1 - 10^6 Hz) depending on the antibiotic with different doses and the possible polarization mechanisms in the structure have been determined.

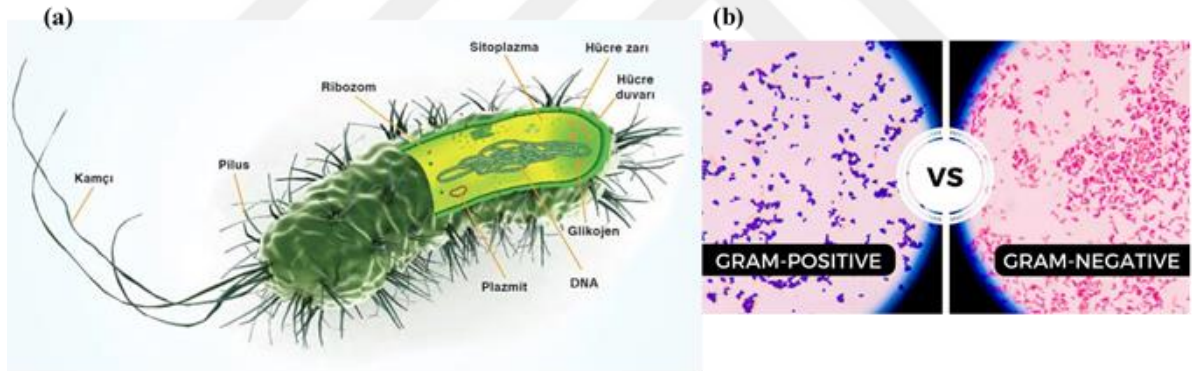
June 2019, 69 pages.

Keywords: *Agrobacterium Tumefaciens*, dielectric constant, dielectric loss, dielectric spectroscopy.

1. GİRİŞ

1.1. BAKTERİ YAPISI VE ÇEŞİTLERİ

Bakteriler çekirdeğe sahip olmayan yani prokaryot hücrelerdir. Bakteriler, gram boyama adı verilen bir teknikle, gram-negatif ve gram-pozitif olarak iki gruba ayrılırlar. Hücre duvarındaki farklılıklarından dolayı gram-pozitif bakteriler mavi veya mor renkle boyanırken, gram-negatif bakteriler pembe renge boyanır. Gram boyama, bakterilerin negatif yüklü yüzeyi ile pozitif iyonlar arasındaki etkileşime bağlıdır. Gram negatif bakteriler, genellikle patojeniktir ve dış membranları içinde endotoksinler içerir. Gram negatif bakterilerin hücre duvarı yapısı, aynı zamanda antibiyotiklere direnç gösterme yeteneğini de artırır. Escherichia, coli insan ve hayvanlarda ve çalışmamıza konu olmuş Agrobacterium ise, bitkilerde yaygın bir gram negatif bakteri örneğidir.



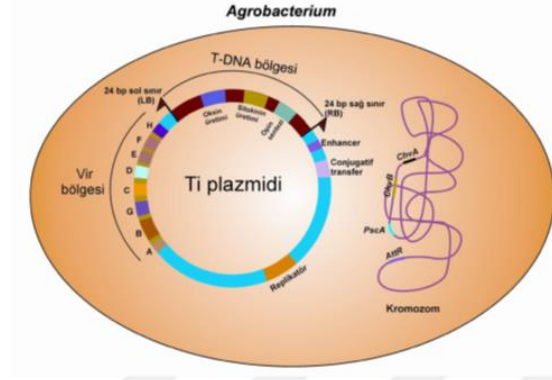
Şekil 1.1: (a) Bakteri hücre yapısı (b) Gram-negatif bir bakteri olan E-coli hücresi.

Gram negatif bakterilerin birçok türünün hücre membran yapısı genel olarak dört ana parçadan oluşur [1, 2].

- 1) **Periplazmin:** İç(sitoplazmik zar) ve dış membran arasında bulunan hidrofilik (bir molekülün hidrojen bağları kurarak suya bağlanabilme özelliği) tabaka.
- 2) **Peptidoglikan:** İnce gözenekli geçirgen yapıli tabaka.
- 3) **Fosfolipitler:** Hücre duvarı, iç zar tabakası.
- 4) **Lipopolisakkaritler:** Dış zar tabakası. En sert bölge olan dış membran, bakterinin şeklini korur.

1.2. AGROBACTERIUM TUMEFACIENS

Agrobacterium tumefaciens, oksijensiz solunum yapan, konak olarak seçtiği bitkilerde kontrolsüzce çoğalarak hastalık yapan çubuk yapılı bir gram-negatif bir bakteridir [3].



Şekil 1.2: *Agrobacterium tumefaciens* yapısı.

Agrobacterium tumefaciens, özellikle elma, armut, şeftali, vişne, badem, ahududu ve gül ailesinin üyeleri başta olmak üzere çift çenekli konakçılarda taç safra (crown gall), tüylü kök (hairy root) ve kamışı safra (cane gall) gibi neoplastik hastalıklara neden olurlar [4]. *Agrobacterium tumefaciens*'ın virulent strainleri tümör indükleyici (Ti) veya kök indükleyici (Ri) plazmidler içerir. Enfeksiyon sırasında, plasmidlocalize virülans (vir) genleri tarafından kodlanan enzimler, bu plazmidlerin T-DNA bölgesini işlemektedir [5]. Temel olarak, bakteri DNA'sının bir kısmı (T-DNA), bitki genomuna entegre olabilecek bir bitkiye transfer edilir. Böylece, tümör oluşmasına ve bitki metabolizmasıyla ilişkili değişikliklere yol açarak bitki için türün yok olma riskine ve üretim açısından ekonomik kayba sebep olur [6].



Şekil 1.3: *Agrobacterium tumefaciens*'ın hastalığa sebep olduğu bitkilerin görünümü.

Bitkilerdeki enfeksiyon tehdidine karşı, hastalığa sebep olan bakterinin kontrolü için dünyanın çeşitli yerlerinde çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında; antibiyotikler, toprak fümigantları, kimyasal kontrol kullanarak veya dirençli türlerin ıslahı sağlanarak yeterince başarıya ulaşılamamıştır [7-9]. Bu yüzden elektromanyetik alanın bakteriyel büyüme üzerinde mümkün olan etkilerini göstermek ve bakteriyel enfeksiyonların tedavisi için alternatif yöntem olarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır [10, 11]. Son zamanlarda ise, belli bir metabolik aktivite sırasında üretilen biyoelektrik sinyallerle rezonansa gelen çok düşük alan şiddetindeki son derece düşük elektromanyetik dalgalar (ELF-EMFs), mikroorganizmaların hücresel aktivitesinin kontrolünü sağlamak için kullanılır. Bu deneylerle, farelerde, mantarlarda ve bakterilerde Ehrlich tümörlerinin büyümesinin kontrolü sağlanmıştır [12-16]. Bunların dışında, *Agrobacterium*, hem bir patojen hem de önemli bir biyoteknolojik araç olarak kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır [17].

Biyolojik hücrelerin ve dokuların dielektrik özellikleri yaklaşık yüz yıldır ilgi çekmektedir. Bu konuda ilk çalışmalar 1910'lardan öncesine dayandırılabilir. Höber ve diğ. eritrositlerin (kırmızı kan hücreleri-RBCs) düşük ve yüksek frekansta iletkenliğini karşılaştırmış ve hücresel membranın elektriksel olarak varlığını kanıtlamıştır [18]. 1924 ve 1925'de Fricke ve Maxwell tarafından ortaya konan ilkeleri kullanarak, elektriksel iletkenlik ve disperse sistemlerin kapasitesinin matematiksel modellenmesi üzerine bir dizi makale yayınlamıştır [19-28]. Fricke ve Curtis, memeli eritrositlerin lizisinin (hücre çözünmesi) takibini yapmak için kompleks empedans ölçümleri kullanmışlardır [29]. Cole, süspansiyon halde bulunan tek kabuklu hücrenin kompleks empedansını elde etmek için Maxwell'in karışım denklemini kullanmıştır [30, 31]. Schwan, geniş frekanslı dielektrik ölçümlere öncülük ederek üst frekans sınırını 1 GHz'e kadar uzatmış ve hücre süspansiyonlarından dokuya çeşitli biyolojik materyalleri ölçerek α , β ve γ relaksasyonlarını tanımlamıştır [32-34].

Bakterilerin dielektrik özellikleri ile ilgili literatür çalışmalarına bakıldığında ise, *Agrobacterium tumefaciens* ile benzer yapı gösteren *E. coli* hücresinin dielektrik özellikleri, üç kabuğun sırasıyla dış zar, periplazmik boşluk ve iç zarın incelenmesine dayanan üç kabuklu küresel modeli ile çalışılmıştır. Dielektrik spektrumları analiz etmek için bir fit modeli geliştirilmiştir. İç zarın spesifik kapasitansının $0.6-0.70 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ olduğu belirlenmiştir. Sitoplazmanın dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri, sırasıyla 100 ve 0.22 S/m olarak hesaplanmıştır. Periplazmik boşluğun iletkenliği ise $2.2-3.2 \text{ S/m}$ olarak bulunmuştur [35].

Morgan ve diğ. Çalışmalarında, tek hücreli dielektrik ölçüm tekniklerine alternative yöntemler üzerine, özellikle de dielektroforez ve elektrotasyonun ac elektrokinetik yöntemlerini araştırmışlardır. Mikrofabrik akış sitometresi kullanılarak yapılan ölçümlerden elde edilen empedans spektroskopisi verilerini, eşdeğer devre modeli kullanılarak elde edilen simülasyon verileriyle karşılaştırmışlardır [36]. Zhang ve diğ. daha önceki çalışmalarda, gözenekli ortamlarda elektriksel ölçümlerin, sülfat azaltıcı bakterilerin (SRB-sulfate-reducing bacteria) aracılı mineral dönüşümüne olan duyarlılığını gösterilmiş ancak SRB'nin dielektrik özellikleri ve gözenekli ortamların elektriksel özelliklerine doğrudan katkısının anlaşılamadığını söylemiştir. Bu nedenle, yüzeydeki ağır metallerin azaltılabilmesi için sülfat azaltıcı bakterilerin (SRB-sulfate-reducing bacteria) dielektrik özelliklerini farklı konsantrasyonlarda ve farklı büyüme aşamalarında 20Hz-1MHz frekans aralığında incelenmiştir [37]. Bir diğer çalışmada, elektrostatik güç mikroskobu kullanılarak tek bir bakteri hücresinin elektrik polarizasyonu özellikleri belirlenmiştir. Kuru hava koşulları altında dört bakteri türünün (*Salmonella typhimurium*, *Escherchia coli*, *Lactobacillus sakei* ve *Listeriainnocua*) efektif dielektrik sabitlerinin 3-5 değerleri arasında olduğu bulunmuştur. Nemli ortamlarda ise, gram-negatif *Salmonella typhimurium*, *Escherchia coli*, bakterilerinin dielektrik sabitleri 6-7 değerlerine, gram-pozitif *Lactobacillus sakei* ve *Listeriainnocua* bakterileri için dielektrik sabitleri 15-20 değerlerine kadar artış göstermiştir. Sonuç olarak, efektif dielektrik sabitinin, bakteri hücresinin biyokimyasal bileşenlerine ve hidrasyon halinin elektriksel polarizasyona bağlı olduğu yorumlanmıştır [38]. Ma ve diğ. çalışmasında ise, izole edilmiş *Agrobacterium tumefaciens* bakterisini, büyüme inhibasyonuna neden olan rezonans frekansını belirlemek için iki jeneratörden gelen kare genlik modülasyonlu dalgaların (QAMW) farklı düşük frekans değerlerine maruz bırakmıştır. Tüm örneklerin dielektrik ölçümleri 0.1-4 MHz frekans aralığında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her frekans için bağlı permitivite , kayıp tanjant, dielektrik kayıp, iletkenlik ve relaksasyon zamanı hesaplanmıştır [39].

Literatür taramasında görüldüğü için *Agrobacterium Tumefaciens* bakterisinin dielektrik özelliklerinin ayrıntılı ve geniş bir frekans aralığında incelenmesine rastlanmadığından dolayı, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nden alınan *Agrobacterium Tumefaciens* bakterisinin farklı ırklarının (LBA4404 ve AGL1), farklı dozlarda uygulanmış antibiyotik etkisine bağlı olarak dielektrik özellikleri geniş frekans aralığında ($0.1 - 10^6$ Hz) dielektrik spektroskopi ile

incelenmiş olup, örneklerin dielektrik sabiti ve enerji kaybının davranışı incelenerek yapıdaki mümkün polarizasyon mekanizmaları belirlenmiştir.



2. GENEL KISIMLAR

2.1 KONDANSATÖRLER

2.1.1 Sabit Elektrik Alan Altında Kondansatör

İletken iki plakanın arasında boşluk olduğunda veya yalıtkan bir madde (dielektrik madde) konulduğunda; sığaç, kapasitör veya kondansatör olarak ifade ettiğimiz bir yapı oluşur. Plakaların uçlarını bir bataryanın artı ve eksi uçlarına bağladığımızda plakalar eşit ve zıt yüklerle yüklenir. Bu zıt yükler arasında ΔV ile gösterilen bir potansiyel fark ve yüksek potansiyelden (+Q), düşük potansiyele (-Q) doğru bir elektrik alan oluşur.

Plakaların yüklerini iki katına çıkarırsak, potansiyel farkın da iki katına çıktığını görürüz. Plakaların biri üzerindeki yükün büyüklüğü, oluşan potansiyel farka oranlanırsa her zaman sabit bir değer olduğu görülecektir. Bu orana kondansatörün kapasitansı (sığası) denir.

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

olarak gösterilir. Birimi ise;

$$F(farad) = \frac{C(coulomb)}{V(volt)} \quad (2.2)$$

Kapasitans, kondansatörün geometrisine ve dielektrik malzemenin özelliğine bağlı olarak değişir. Plaka yüzeyindeki yükler düzgün olarak dağılmıştır. Birim alan başına düşen yük, yüzey yük yoğunluğudur.

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (2.3)$$

Plakalar arasındaki elektrik alanın yük yoğunluğu cinsinden ifadesi

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.4)$$

şeklindedir.

Yük yoğunluğunu elektrik alan ifadesinde yerine yazarsak;

$$E = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Q}{A} \quad (2.5)$$

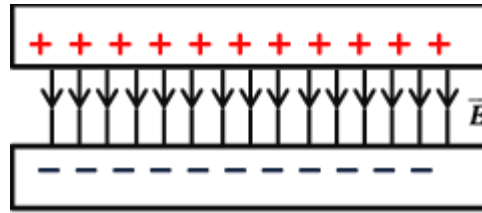
elde ederiz. Plakalar arasındaki potansiyel fark $\Delta V = Ed$ olduğundan

$$\Delta V = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Q}{A} d \quad (2.6)$$

yazılır. ΔV kapasitansta yerine yazılırsa,

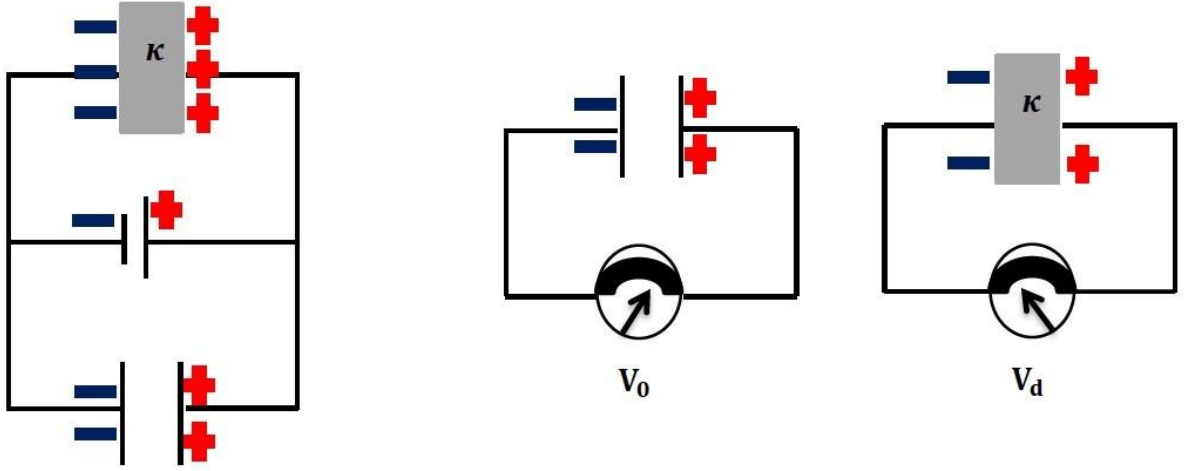
$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.7)$$

şeklini alır. Permittivite, elektrik alan geçişine verilen izin olarak adlandırılır. Denklemdaki ϵ_0 boşluğun permittivitesidir ve değeri $8,85 \times 10^{-12}$ F/m dir. Bu eşitlikten kapasitansın, yüzey alanıyla doğru, plakalar arasındaki uzaklıkla ters orantılı olduğu sonucunu görebiliriz [40]. d uzaklığı, A yüzeyine göre çok küçük olduğunda plakalar arasında düzgün elektrik alan oluşur diğer yerlerde sıfır kabul edilir. ($d \ll A$)



Şekil 2.1: Arasında boşluk bulunan paralel plakalı bir kondansatörün elektrik alanı.

Plakalar arasına dielektrik malzeme yerleştirilmesi; kondansatörün kapasitesini yükseltir, plakaların birbirine temas etmeden yeterince yaklaşmasını sağlayarak birçok mekanik problemi ortadan kaldırır, dielektrik malzeme yüksek elektrik alana boşluktan daha fazla dayanıklıdır bu sayede kondansatörün çalışma voltajını artırır.



Şekil 2.2: Aynı geometrik özelliğe sahip dielektrik ve boşluk kapasitörünün aynı bataryaya bağlanması durumunda yüklenme miktarları.

Şekil 2.2’de aynı bataryaya bağlanmış, paralel plakalı bir kondansatörün plakaları arasında, dielektrik madde varken boşluk olan kondansatöre göre daha fazla yüklendiği gösterilmiştir. Plakalar arasındaki potansiyel farkı ölçen elektrometre, arasında boşluk bulunan kondansatöre dielektrik madde koyulduğunda potansiyel farkın düştüğünü göstermiştir.

Plakalar arasında boşluk bulunan paralel plakalı kondansatörün kapasitesi,

$$C_0 = \frac{Q}{\Delta V_0} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.8)$$

dır. Plakalar arasına dielektrik madde yerleştirildikten sonra,

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.9)$$

olur. Q değişmediği halde potansiyel fark azalmıştır. Bu azalma ,

$$\Delta V = \frac{\Delta V_0}{\kappa} \quad (2.10)$$

şeklinde gösterilecek olursa azalmayı sağlayan κ değerine dielektrik katsayısı(sabiti) ya da rölatif permitivite denir ve maddenin özelliğine göre değişir.

$$\frac{\Delta V_0}{\Delta V} = \frac{C}{C_0} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \kappa \quad (2.11)$$

olarak gösterilebilir κ birimsiz bir değerdir. Matematiksel ifadeden $\kappa > 1$ olduğunu görebiliriz. Boşlukta $C = C_0$ dır, bu sebeple $\kappa = 1$ olur.

(2.7) denklemini $C = \kappa C_0$ da yerine yazarsak,

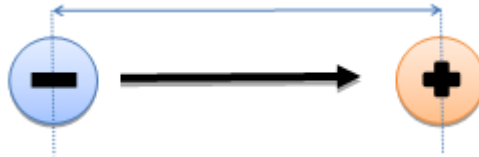
$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.12)$$

olarak yazılır.

Suyun dielektrik katsayısı yüksek olmasına rağmen iyonlar için iyi bir çözücüdür bu ise yük akışı sağlar ve kapasitansın boşalmasına sebep olur. Bir diğer yük iletimi ise elektriksel bozulma veya dielektrik yıkılması (breakdown effect) olayıdır. Dielektrik maddeyi dayanabileceği en yüksek elektrik alan şiddetine maruz bırakmak, maddenin dielektrik özelliğini kaybetmesiyle sonuçlanır. Dayanabileceği en yüksek kritik elektrik alan şiddetine dielektrik dayanım denir.

2.1.2. Dielektrik Maddenin Moleküler Düzeyde incelenmesi

Eşit büyüklükte fakat zıt işaretli, aralarında d kadar mesafe bulunan iki noktasal yükün oluşturduğu çifte, elektrik dipolü denir. Elektrik dipollerinin zıt yüklerinden kaynaklı kendilerine ait bir elektrik alanları vardır. Ayrıca bir dış elektrik alan altında kalan, birbiri üzerinde bulunan zıt yük çiftleri indüklenerek aralarında çok küçük bir d uzaklığı olacak şekilde birbirinden ayrılır. Bu ise elektrik dipol oluşmasına sebep olur.



Şekil 2.3: Elektrik dipol momentini.

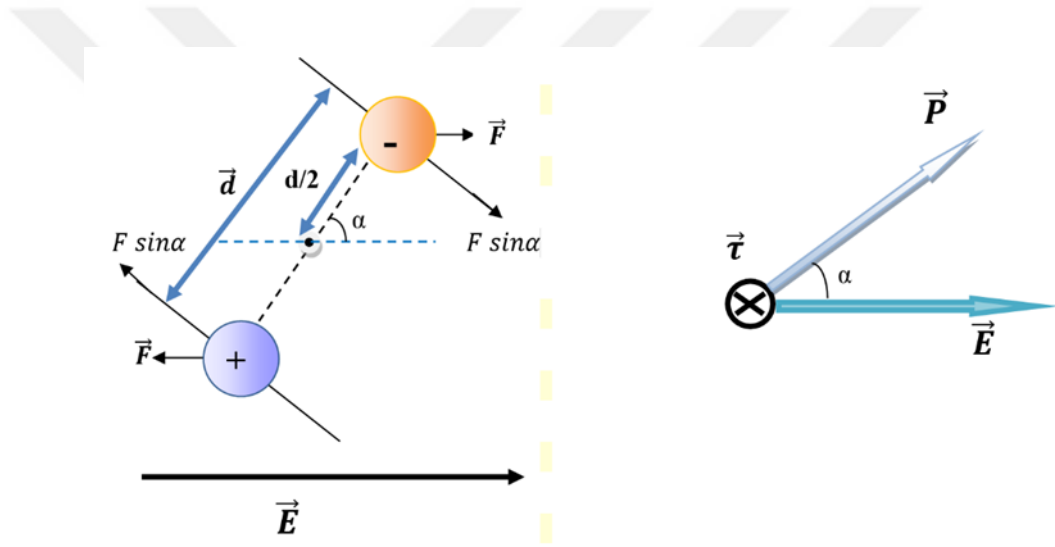
Elektrik dipolü, elektrik dipol momentleriyle ($\vec{P}$) gösterilir. d mesafesi $(-q)$ yükünden $(+q)$ yüküne doğru bir doğrultu belirttiğinden, $\vec{P}$ elektrik dipol momentini vektörel olarak ifade edilir [41]. Birimi ise C.m'dir.

$$\vec{P} = q\vec{d} \quad (2.13)$$

Düzgün bir elektrik alan içerisine yerleştirilen elektrik dipolüne, elektrik alan doğrultusunda eşit büyüklükte ve zıt yönlerde iki kuvvet etkir. Büyüklüğü,

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (2.14)$$

olarak gösterilir. Bunlar zıt kuvvetler oldukları için toplamı sıfırdır. Ancak bu kuvvetler, elektrik dipol momenti üzerinde bir tork (kuvvet momenti) etkisi oluşturarak, dipol momentinin eksenini kütle merkezi etrafında, elektrik alanla paralel olacak biçimde döndürecektir.



Şekil 2.4: Dipolün uygulanan elektrik alandaki davranışı ve dipolün dönme hareketine neden olan tork.

Baş parmak dipol momentini, parmak uçları elektrik alanı ve avuç içi torku gösterecek şekilde sağ el kuralı uygulanırsa tork vektörünün sayfa düzleminin içine doğru olduğu görülecektir.

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F} \quad (2.15)$$

ifadesinden torkun büyüklüğü,

$$\tau = \frac{d}{2} F \sin \alpha + \frac{d}{2} F \sin \alpha = d F \sin \alpha \quad (2.16)$$

şeklindedir. (2.13) ifadesinde F yerine yazılırsa,

$$\tau = dqE \sin \alpha \quad (2.17)$$

elde edilir. dq çarpımının P ye eşit olduğu biliyoruz o halde,

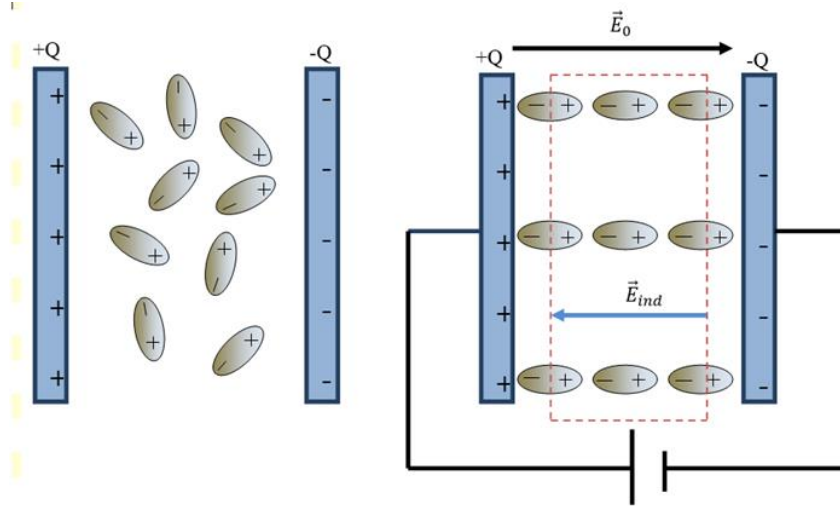
$$\tau = PE \sin \alpha \quad (2.18)$$

İfadesinin vektörel gösterimi

$$\vec{\tau} = \vec{P} \times \vec{E} \quad (2.19)$$

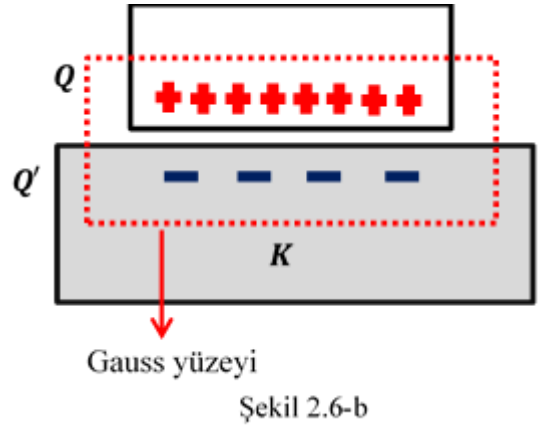
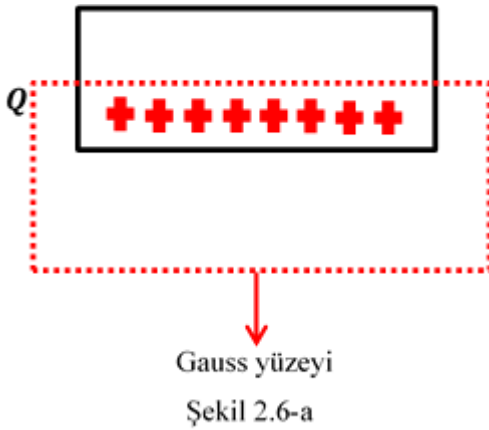
şeklindedir. Moleküller kendi yapısı gereği dipol momentine sahip ise bunlara kutuplu molekül denir. Dielektrik madde bir dış elektrik alana maruz kalırsa içerisindeki kutupsuz moleküllerdeki yükler ayrılarak kutuplu hale gelir ve bu oluşan yapıya indüklenmiş dipol momentleri denir.

Dielektrik malzemeyi paralel plakalı bir kondansatörün plakaları arasına koyup bir dış elektrik alana maruz bırakırsak dielektrik madde içerisindeki rastgele dizilmiş kutuplu moleküllerin ve indüklenmiş dipol momentlerinin üzerine tork etki ederek dış elektrik alan doğrultusunda kısmen yönelmesiyle polarizasyon (kutuplanma) meydana gelir. Polarize olan dipol momentlerinin sayısı, sıcaklık azaldıkça ve elektrik alan şiddeti arttıkça artacaktır. Polarizasyon sayesinde dielektrik malzemenin kenarlarındaki yükler (etkilenme yüzey yükleri) plakaların yükleriyle bağlanır yani nötrlenir bu yüklere bağlı yükler denir. Yüklerin bağlanmasıyla plakalar tekrar yüklenecektir bu yükler ise serbest yüklerdir.



Şekil 2.5: Dış elektrik alan uygulandığında, dielektrik maddenin yapısında rastgele dağılmış bulunan dipollerin uygulanan alan doğrultusunda yönelimi.

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi dielektrik malzemenin bağlı yükleri dışında kalan yüklerin oluşturduğu net yük sıfırdır. Bu sebeple elektrik dipollerinin polarlanması sonucunda dielektrik malzemedeki yüzey yükleri dış elektrik alana karşı ters yönde bir elektrik alan oluşturur ve toplam elektrik alanın azalmasına sebep olur. Bu azalma Gauss yasasına göre kapalı bir yüzey alanı seçilirse;



Şekil 2.6: (a) Kondansatörün plakaları arasında boşluk varken yük dağılımı (b) Kondansatörün plakaları arasında dielektrik madde varken yük dağılımı.

plakalar arasında boşluk bulunurken elektrik alan ifadesi

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 E_0 A = Q \quad (2.20)$$

$$E_0 = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \quad (2.21)$$

olarak belirlenir. Plakalar arasında dielektrik madde bulunurken elektrik alan ifadesi;

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 EA = Q - Q_i \quad (2.22)$$

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 A} - \frac{Q_i}{\epsilon_0 A} \quad (2.23)$$

Şekil 2.6.(b)'den anlaşılacağı üzere E net elektrik alan ifadesi olmak üzere $E = E_0 - E_{ind}$ olduğu görülecektir.

Yük sabitken potansiyel farkın κ dielektrik katsayısı oranında azalması, $\Delta V = Ed$ gereğince elektrik alanında aynı oranda azalmasını sağlayacaktır.

$$E = \frac{E_0}{\kappa} \quad (2.24)$$

Bu ifadeyi (2.23) denkleminde yerine yazarsak;

$$\frac{Q}{\kappa \epsilon_0 A} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} - \frac{Q_i}{\epsilon_0 A} \text{ buradan } Q_i = Q \left(1 - \frac{1}{\kappa} \right) \quad (2.25)$$

olarak bulunur. Sonuçta $\kappa < 1$ olması sebebiyle dielektrikteki yüzey yüklerinin, plakalardaki yüklerden her zaman daha az olması gerektiği söylenebilir.

Bir dış elektrik alan varlığında elektrik dipollerinin polarlanması, birim hacim başına düşen elektrik dipol momenti olarak tanımlanan polarizasyon vektörünün ($\vec{P}$) ortaya çıkmasına sebep olur. Ayrıca birim alandaki bağlı yükler de polarizasyon vektörüne eşittir.

$$P = \frac{Q_{ind(bağlı)}}{A} \quad (2.26)$$

Polarizasyona bağı olarak elektrik dipolleri elektriksel olarak tork etkisinde yerdeğiştirir bu ise deplasman vektörü ($\vec{D}$) olarak tanımlanır. Ayrıca birim alandaki serbest yükler de deplasman vektörüne eşittir [41, 42].

$$D = \frac{Q_{0(serbest)}}{A} \quad (2.27)$$

O halde 2.22 denkleminde verilen vektörler yerine yazılırsa;

$$E = \frac{D}{\epsilon_0} - \frac{P}{\epsilon_0} \quad (2.28)$$

$$\vec{D} = \vec{E}\epsilon_0 + \vec{P} \quad (2.29)$$

Olarak bulunur. Ayrıca χ_e elektriksel duyarlılık(süseptibilite) olmak üzere , χ_e ve dielektrik katsayısı arasındaki ilişki ;

$$E = E_0 - E_{ind} \quad (2.30)$$

$$E = E_0 - \frac{\vec{P}}{\epsilon_0} \quad (2.31)$$

$$\epsilon_0 E = \epsilon_0 E_0 - P \quad (2.32)$$

$$P = \epsilon_0 E_0 - \epsilon_0 E \quad (2.33)$$

$$P = \epsilon_0 E \left(\frac{E_0}{E} - 1 \right) ; \frac{E_0}{E} = \kappa \quad (2.34)$$

$$P = \epsilon_0 E (\kappa - 1) ; \kappa - 1 = \chi_e \quad (2.35)$$

$$P = \epsilon_0 E \chi_e \quad (2.36)$$

$$\chi_e = \frac{P}{\epsilon_0 E} = \kappa - 1 = \frac{Q_{bağlı}}{Q_{serbest}} \quad (2.37)$$

olarak bulunur. Buradan 2.29 denkleminde göre elektrik deplasman vektörü;

$$D = \epsilon_0 E + \epsilon_0 E \chi_e \quad (2.38)$$

$$D = \varepsilon_0 E (1 + \chi_e) \quad ; \quad 1 + \chi_e = \kappa \quad (2.39)$$

$$D = \varepsilon_0 E \kappa \quad ; \quad \varepsilon_0 \kappa = \varepsilon \quad (2.40)$$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (2.41)$$

şeklinde ifade edilir.

2.1.3. Değişken Elektrik Alanda Kondansatör

Plakaları arasında hava bulunan bir kondansatöre, f frekans ve T periyot olmak üzere,

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (2.42)$$

açısal frekanslı bir sinüzoidal voltaj kaynağı bağlanırsa,

$$V = V_0 \cdot e^{i\omega t} = V_0 (\cos\omega t + i\sin\omega t) \quad (2.43)$$

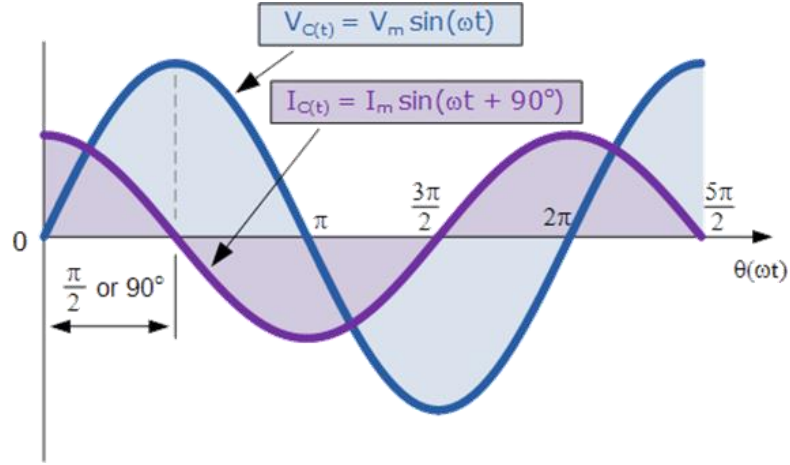
kondansatör,

$$Q = C_0 V = C_0 V_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (2.44)$$

yüküyle yüklenir. Bu yüklemeye sebep olan akım (charging current) ;

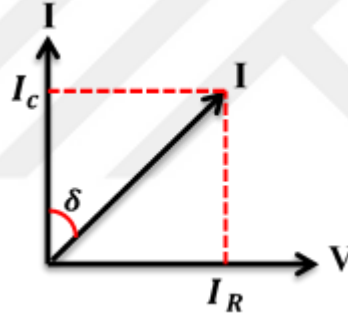
$$I_c = \frac{dQ}{dt} = i\omega C_0 = I_0 e^{i(\omega t + \frac{\pi}{2})} \quad (2.45)$$

şeklinde gösterilir. Uygulanan voltaj ile I_c yükleme akımı arasında 90° lik bir faz farkı söz konusudur akım her zaman voltajdan 90° ileridedir.



Şekil 2.7: Değişken elektrik alan altında dielektrik kapasitöre ait akım ve voltaj arasındaki faz farkı.

Plakaları arasında dielektrik bulunan bir kondansatörde ise 90° den daha az bir faz açısı oluşur [41, 43, 44]. Oluşan açının fazör diyagramıyla gösterimi;



Şekil 2.8: Değişken dielektrik alan uygulanan kondansatörün plakaları arasındaki dielektrik maddede ortaya çıkan yüklem ve kayıp akımlarının fazör diyagramıyla gösterimi.

Uygulanan voltajla aynı fazda olan akım (I_R) kayıp akımdır. $I = V/R$ ve $G=1/R$ olmak üzere $I_R = GV$ şeklinde yazılabilir. Buradaki G kondüktans ifadesidir. Yani akımın geçmesine karşı gösterilen kolaylık olarakta söylenilebilir. Birimi Siemens (S)'tir. Kondansatöre transfer edilen toplam akım;

$$I = I_C + I_R = (i\omega C + G)V \quad (2.46)$$

Olarak gösterilir. Voltajla aynı fazda olan yüklem akımı ile toplam akım arasında meydana gelen faz farkının tanjantı kayıp faktörü olarak tanımlanır.

$$\tan \delta = \left| \frac{I_R}{I_C} \right| = \frac{G}{\omega C} = \frac{1}{\omega RC} \quad (2.47)$$

şeklindedir. (2.10) eşitliği (2.45) te yerine yazılırsa;

$$I = i\omega V \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 + GV = \left(i\omega V \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 + G \right) V \quad (2.48)$$

elde edilir. Bu ifade benzer olarak farklı bir formda ifade edilebilir.

$$I = (i\omega\varepsilon' + \omega\varepsilon'') \frac{C_0}{\varepsilon_0} V = \omega V C_0 \frac{\varepsilon' - i\varepsilon''}{\varepsilon_0} \quad (2.49)$$

$\varepsilon' - i\varepsilon'' = \varepsilon^*$ olarak kısa şekilde ifade edilirse, dielektrik katsayısı arasındaki bağıntıdan

$$\kappa^* = \frac{\varepsilon^*}{\varepsilon_0} \quad (2.50)$$

şeklinde gösterilebilir. $\kappa^* = \kappa' - i\kappa''$ olarak yazılabilir.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} (CV_0 \cdot e^{i\omega t}) = i\omega CV_0 e^{i\omega t} = I \quad (2.51)$$

$\kappa = C/C_0$ ve $\kappa^* = \kappa' - i\kappa''$ ifadeleri denklemde yerine yazılırsa

$$\tan \delta = \left| \frac{I_R}{I_C} \right| = \frac{\kappa'' \omega C_0 V_0 e^{i\omega t}}{\kappa' \omega C_0 V_0 e^{i\omega t}} = \frac{\kappa''}{\kappa'} \quad (2.52)$$

olduğu görülür. Birim alan başına düşen akım, akım yoğunluğunu verir.

$$J = \frac{I}{A} = \frac{I_C}{A} + \frac{I_R}{A} \quad (2.53)$$

$$\frac{I_R}{A} = \frac{\kappa'' \omega C_0 V_0 e^{i\omega t}}{A} ; \quad E = \frac{V}{d} ; \quad C_0 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.54)$$

$$J_R = \frac{I_R}{A} = \kappa'' \omega \varepsilon_0 \frac{A}{d} E_0 \cdot d \cdot e^{i\omega t} \frac{1}{A} = \kappa'' \omega \varepsilon_0 E_0 e^{i\omega t} ; \quad \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \kappa \quad (2.55)$$

$$J_R = \varepsilon'' \omega E \quad (2.56)$$

$$\sigma_{AC} = \varepsilon'' \omega \quad (2.57)$$

ifadesi elde edilir bu ifadeye değişken elektrik alan altındaki dielektriğin iletkenliği denir. Bir diğer ifadeyle serbest elektron bakımından az dielektrik malzemeye değişken alan uygulandığında, polarlanma sonucu meydana gelen ısı enerjisinin eşdeğeri kayıp akım terimidir ve buna karşılık gelen terime de alternatif iletkenlik terimi denir [44].

2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI

Elektrik alana maruz kalmış bir dielektrik malzeme bu alana polarize olarak kendini gösterir. Bu, plaka yüzeylerinde bulunan nötr yüklerle gerçekleşen bir durumdur [44]. Bir iyonun ya da atomun polarlanabilirliği α olarak gösterilirse, ortalama dipol momenti,

$$\vec{p} = \alpha \vec{E}_{yerel} \quad (2.58)$$

Şeklinde tanımlanır. Bir başka deyişle α elektriksel esnekliktir yani farklı mekanizmalardan kaynaklı $(\alpha_{elektronik} + \alpha_{iyonik} + \alpha_{dipolar} + \alpha_{yüzeyleyerası})$ polarize edilebilirliklerinin toplamıdır. $\vec{E}_{yerel}$ ise uygulanan elektrik alandan farklı olarak bir atom, iyon veya molekül tarafından deneyimlenmiş yerel elektrik alanıdır. Bununla birlikte yerel alanın büyüklüğü etrafını saran ortamın polarizasyonuna bağlı olarak oldukça önemli ölçüde değiştirilebilir. Polarizasyon vektörü, dielektrik sabiti ve uygulanan elektrik alana bağlı olarak ifade edilmek istenirse;

$$\vec{P} = (\kappa - 1)\epsilon_0 \vec{E} \quad (2.59)$$

Olarak yazılır ve buradan N birim hacimdeki dipol sayısı olmak üzere,

$$\vec{P} = N \cdot \vec{p} = N\alpha \vec{E}_{yerel} \quad (2.60)$$

Eşitliği yazılabilir. Burada P makroskobik; N, α ve $\vec{E}_{yerel}$ mikroskobik parametreyle ilişkilendirilir.

2.2.1. Dielektrik Relaksasyon

Bir dielektrik alternatif bir elektrik alan içerisine yerleştirildiğinde, dipoller alanla aynı hızda kalmaya çalışır. Bu süreç, her polarizasyon mekanizması için farklı olan sınırlı bir zaman gerektirir. Bu ise atom ve moleküllerin yapısına ve düzenine bağlı olarak değişir. Bir dipole, elektrik alan uygulandığında, bu alan kaldırıldığında veya yönü değiştirildiğinde tekrar eski

haline dönene kadar geçen zamana relaksasyon zamanı denir. Bu durum malzemenin rezonans frekansına denk gelir. Relaksasyon frekansında, dipoller uygulanan alan içerisinde kendilerini tekrar yönlendirebileceklerdir. Diğer bir anlamda dipollerin alana cevap verip yönlendirilmesi ve tekrar eski haline döndüğü süreyi ifade eder. Bu frekansta dielektrik kayıp gözlenir ve enerji ısı şeklinde kaybedilir. Dielektrik kayıp maksimum dereceye, uygulanan elektrik alanın frekansı ile polarizasyon mekanizmasındaki relaksasyon zamanı ile çakıştığında ulaşır. Mikrodalga fırının arkasındaki prensip budur. Cihaz, su moleküllerinin relaksasyon frekansında çalıştırılır ve üretilen ısı yiyeceği ısıtır. Uygulanan elektrik alan frekansı ve relaksasyon frekansı arasındaki faz farkı arttıkça dipoller, uygulanan alandaki değişikliklere ayak uyduramayacak ve polarizasyon mekanizmalarına katkı sağlayamayacaktır bir nevi donmuş halde kalacaktır. Dipollerin bu donmuş hali yani polarlanma olmaması dielektrik sabitini azaltır ve dielektrik kayıp olmaz [42, 45-47].

2.2.2.Elektronik ve Atomik Polarizasyon

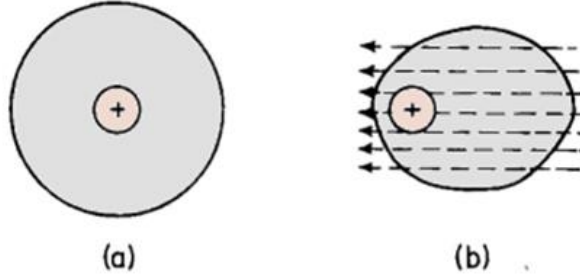
Biliyoruz ki atom elektriksel olarak çekirdekte nötronlar ve protonlara, etrafındaki yörüngelerde dolaşan elektronlara sahiptir. Tek bir atom göz önüne alındığında pozitif çekirdek yükü ile negatif yük merkezleri çakışmıştır. Bu ise net bir dipol momentine sahip olmadığı anlamına gelir. Oysaki bu atom dış elektrik alana maruz kaldığında pozitif yük merkezi alan yönünde hareket ederken negatif yük merkezi zıt yönde yer değiştirir elektronlar dış elektrik alanın yönlendirdiği yöne doğru kayma eğilimi gösterir böylece dipol indüklenmiş olur. Dielektrik içerisinde çok fazla atom olmasına rağmen dipollerin açılma momenti kısa olduğundan dolayı bu polarizasyonun etkisi çok azdır [42].

Molekül yapıdaki birden fazla atomun olduğu bir yapıya dışarıdan bir elektrik alan uygulandığında, atom merkezlerinin birbirine göre az miktarda yer değiştirdiği gözlemlenir. Bu durum infrared bölgede gerçekleşir. Elektronik polarizasyonda olduğu gibi atomik polarizasyonda da dielektrik kayıp azdır aynı zamanda toplam ısınmaya etkisi de az olacaktır [41, 42].

Elektrik alan varlığında dipol moment ifadesini $\vec{p} = \alpha \vec{E}_{yerel}$ şeklinde daha önce tanımlamıştık. α molekülün polarlanabilme katsayısıdır. Buradaki elektronik ve atomik polarizasyon katkılarını söylerken ikisinin toplamı şeklinde göstermemiz gerekmektedir.

$$\alpha_m = \alpha_a + \alpha_e \quad (2.61)$$

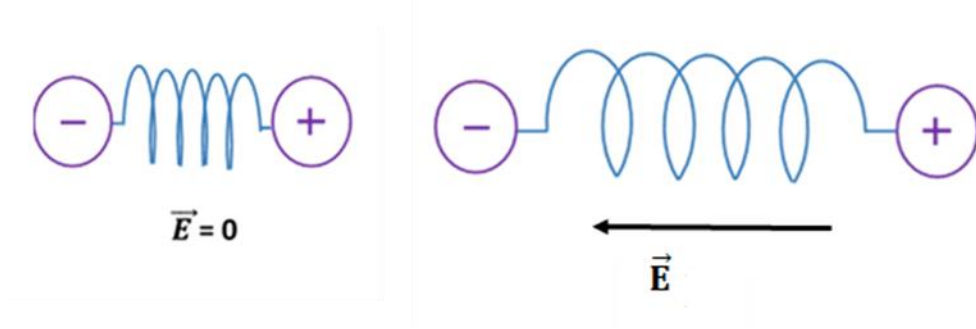
Polarlanabilme katsayısı, uygulanan elektrik alan altındaki atomun veya molekülün yer değiştirebilme yeteneğidir bir başka ifadeyle elektriksel alana verilen geçiş iznidir. Relaksasyon zamanları kısadır bu ise bize yüksek frekanslarda gerçekleşen bir olay olduğunu gösterir [43, 45, 48].



Şekil 2.9: (a) Elektrik alan yokken atom yapısı (b) Elektrik alan uygulanan atom yapısı.

2.2.3.İyonik Polarizasyon

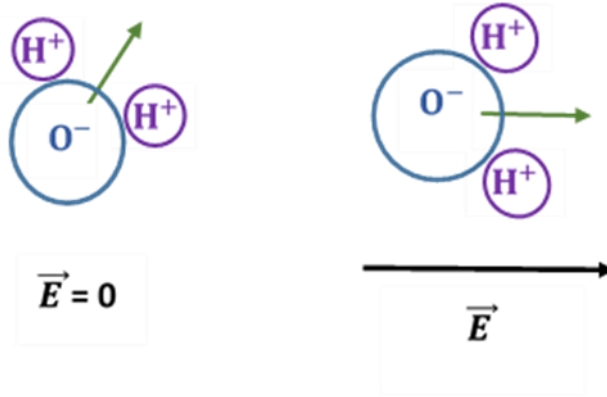
Kristal örgü yapıdaki iyonik bağlı bir moleküle, elektrik alan uygulanmasıyla yapı içerisindeki zıt yüklü iyonların zıt yönlü hareket etmeleri, net bir dipol momenti oluşmasına sebep olur. Bu durum iyonik polarizasyon olarak adlandırılır. Relaksasyon zamanı, iyonların ağırlıklarından (kütlelerinden) dolayı elektronik polarizasyona göre daha uzun bu sebeple daha düşük frekanslarda gerçekleşir. Molekülün polarlanabilme katsayısı α_i 'dir. NaCl bunun için iyi bir örnektir [42, 43, 45, 49].



Şekil 2.10: İyonik polarizasyon.

2.2.4.Dipolar Polarizasyon

İki farklı atom bir molekül oluşturduğunda elektronlar simetrik olmayan bir paylaşımda bulunmuş olur. Şekil 2.11'deki gibi Hidrojen ve klor atomunun şekildeki gibi oluşturduğu paylaşım polarize olarak dipol momentini oluşturur. Şekildeki HCl molekülü kalıcı bir dipol momentidir elektrik alan yokluğunda mevcut şeklini korur. Bu tür dipoller elektrik alan yokluğunda dielektik malzemede rastgele yönlendirilir. Bununla birlikte elektrik alan uygulanması halinde dipoller üzerine tork etki ederek elektrik alanın gerektirdiği yönde hizalanmaya meyilli olacaktır. Molekülün polarlanabilme katsayısı α_d 'dir [42, 45, 49].

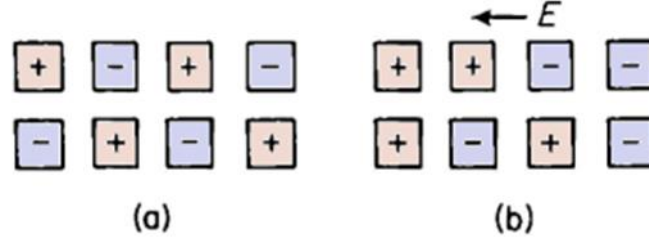


Şekil 2.11: Dipolar polarizasyon gösterimi.

2.2.5.Yüzeyler arası Polarizasyon

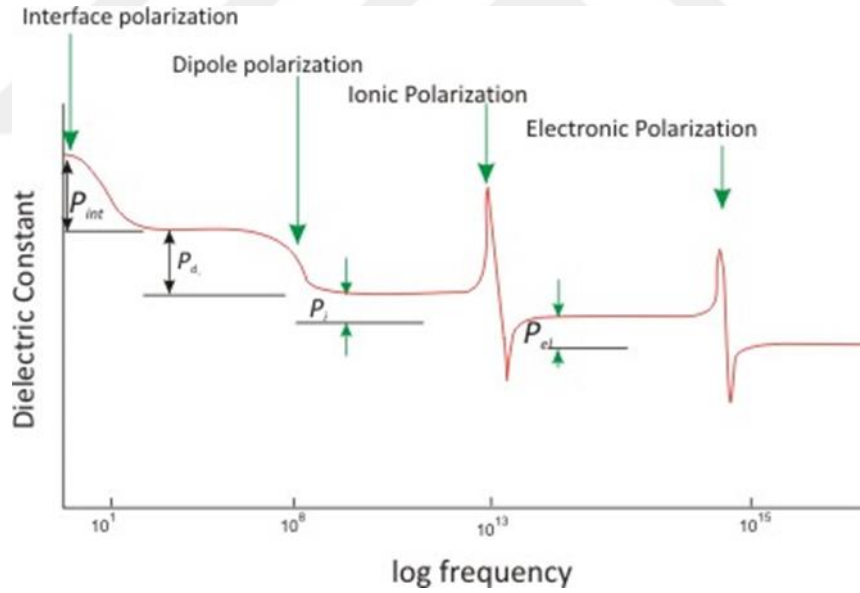
Daha önceki polarizasyon türleri bağlı yük taşıyıcılarının hareketi tarafından oluşturulur. Ancak yüzeyler arası polarizasyon, dielektrik boyunca serbest halde hareket eden yük taşıyıcıların; elektrik alan uygulanmasıyla birlikte tabaka aralarında, yüzeylerin birleştiği arayüzeylerde, örgü aralarında, çatlak ve kırık alanlarda kalmasıyla oluşur. Elektrik alan

olmadığında bu alandaki yükler rastgele yerleşmiştir ve net bir etkisi yoktur. Bununla birlikte elektrik alan varlığında pozitif yük taşıyıcıları, negatif yük taşıyıcılarına göre alan doğrultusunda pozisyon alma eğiliminde olacaktır [42, 45, 46, 49, 50].



Şekil 2.12: Yüzeyler arası polarizasyon gösterimi.

Diğer yandan şekil a'daki yüklerin tam ortasından geçen dikey bir çizgi düşünürsek sağda ve soldaki net yük sıfır iken şekil b'deki dikey çizgi sola doğru net pozitif yüke, sağa doğru ise net negatif yüke sahip olacaktır.



Şekil 2.13: Polarizasyon mekanizmalarının frekansa bağlı hakim olduğu frekans bölgeleri.

Bu dört mekanizmada yer değiştiren atom ve moleküllerin kütleleri miktar olarak farklıdır. Kütlelerin elektronikten yüzey yüküne doğru gittikçe büyüdüğünü gözlemliyoruz. Bunun uygulanan alanla doğrudan bir ilişkisi vardır. Sonuç olarak elektronik $10^{15} - 10^{16}$ Hz, atomik polarizasyon $10^{13} - 10^{15}$ Hz arasındaki frekanslarda devam eden bir süreçtir. İyonik polarizasyon daha yavaş ve $10^9 - 10^{13}$ Hz arasındaki frekanslarda meydana gelirken,

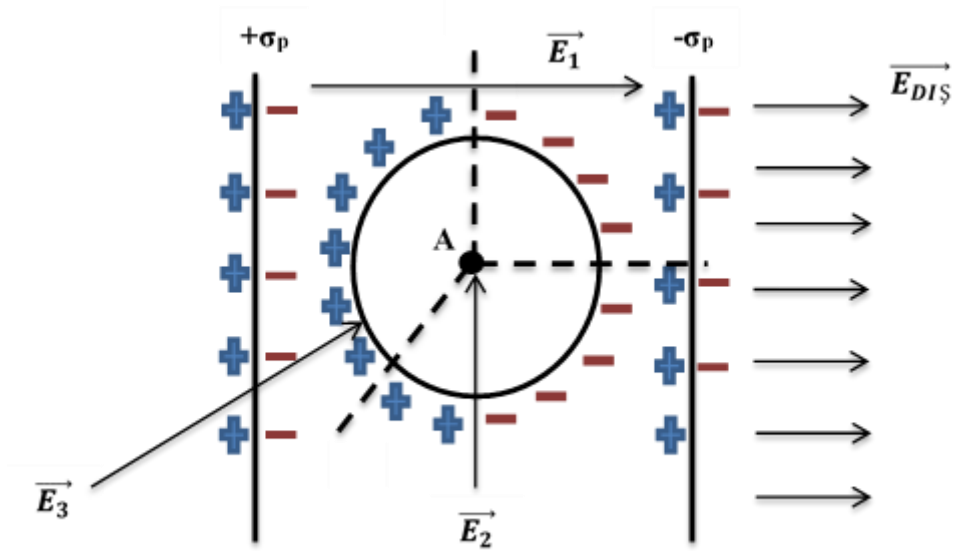
moleküllerin hareketini içeren dipolar polarizasyon 10^9 Hz'nin altında gerçekleşir. Ara yüzey polarizasyonu ise 10 Hz'nin altındaki frekanslarda oluşur.

Elektronik katkıdan elde edilen dielektrik sabitinin , $10^{12} - 10^{13}$ Hz'nin üzerinde, çok yüksek frekanslarda $\epsilon_r = n^2$ kırılma indeksi ile ilişkilidir. Diğer mekanizmalardan gelen katkı bunun üzerinde olacaktır. Böylece bir malzeme için toplam dielektrik sabiti $\epsilon_r = \epsilon_{r,elektronik}(n^2) + \epsilon_{r,iyonik} + \epsilon_{r,dipolar}$ şeklinde olacaktır.

2.3. CLASIUS-MOSOTTI-LORENZ-LORENTZ DENKLEMİ

Polarize olan dipollerin miktarı, üzerine etki eden yerel alanın büyüklüğüyle doğru orantılıdır. Yerel elektrik alan ifadesi molekül üzerine etki eden tüm elektrik alanları kapsayan bir büyüklüktür. Dış elektrik alan altındaki bir dielektrik malzemede polar olmayan moleküllerin elektrik alan varlığında oluşturduğu dipollerin modeli göz önüne alınabilir [42].

Yoğun fazda bulunan katı ve sıvılarda herhangi bir A referans noktası belirlediğimiz molekül üzerine etki eden dış elektrik alan etrafındaki diğer moleküllerin polarize olmasından dolayı değişir. Tüm etkileri şekildeki model üzerinde inceleyelim.



Şekil 2.14: Dielektrikte meydana gelen yerel alan.

Molekül üzerinde A referansı olarak belirlediğimiz nokta etrafında bir küre olduğunu düşünelim. Referans noktası etrafını çevreleyen kürenin yarıçapı, küre dışında kalan

molekülleri kapsamayacak şekilde seçilir. Bir oyuk ya da küre seçilmemiş olsaydı A referansı üzerine etkiyen iki elektrik alan ifadesi, uygulanan dış elektrik alan ve plaka yüzeylerindeki yüklerin oluşturduğu iç elektrik alan olacaktı. Ancak küre olduğu durumda A referansı üzerine dört elektrik alan etki edecektir. Şekilde gösterildiği gibi;

$\vec{E}_1$, iletken plaka yüzeylerindeki serbest yüklerin oluşturduğu dış elektrik alan

$\vec{E}_2$, dielektrik maddenin kutuplanmasıyla oluşan bağlı yüklerin oluşturduğu iç elektrik alan

$\vec{E}_3(\vec{E}_L)$, Lorentz yerel alanı yani küre sınırlarında oluşan, dipol zincirlerinin serbest uçlarının oluşturduğu elektrik alan

$\vec{E}_4$, küre içerisindeki dipollerin oluşturmuş olduğu elektrik alan

Küre içerisinde A referans noktasında bulunan moleküle çok yakın konumlarda bulunan farklı moleküller de vardır bulundukları konum ve şekilleri de göz önüne alındığında bunların hesaba katılması gerekmektedir. $\vec{E}_4$ alanı bu moleküllerin elektrik alanını ifade eder. Tüm bu alanları hesaba katarak yerel elektrik alanı hesaplırsak,

$$\vec{E}_{yerel} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4 \quad (2.62)$$

ifadesini elde ederiz. Makroskobik elektrik alan ifadesi;

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \left(\frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma}{\epsilon_0} \right) \vec{n} \quad (2.63)$$

şeklindedir. Buradaki $\vec{n}$ birim vektördür ve yüzeye diktir. Yerel elektrik alan ifadesinde yerine yazarsak,

$$\vec{E}_{yerel} = \vec{E} + \vec{E}_3 + \vec{E}_4 \quad (2.64)$$

elde edilir bu genel bir ifadedir. Lorentz alanı, küre dışındaki dipollerin P polarizasyon katkısıdır ve bu yüklerin küre yüzeyindeki yük yoğunluğu, $\sigma_n = P \cdot n = P_n$ şeklindedir. Polarizasyon vektörü cinsinden ifadesi $P_n = \vec{p} \cdot d\vec{A}$ olarak gösterilir o halde, kutupsal koordinatlardan $\vec{E}_3(\vec{E}_L)$ hesaplanabilir.

$$\vec{E}_L = \oint \frac{P \cos^2 \varphi}{\epsilon_0 4\pi r^2} dA, \quad dA = 2\pi \sin \varphi r^2 d\varphi \quad (2.65)$$

yerine yazılırsa,

$$\vec{E}_L = \frac{P}{2\epsilon_0} \int_0^\pi \cos^2 \varphi \sin \varphi d\varphi \quad (2.66)$$

olarak bulunur. Burada kısmi integral kullanılırsa,

$$\int_0^\pi \cos^2 \varphi \sin \varphi d\varphi = \frac{2}{3} \quad (2.67)$$

olacaktır. O halde,

$$\vec{E}_L = \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} \quad (2.68)$$

sonucuna ulaşıldığı görülecektir. Ayrıca süsseptibilite ifadesinden polarizasyon vektörünün

$$\chi = \frac{\vec{P}}{\epsilon_0 \vec{E}} = \kappa' - 1 \text{ buradan } \vec{P} = \epsilon_0 \vec{E} (\kappa' - 1) \quad (2.69)$$

ifadesine bağlı olarak değiştiği de görülebilir. Kürenin yarıçapı çok küçük seçildiği için $\vec{P}$, kürenin içerisinde sabit olacaktır. Ayrıca küre içerisindeki yakın moleküler dipollerin olduğu alanı hesaplamak çok zordur. Bu sebeple Lorentz basit kübik örgüdeki çift kutupların örgü köşelerinde E_4 alanının sıfır olduğunu söylemiştir. Sonuç olarak basit kübik örgülerde $\vec{E}_4=0$ olduğundan tüm durumlar ve herhangi bir durum için $\vec{E}_4=0$ olarak alınabilir. Bu durum göz önüne alınarak bir dielektrikteki dipole etkiyen toplam net alan,

$$\vec{E}_{yemel} = \vec{E} + \vec{E}_{3(L)} = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} \quad (2.70)$$

olacaktır. Buradan

$$\vec{E}_{yemel} = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} = \vec{E} + \frac{\vec{E}}{3} (\kappa' - 1) = \frac{\vec{E}}{3} (\kappa' - 2) \quad (2.71)$$

yazılırsa makroskobik bir ifade olarak göstermiş oluruz. Birim hacim başına düşen N dipolle sistem polarize olur. Dipol momentlerini $\vec{p} = \alpha \vec{E}_{yerel}$ olarak daha önce ifade etmiştik. Buradan dipol moment yoğunluğu,

$$\vec{P} = N \cdot \vec{p} = N \alpha \vec{E}_{yerel} \quad (2.72)$$

$$(\kappa' - 1) \varepsilon_0 E = N \alpha \frac{E}{3} (\kappa' + 2) \quad (2.73)$$

$$(\kappa' - 1) \varepsilon_0 = \frac{N \alpha}{3} (\kappa' + 2) \quad (2.74)$$

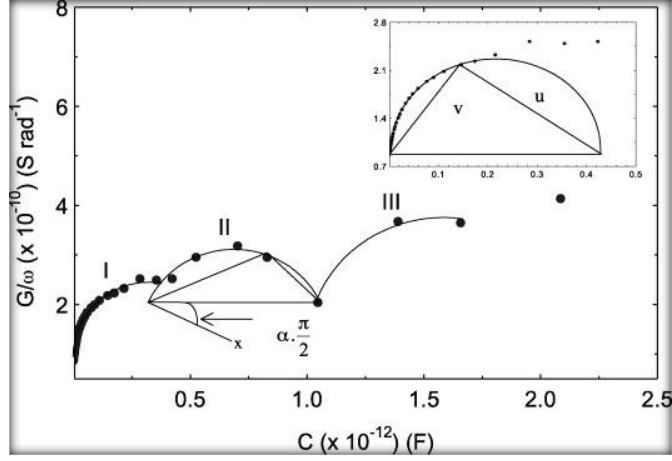
olarak bulunur. Buradaki denklemi daha düzenli bir hale getirmek istersek,

$$\frac{(\kappa' - 1)}{(\kappa' + 2)} = \frac{N \alpha}{3 \varepsilon_0} \quad (2.75)$$

yazılabilir bu ifadeye Clausius Mosotti denklemi denir. Denklem makroskobik ve mikroskobik parametreler arasında kolayca ilişki kurmamızı sağlar. Sonuç olarak dielektrik katsayısı ve polarlanma katsayısı arasındaki bağıntıyı göstermiş olur [42, 47].

2.4. COLE- COLE BAĞINTILARI

Cole-cole eşitliği yapıların dielektrik relaksasyonu tanımlamak için kullanılan bir relaksasyon modelidir. Birkaç relaksasyon zamanı gözlemlendiğinde bu dağılım düzgün olmayan bir yarım çemberle gösterilebilir [48].



Şekil 2.15: Cole-Cole diyagramı.

Cole-cole eşitliğine göre kompleks permitivite

$$\varepsilon^* = (\varepsilon' - i\varepsilon'') = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-x}}$$

Şeklinde ifade edilir.

$x=0$ olması durumunda debye eşitliğini elde ederiz. Burada

ε^* , kompleks dielektrik sabiti

ε_s , sabit frekans(dc)

ε_∞ , sonsuz frekans

ω , açısal frekans

τ , relaksasyon zamanı

x , üstel bir parametre olup malzemeye göre değişen bir sabittir.

Denklem düzenlenirse,

$$1 + (i\omega\tau)^{1-x} = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{\varepsilon' - i\varepsilon'' - \varepsilon_\infty} \quad (2.76)$$

Buna bağlı olarak,

$$(i\omega\tau)^{1-x} = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon' + i\varepsilon''}{\varepsilon' - i\varepsilon'' - \varepsilon_\infty} = \frac{v}{u} \quad (2.77)$$

elde edilir. Buradan,

$$\frac{v}{u} = i^{1-x}(\omega\tau)^{1-x} = e^{i\frac{\pi}{2}(1-x)} \quad (2.78)$$

x katsayısı debye davranışından uzaklaştıran bir katsayıdır ve $0 \leq x \leq 1$ değerlerini alır. Debye davranışında $x=0$ 'dır ve cole-cole 'a göre relaksasyonun maksimum değeri ve dielektrik sabiti ϵ' , daha büyüktür.

Çember denklemini daha açık bir şekilde ifade edersek,

$$\epsilon' - i\epsilon'' = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + (\omega\tau)^x (\cos \frac{x\pi}{2} + i \sin \frac{x\pi}{2})} \quad (2.79)$$

ifadesinin reel ve sanal kısımları ayrılıp,

$$i \equiv e^{ix\frac{\pi}{2}} = \cos \frac{x\pi}{2} + i \sin \frac{x\pi}{2} \quad (2.80)$$

Denklemden yerine yazılarak

$$\epsilon' = \epsilon_{\infty} + (\epsilon_s - \epsilon_{\infty}) \frac{1 + (\omega\tau)^x \cos \frac{x\pi}{2}}{1 + 2(\omega\tau)^x \cos \frac{x\pi}{2} + (\omega\tau)^{2x}} \quad (2.81)$$

$$\epsilon'' = \epsilon_{\infty} + (\epsilon_s - \epsilon_{\infty}) \frac{(\omega\tau)^x \sin \frac{x\pi}{2}}{1 + 2(\omega\tau)^x \cos \frac{x\pi}{2} + (\omega\tau)^{2x}} \quad (2.82)$$

denklemlerine ulaşılır.

2.5. 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 [47].

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

$$\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E} + \vec{F}_{drag} \quad (2.83)$$

$\vec{F}_{drag}$: sürtünme kuvveti

$$\vec{F}_{drag} = -\frac{m\vec{V}}{\tau} \quad (2.84)$$

$$m\vec{a} = q\vec{E} + \left(-\frac{m\vec{V}}{\tau}\right) \quad (2.85)$$

$$m\frac{d\vec{V}}{dt} = q\vec{E} - \frac{m\vec{V}}{\tau} \quad (2.86)$$

$$m\frac{d\vec{V}}{dt} + \frac{m\vec{V}}{\tau} = q\vec{E} \quad (2.87)$$

Alternatif alan altında hız ve elektrik alan:

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

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

şeklindedir.

(2.87) numaralı ifadeyi kullanarak,

$$\frac{dV(t)}{dt} = i\omega V_o e^{i\omega t} \quad (2.88)$$

$$i\omega V_o e^{i\omega t} + \frac{m}{\tau} V_o e^{i\omega t} = qE_o e^{i\omega t} \quad (2.89)$$

$e^{i\omega t}$ ifadeleri sadeleşir.

$$V_o m \left(i\omega + \frac{1}{\tau} \right) = qE_o \quad (2.90)$$

(2.90) numaralı ifade için gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$V_o = \left(\frac{q\tau}{m} \right) \frac{1}{1 + i\omega\tau} E_o \quad (2.91)$$

(2.91) numaralı ifade sürüklenme hızına eşittir.

$$V_0 = V_s$$

$$J = \frac{nq^2\tau}{m} \frac{1}{1 + i\omega\tau} E_o \quad (2.92)$$

elde edilir.

$$J = \sigma \cdot E$$

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

$$J = \frac{\sigma_0}{1 + i\omega\tau} E_o = \sigma(\omega) \cdot E(\omega) \quad (2.93)$$

$\sigma(\omega)$ 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

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.94)$$

olarak bulunur.

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

$$\sigma_{total}(\omega) = \sigma(\omega) + \sigma_{dc} \quad (2.95)$$

$\sigma(\omega)$: 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:

$$\sigma(\omega) = A. \omega^s \quad (2.96)$$

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. GENİŞ BANT DİELEKTRİK SPEKTROSKOPİ ANALİZİ

Agrobacterium Tumefaciens bakterisinin farklı strain örnekleri (LBA4404 ve AGL1) İstanbul Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nden temin edilmiştir.

Ölçüm işlemleri için bilgisayar destekli Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer cihazı kullanmıştır. Bu amaçla, ölçümler 1 Hz-10MHz frekans aralığında ve oda sıcaklığında örneklerin kapasite (C) ve kayıp ($\tan\delta$) değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler antibiyotik türü ve oranının fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. Kapasite ve kayıp değerlerinden türetilen dielektrik katsayısının gerçek ve sanal kısımları belirlendikten sonra değişken alan iletkenlik (AC) sonuçları hesaplanmıştır.

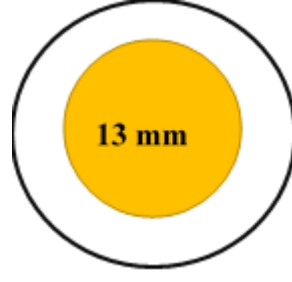
Frekansa bağlı kapasite ve kayıp değerleri ve bu değerler kullanılarak hesaplanan dielektrik sabitleri ile bu sabitlerden hesaplanan alternatif iletkenliğe ait grafikler Origin Lab grafik programı kullanılarak çizildi. Ölçüm sistemi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Alpha-A empedans analiz cihazı.

3.2. BDS ANALİZİ İÇİN ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Kapasitör yapısı oluşturmak için jel formundaki örnekler 13 mm çapındaki altın kaplı alt ve üst elektrotlar arasına yerleştirilerek sandviç formunda oluşturulmuştur.



Şekil 3.2: Elektrot yapısı.

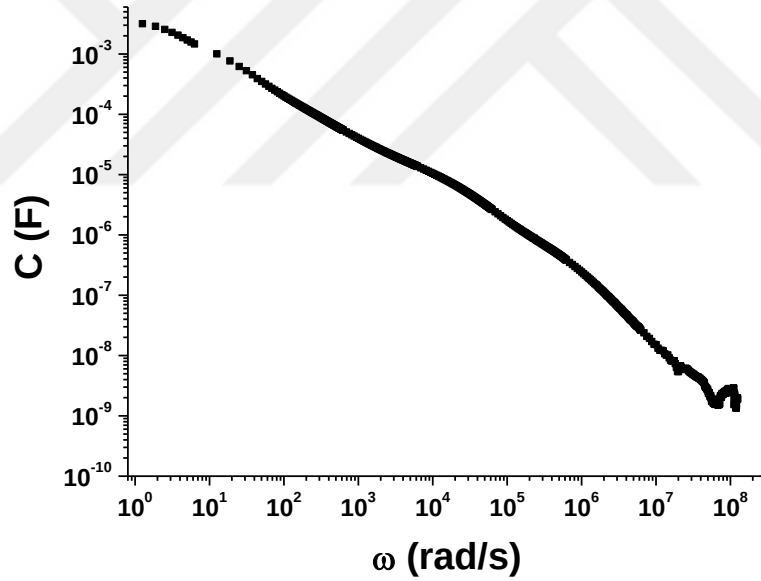


4. BULGULAR

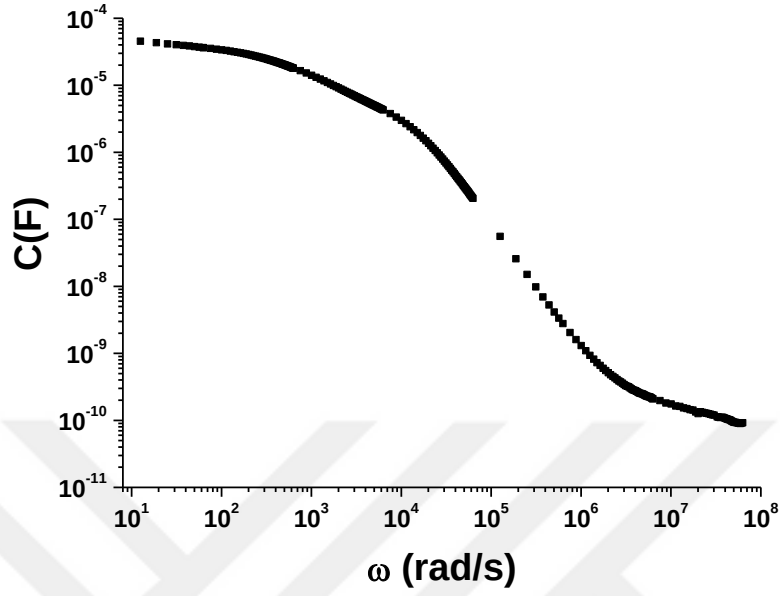
4.1. *AGROBACTERIUM TUMEFACIENS* SÜSPANSİYONLARIN KAPASİTESİNİN FREKANSA BAĞLI DAVRANIŞI

Agrobacterium Tumefaciens süspansiyonların kapasitenin frekansla değişimine bakıldığında;

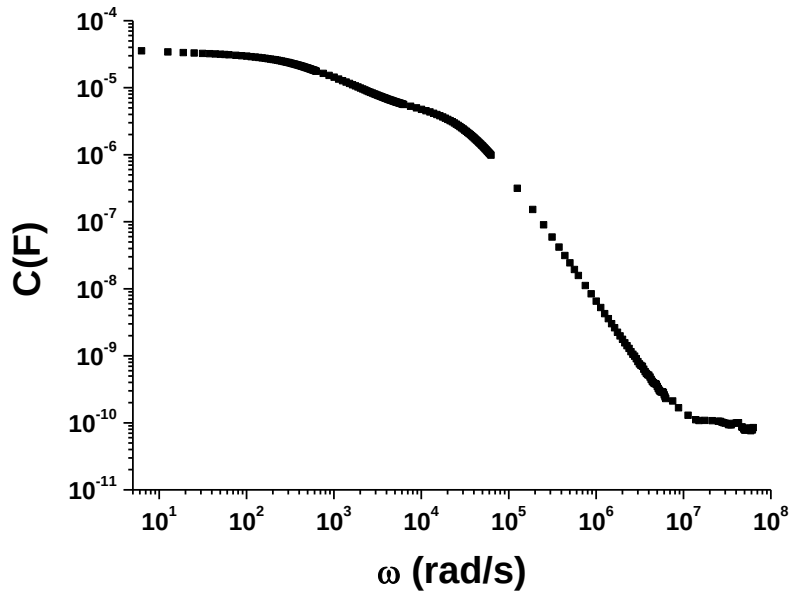
- Tüm örnekler için artan frekansla eksponansiyel azaldığını,
- Kapasite değerlerinin $4.5 \times 10^{-4} - 9.2 \times 10^{-11}$ F arasında değiştiğini,
- Düşük, orta ve yüksek frekans değerlerinde relaksasyon bölgelerinin olduğu görülmektedir.



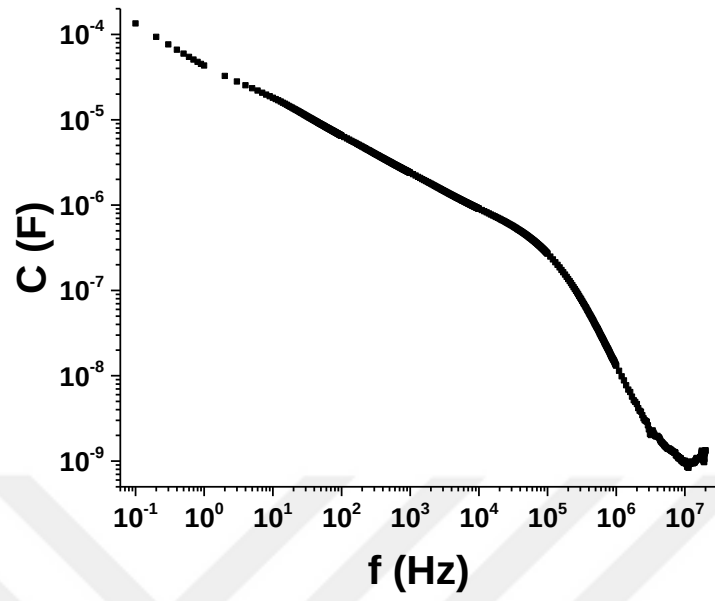
Şekil 4.1: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.



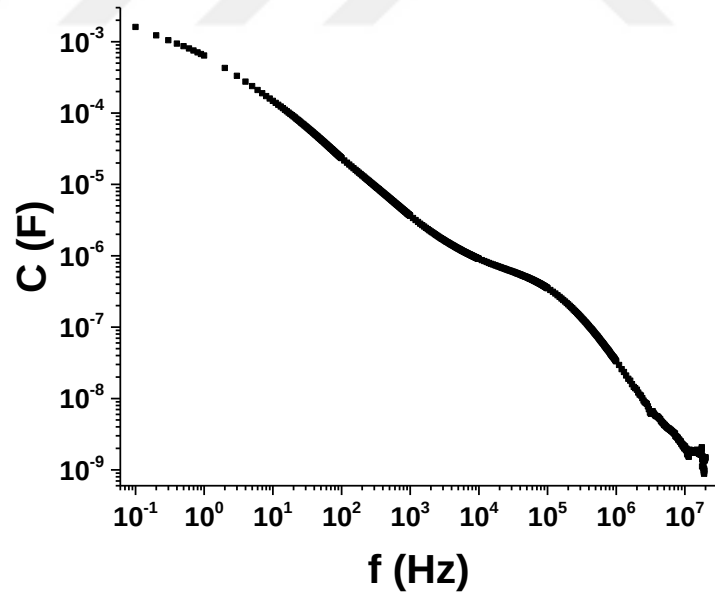
Şekil 4.2: p-Cambia plazmidine sahip, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.3: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.4: Pzp201 plazmidine sahip, 150 mg/L Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.

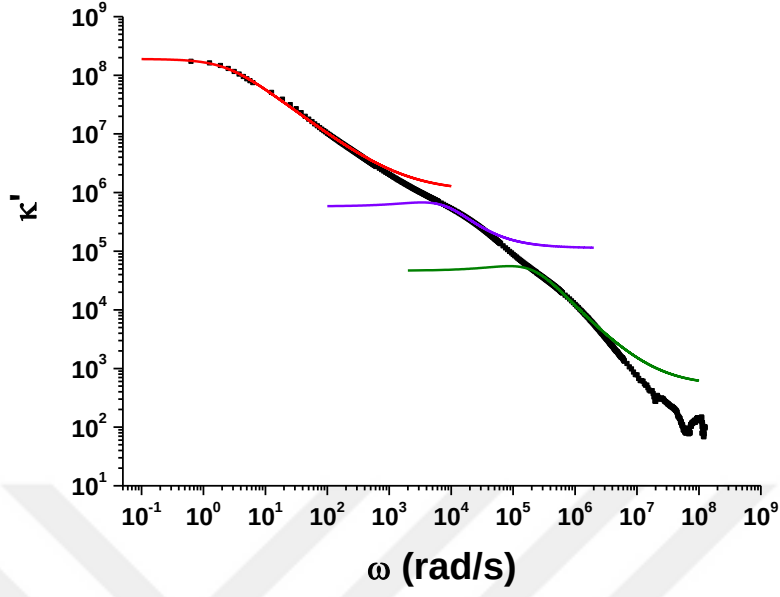


Şekil 4.5: Pzp201 plazmidine sahip, 180 mg/L Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.

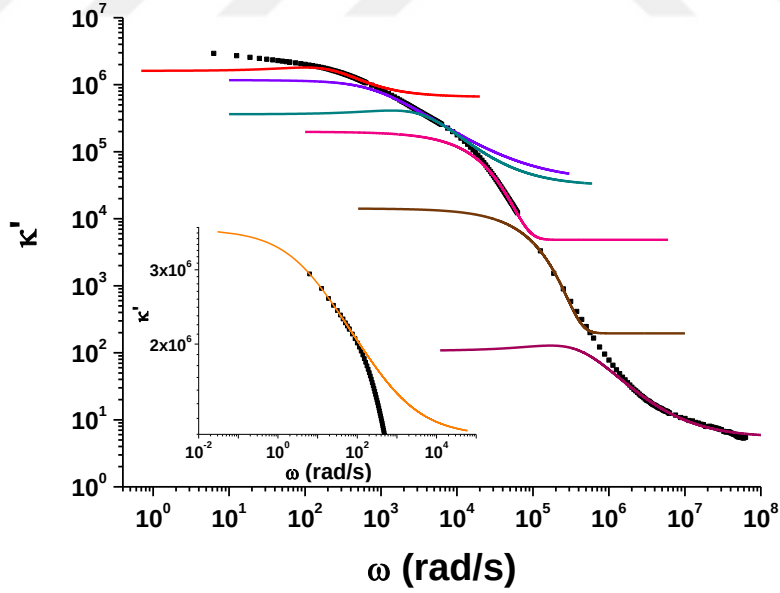
4.2. AGROBACTERIUM TUMEFACIENS SÜSPANSİYONLARIN DİELEKTRİK SABİTİNİN AÇISAL FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

Agrobacterium Tumefaciens süspansiyonların dielektrik sabitinin açısall frekansla değışimine bakıldığında;

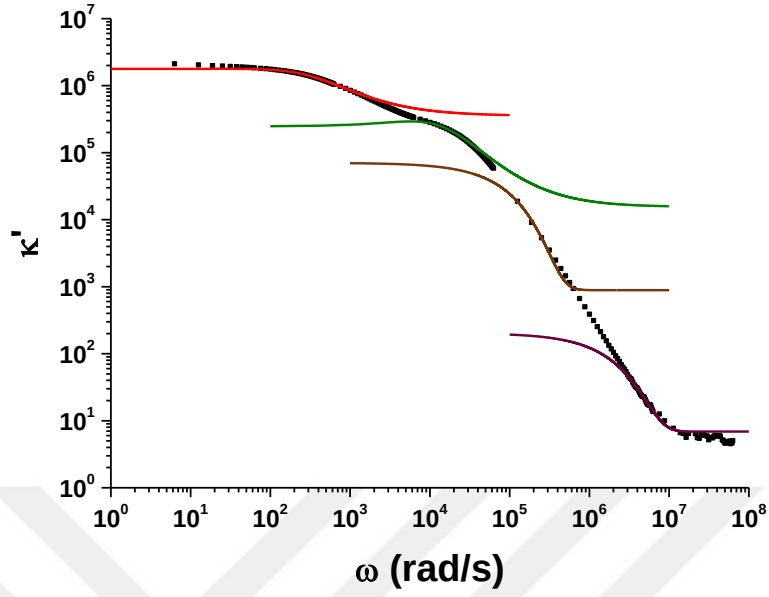
- Tüm örnekler için artan frekansla eksponansiyel azaldığı,
- Dielektrik sabiti değerlerinin son derece yüksek olduğu ve $10 - 17 \times 10^7$ arasında değıştiğı,
- Cole-Cole denklemleri kullanılarak relaksasyon bölgelerinin belirlendiğı,
- 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^2$ rad/s, $10^2 - 10^6$ rad/s ve $10^4 - 10^8$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 3 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 20 mg/l Rifampisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-2} - 10^3$, $10^{-1} - 10^4$, $10^3 - 10^5$, $10^4 - 10^6$, $10^5 - 10^6$, $10^5 - 10^7$ ve $10^6 - 10^8$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 7 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $1 - 10^3$, $10^3 - 10^6$, $10^4 - 10^6$, $10^6 - 10^8$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 4 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 150 mg/l Spektinomisin Antibiyotik Dirençli LBA4404 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^4$, $10^5 - 10^8$ ve $10^6 - 10^9$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 3 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 180 mg/l Spektinomisin Antibiyotik Dirençli LBA4404 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-2} - 10^5$, $1 - 10^5$, $10^4 - 10^7$ ve $10^5 - 10^8$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 4 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı görölmektedir.



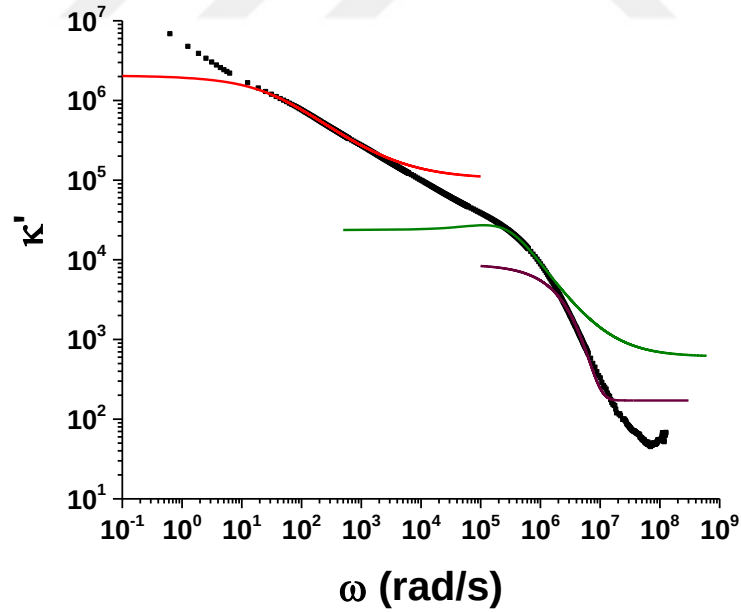
Şekil 4.6: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.



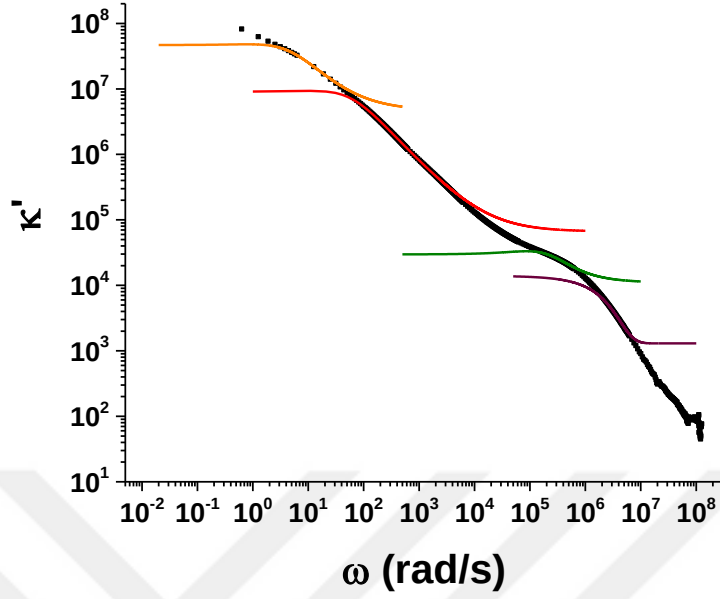
Şekil 4.7: p-Cambia plazmidine sahip, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.8: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.9: Pzp201 plazmidine sahip, 150 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı.



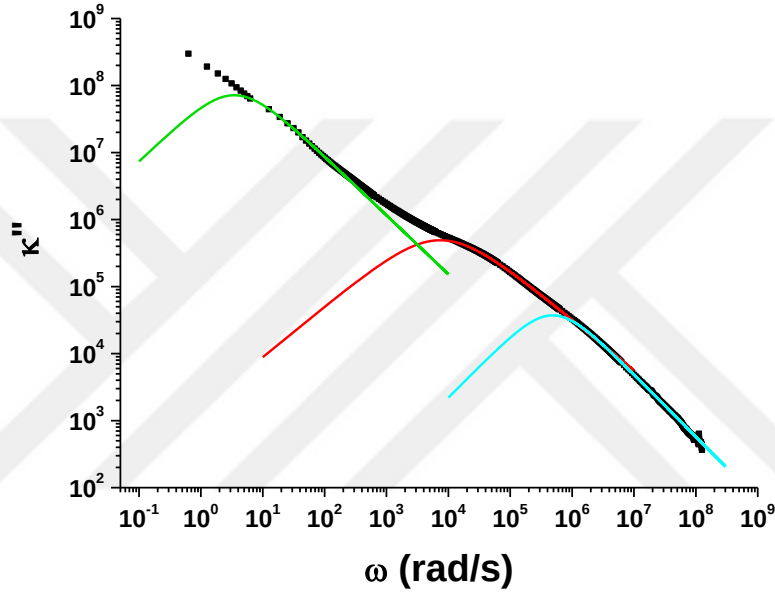
Şekil 4.10: Pzp201 plazmidine sahip, 180 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın kapasitesinin frekansa bağlı davranışı.

4.3 AGROBACTERIUM TUMEFACIENS SÜSPANSİYONLARIN DİELEKTRİK KAYBININ AÇISAL FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

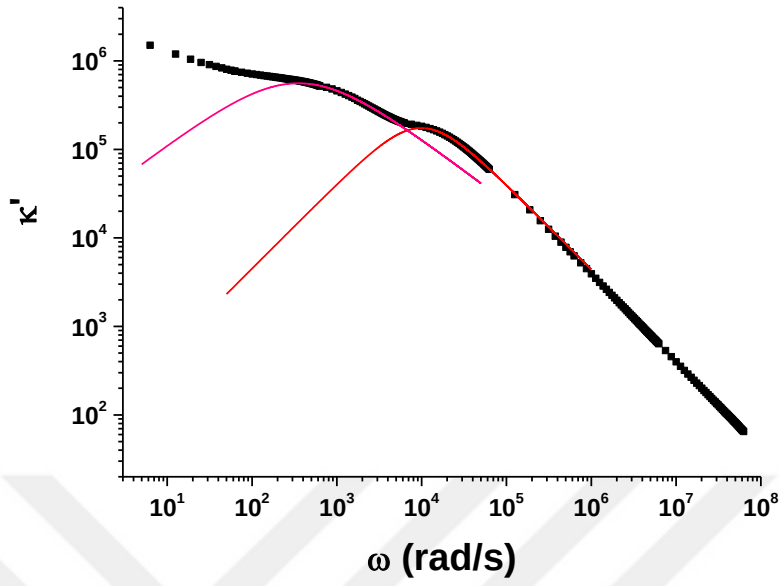
Agrobacterium Tumefaciens süspansiyonların dielektrik kaybın açısal frekansla değişimine bakıldığında;

- Tüm örnekler için artan frekansla eksponansiyel azaldığı,
- Cole-Cole denklemleri kullanılarak dielektrik sabitinde tespit edilen relaksasyon bölgelerine karşılık gelen kayıp piklerinin belirlendiği,
- 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^3$ rad/s, $10 - 10^6$ rad/s ve $10^4 - 10^9$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 3 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 20 mg/l Rifampisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10 - 10^5$ rad/s ve $10^2 - 10^7$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 2 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $1 - 10^4$ rad/s ve $10^2 - 10^7$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 2 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,

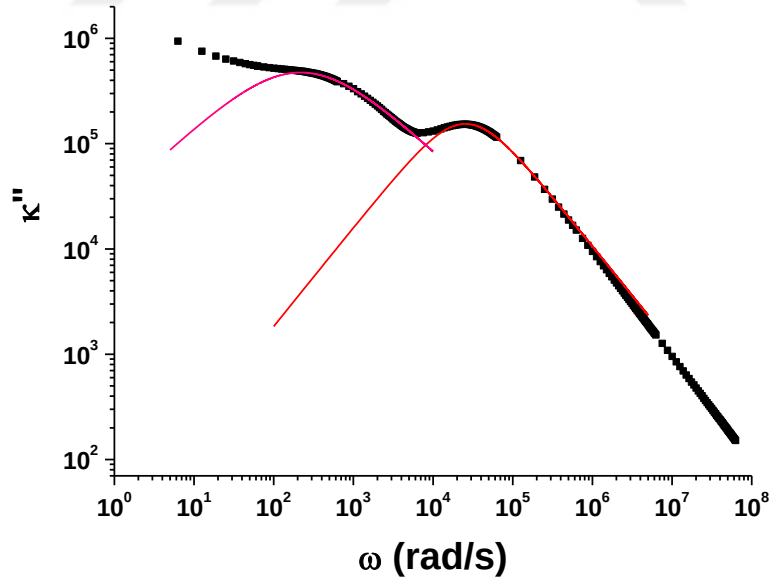
- 150 mg/l Spektinomisin Antibiyotik Dirençli LBA4404 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^3$ rad/s ve $10^4 - 10^8$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 2 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 180 mg/l Spektinomisin Antibiyotik Dirençli LBA4404 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $1 - 10^3$ rad/s ve $10^4 - 10^8$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 2 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı görülmektedir.



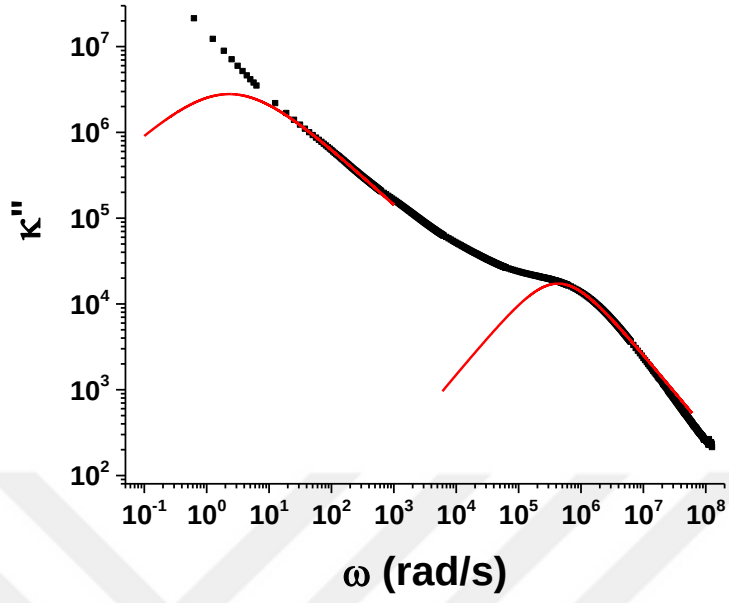
Şekil 4.11: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.



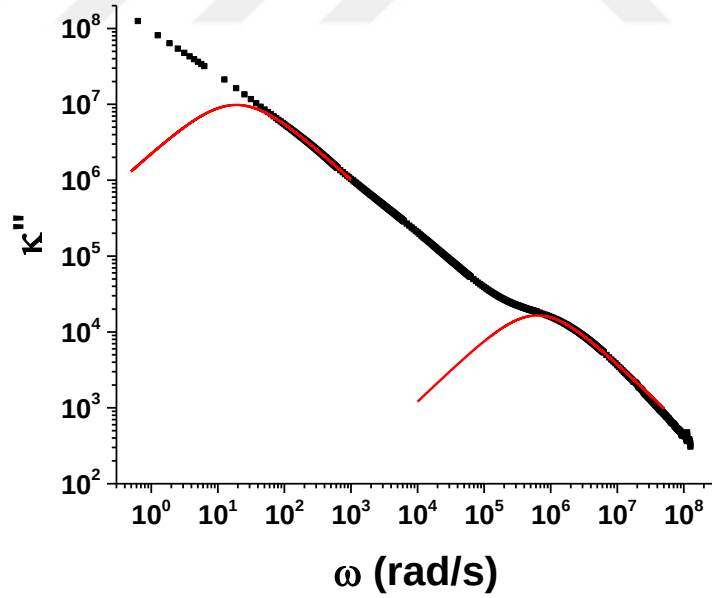
Şekil 4.12: p-Cambia plazmidine sahip, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı davranışı. dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.13: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.14: Pzp201 plazmidine sahip, 150 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.

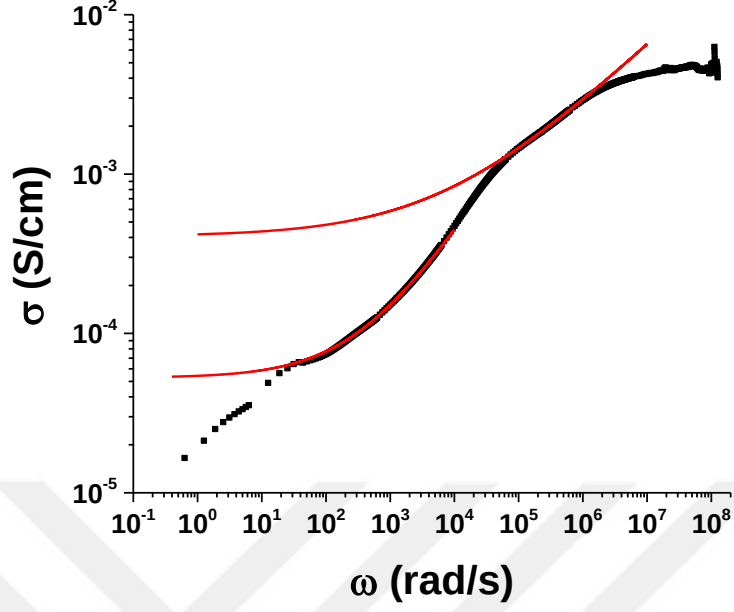


Şekil 4.15: Pzp201 plazmidine sahip, 180 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.

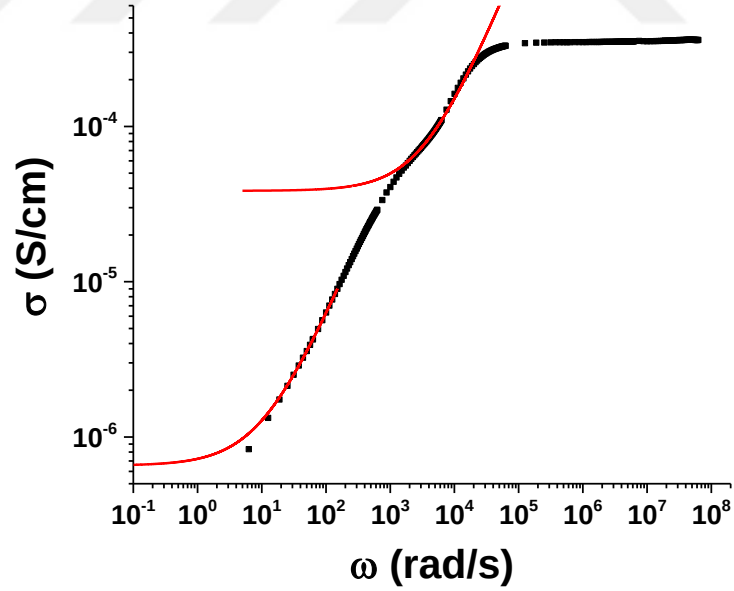
4.3 AGROBACTERIUM TUMEFACIENS SÜSPANSİYONLARIN İLETKENLİĞİNİN FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

Agrobacterium Tumefaciens süspansiyonların iletkenliğinin açısal frekansla değişimine bakıldığında;

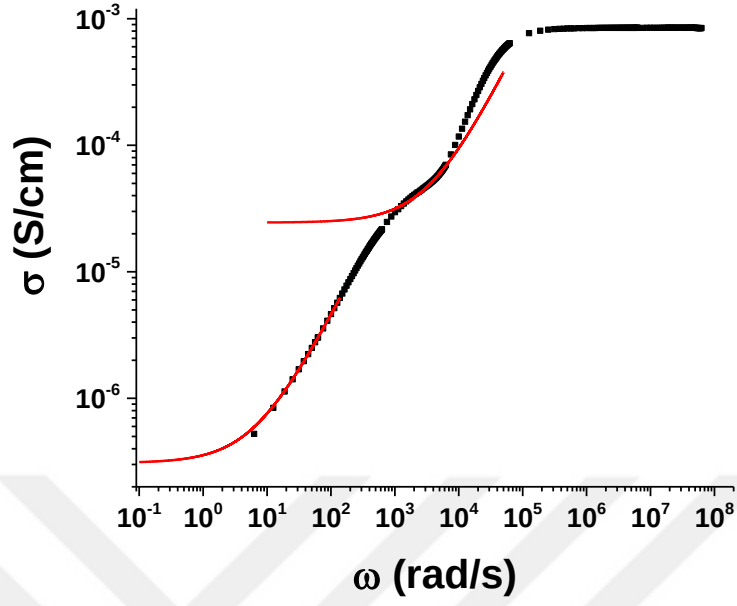
- Jonscher'in iletkenlik ifadesi $\sigma_{toplam} = \sigma_{DC} + \sigma_{AC} / \sigma_{toplam} = \sigma_{DC} + A\omega^s$ uyduğu ve bu ifade ile polarizasyon bölgelerinin belirlendiği,
- Frekansla değişenlik gösteren bölgelerin alternatif iletkenlik bölgesi (AC) ve frekanstan bağımsız bölgelerin DC iletkenlik bölgesi olduğu,
- 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^4$ rad/s ve $1 - 10^7$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 2 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 20 mg/l Rifampisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^2$ rad/s ve $1 - 10^5$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 2 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin Antibiyotik Dirençli AGL1 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^2$ rad/s ve $10 - 10^5$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 2 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 150 mg/l Spektinomisin Antibiyotik Dirençli LBA4404 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-2} - 1$ rad/s, $1 - 10^3$ rad/s ve $10^1 - 10^6$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 3 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- 180 mg/l Spektinomisin Antibiyotik Dirençli LBA4404 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-3} - 10$ rad/s, $1 - 10^4$ rad/s ve $10^2 - 10^6$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 3 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı,
- Ayrıca 150 mg/l Spektinomisin Antibiyotik Dirençli LBA4404 ve 180 mg/l Spektinomisin Antibiyotik Dirençli LBA4404 Türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* türlerinde dielektrik sabiti ve kayıp grafiklerinde daha düşük frekanslarda elde edilemeyen 3. polarizasyon bölgesi iletkenlik fitleri ile elde edildiği görülmektedir.



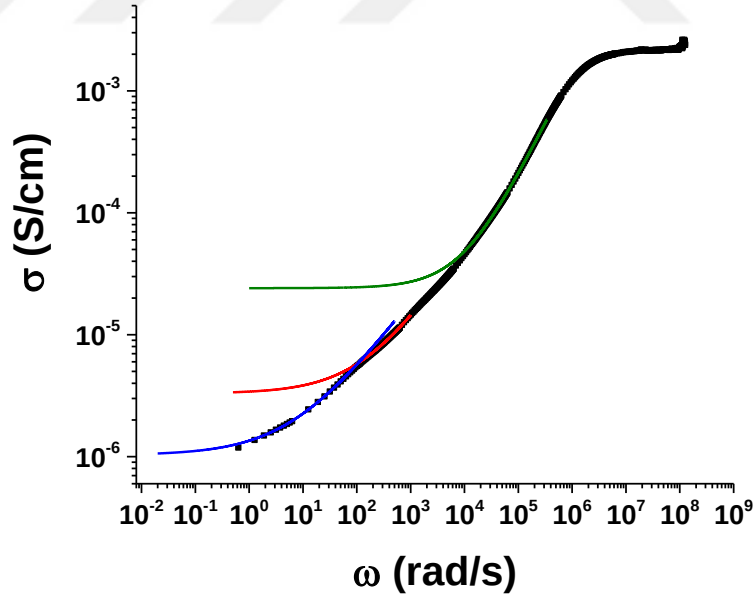
Şekil 4.16: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı.



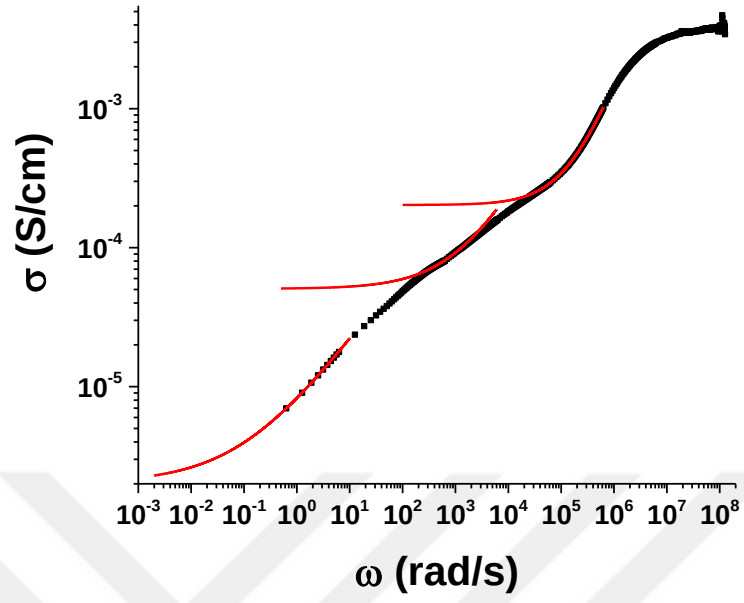
Şekil 4.17: p-Cambia plazmidine sahip, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik sabitinin frekansa bağlı iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.18: p-Cambia plazmidine sahip, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.19: Pzp201 plazmidine sahip, 150 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın dielektrik kaybının frekansa bağlı davranışı.



Şekil 4.20: Pzp201 plazmidine sahip, 180 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada, farklı antibiyotik ortamlarında bulunan *Agrobacterium Tumefaciens* süspansiyonların 1Hz-10MHz frekans aralığında kapasite ve kayıp ölçümleri yapılarak dielektrik sabiti ve enerji kaybı ile alternatif iletkenlik değerleri hesaplandı. Ölçülen ve hesaplanan sonuçların grafikleri çizilerek dielektrik cevapları incelendi.

Bir bakteri hücrelerini incelediğimizde, bakteri hücresinin kimyasal bileşiminin %80 i su ve %20 ise katı maddeden oluşmaktadır. Bu %20 lik katı madde kısmı hücre polimeri olarak adlandırılabilir ve protein, hücre duvarı, RNA, DNA ve lipidden oluşur. Hücre polimerini oluşturan bu yapıların %90 lık kısmını Karbon (C), Oksijen (O), Azot (N), Hidrojen (H) gibi organik bileşenler içermektedir. Şekil 4.1 ile Şekil 4.5 arasındaki farklı antibiyotik dirençlerine sahip örnekler için kapasitenin artan frekansla azaldığı görülmektedir. Bu durum bakteri hücresinin yapısı göz önüne alınarak açıklanabilir. Bakteri hücre duvarı çok sayıda polisakkaritler ve farklı organik bileşenlerde oluşmuş uzun polimer zincirleri olarak düşünülürse, düşük frekanslarda zincirin elektrik alanın değişimine cevap verebilmesi mümkün olurken, frekans arttıkça zincirin polarize olabilme kabiliyeti azalacaktır [51]. Artan frekans ile beraber, uzun zincirin etkisi azaldığından yapıdaki sitoplazmayı oluşturan su ve organik makromoleküllerin rotasyonel hareketlerinin etkin olması beklenir. Böylece, kapasite frekans azaldıkça azalmaktadır. Farklı antibiyotik direncine sahip örneklerin kapasite grafiklerinde relaksasyon bölgeleri farklılık göstermektedir. 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki ve 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 *Agrobacterium Tumefaciens* örneği için 3 relaksasyon bölgesi gözlenirken, 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneği için 2 relaksasyon bölgesi gözlenmektedir. Bunun sebebi, farklı antibiyotik dirençlerine sahip örneklerin yapılarındaki değişimler olduğu söylenebilir. Karbesilin DNA replikasyonunu, Kanamisin protein sentezini engelleyen bir antibiyotik türü iken Rifampisin RNA, nükleik asit sentezini engeller. Bu durum göz önüne alındığında, sadece Rifampisin antibiyotik dirençli örnek Kanamisin ve Karbesilin antibiyotik direncine sahip olmadığından yapıdaki DNA replikasyonu ve protein sentezi engelleneceği için hücre duvarında ve yapıda değişimler meydana gelmesinden dolayı yapıdaki polarlanabilen grupların sayısında değişimler yaşanacak ve bu polarlanabilen yapıların relaksasyon bölgeleri

diğer hakim relaksasyon bölgeleri tarafından perdelenecektir [52]. 150 mg/L ve 180 mg/L Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens*'ın örnekleri için ise 2 relaksasyon bölgesi gözlenmektedir. Relaksasyon bölgelerinin frekans aralıkları karşılaştırıldığında düşük frekanslarda gözlenen relaksasyon bölgesinin 80 mg/L Spektinomisin antibiyotik dirençli örnekte daha belirgin ve geniş frekans aralığında yerleşmiş olduğu görülmektedir. Bu durum, Spektinomisin antibiyotiğinin bakteri üremesini engellemesi özelliği ile ilişkilendirilebilir. 180 mg/L antibiyotik direncine sahip örnek için üremenin daha fazla olabileceği göz önünde bulundurulursa buna göre düşük frekans aralığında gözlenen relaksasyon bölgesinin 150 mg/L antibiyotik direncine sahip örneğe göre daha belirgin ve hakim olduğu ayrıca yapıda bulunan polarlanabilen varlıkların (kolonideki bakteri sayısının) sayısının fazla olması sonucuna varılabilir.

Şekil 4.6 ile Şekil 4.10 arasındaki farklı antibiyotik dirençlerine sahip örnekler için oda sıcaklığında dielektrik sabitinin artan frekansla azaldığı görülmektedir. Artan frekansla dielektrik sabitindeki azalma, kapasitenin frekansa bağlı davranışında olduğu gibi benzerdir ve aynı şekilde açıklanabilir. Dielektrik sabiti değerlerinin son derece büyük değerlerde gözlemlendiği ve bu değerlerin $10^9 - 10$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Kapasite- frekans grafiklerinde tespit edilen farklı mekanizmalara ait relaksasyon bölgeleri, dielektrik sabiti açısal frekans grafiklerinde daha ayrıntılı şekilde tespit edilmiş ve 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 4.6 incelendiğinde 200 mg/l Karbenisilin ve 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^2$ rad/s, $10^2 - 10^6$ rad/s ve $10^4 - 10^8$ rad/s değerleri arasındaki frekans bölgelerinde 3 farklı relaksasyon bölgesi tespit edilmiştir. İlk bölge, düşük frekanslarda elektrik alanın frekansına uyum sağlayabilen uzun bir zincir yapısının varlığı olarak düşünülerek hücre yapısının büyük bit kısmını oluşturan uzun lipopolisakkarit zincirlerine sahip dış zar tabakanın polarizasyonuna atfedilebilir. Orta frekans bölgesinde belirlenen ikinci relaksasyon bölgesi ise iç zar tabakası olarak adlandırılan fosfolipitlerden oluşan hücre duvarının polarizasyonu olarak düşünülebilir. Üçüncü relaksasyon bölgesi ise, hücrenin %80 ni oluşturan sudan dielektrik sabiti daha yüksek olarak derişik bir ortam olarak bildiğimiz sitoplazmanın polarizasyonuna atfedilebilir.

Şekil 4.7 incelendiğinde 20 mg/l Rifampisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin 7 relaksasyon bölgesi tespit edilmiştir. $10^{-2} - 10^3$ rad/s frekans aralığında tespit edilen relaksasyon bölgesi elektrot polarizasyonuna aittir. Dielektrik sabitin dev değerlerine ve düşük frekanslara karşı güçlü bir iletkenlik düşüşüne yol açan bu etki, iyonlar elektrotlara ulaştığında ve uzay-yük bölgesi olarak adlandırılan, örnek yüzeyinin hemen altında ince katmanlar halinde biriktiğinde ortaya çıkar. *Agrobacterium Tumefaciens* örneği yapısında bulundurduğu tuzlu ortamdan dolayı iyonlara sahip olduğu düşünülürse bu beklenen bir durumdur [53]. $10^{-1} - 10^4$ rad/s aralığındaki relaksasyon bölgesi şekil 4.6 da da belirtildiği gibi lipopolisakkarit zincirlerine sahip dış zar tabakanın polarizasyonudur. Yeni bir bölge olarak karışımıza çıkan $10^3 - 10^5$ rad/s aralığındaki relaksasyon bölgesi, gram negatif bakterilerde dış zar ve iç zar arasında bulunan periplazmik boşluğu oluşturan hücreyi çepeçevre saran bir tabaka halindeki peptidoglikanın polarizasyonu olarak düşünülebilir. Peptidoglikan aslında bir polisakkarittir ve yapısında iki farklı şeker türevidir ve az sayıda amino asit içerir. $10^4 - 10^6$ rad/s aralığındaki relaksasyon bölgesi ise yine bakterinin hücre yapısına katkı sağlayan iç zar tabakası olarak adlandırılan fosfolipitlerden oluşan hücre duvarının polarizasyonu olarak düşünülebilir [54]. $10^3 - 10^5$ rad/s aralığındaki relaksasyon bölgesi, gram-negatif bakterilerde seçici geçirgen davranış gösteren yapısında protein bulunduran porin yapısının polarizasyonuna atfedilebilir [52]. $10^5 - 10^7$ rad/s aralığındaki relaksasyon bölgesi, şekil 4.6 da olduğu gibi sitoplazmanın polarizasyonuna atfedilebilir.

$10^6 - 10^8$ rad/s aralığındaki relaksasyon bölgesi ise, bakterilerin beslenme ihtiyacının temelini oluşturan karbon ve bunu yanında azot, kükürt, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve demir gibi yapıda bulunan elementlerin polarizasyonuna işaret etmektedir [55].

Şekil 4.8 incelendiğinde, 200 mg/l Karbenisilin ve 100 mg/l Kanamisin antibiyotik dirençli AGL1 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $1 - 10^3$, $10^3 - 10^6$, $10^4 - 10^6$, $10^6 - 10^8$ rad/s değerleri arasında 4 relaksasyon bölgesi tespit edilmiştir. Bu relaksasyon bölgeleri sırasıyla; lipopolisakkarit zincirlerine sahip dış zar tabakanın polarizasyonu, peptidoglikanın tabakasının polarizasyonu, sitoplazmanın polarizasyonu ve karbon, azot, kükürt, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve demir gibi yapıda bulunan elementlerin polarizasyonudur.

Grafik 4.9 incelendiğinde, 150 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-1} - 10^4$, $10^5 - 10^8$ ve $10^6 - 10^9$ rad/s değerleri

arasındaki frekans bölgelerinde 3 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı tespit edilmiştir ve bunlar sırasıyla; lipopolisakkarit zincirlerine sahip dış zar tabakanın polarizasyonu, peptidoglikanın tabakasının polarizasyonu, sitoplazmanın polarizasyonudur.

Şekil 4.10 incelendiğinde, 180 mg/l Spektinomisin antibiyotik dirençli LBA4404 türündeki *Agrobacterium Tumefaciens* örneğinin $10^{-2} - 10^5$, $1-10^5$ rad/s, $10^4 - 10^7$, $10^5 - 10^8$ rad/s değerleri arasındaki sırasıyla elektrot polarizasyonu, lipopolisakkarit zincirlerine sahip dış zar tabakanın polarizasyonu, peptidoglikanın tabakasının polarizasyonu ve sitoplazmanın polarizasyonu olmak üzere 4 farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı tespit edilmiştir.

p-Cambia plazmidine sahip şekil 4.6 ile 4.8 arasındaki ve Pzp201 plazmidine sahip şekil 4.9 ve 4.10 örnekler incelendiğinde relaksasyon bölgelerinin antibiyotik direncine bağlı olarak yüksek frekanslara kaydığı ve bazı bölgelerin perdelendiği görülmüştür. Ayrıca relaksasyon zamanları artan frekansla azalmaktadır.

$$\omega\tau = 1$$

4.11-4.15 şekilleri arasında *Agrobacterium Tumefaciens* süspansiyonların 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 ve daha düşük sıcaklıklarda daha küçük molekül grupların polarizasyonlarının gözlenmesi beklenir. Dielektrik enerji kaybının verildiği grafiklerde görüldüğü üzere, incelenen frekans ve sıcaklık aralığında yapıda mümkün olan polarizasyon mekanizmaları, dielektrik sabitinde ayrıntılı olarak incelediğimiz gibi burada kayıp piklerinin Cole-Cole denklemi ile fit edilerek tespiti sağlanmıştır. Dielektrik kayıp grafikleri yapı içerisindeki mümkün polarizasyon mekanizmaları hakkında bilgi vermektedir. Bu kayıp piklerinin bulunduğu frekans aralıkları dielektrik sabitinde elde ettiğimiz relaksasyon bölgeleri ile örtüşmektedir.

4.16-4.20 şekilleri arasında *Agrobacterium Tumefaciens* süspansiyonların iletkenliğinin açısal frekansla değişimine incelendiğinde, alternatif iletkenlik, (5.2) denkleminde belirtildiği gibi frekansla doğru orantılıdır ve aşağıdaki denkleme göre fit edilerek iletkenlik bölgeleri tespit edilmiştir.

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

Değişken alan iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa 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. Bakteri yapısında bulunan karbon, hidrojen atomlarının yanısıra sitoplazma içerisinde bulunan tuzlu ortamın iletkenliğe katkısının olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Nikaido, H., 2003, Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited, *Microbiology and molecular biology reviews*, 67, 593.
- [2]. Ruiz, N., Kahne, D., Silhavy, T.J., 2006, Advances in understanding bacterial outer-membrane biogenesis, *Nature reviews microbiology*, 4, 57.
- [3]. Chang, C.H. and Winans, S.C., 1992, Functional roles assigned to the periplasmic, linker, and receiver domains of the *Agrobacterium Tumefaciens* VirA protein, *Journal of bacteriology*, 174 (21), 7033–7039.
- [4]. Fadel, M.A., Mohamed S., Abdelbacki A.M., 2017, Biophysical control of the growth of *Agrobacterium tumefaciens* using extremely low frequency electromagnetic waves at resonance frequency, *Biochemical and biophysical research communications*, 494, 365-371.
- [5]. Gelvin, S.B., 2009, *Agrobacterium* in the genomics age, *Plant physiology*, 150, 1665–1676.
- [6]. Chilton, M.D., Drummond, M.H., Merio, D.J., Sciaky, D., Montoya, A.L., Gordon, M.P., Nester, E.W., 1977, Stable incorporation of plasmid DNA into higher plant cells: the molecular basis of crown gall tumorigenesis, *Cell*, 11, 263-271.
- [7]. Murakoshi, S. and Takahashi, M., 1984, Trials of some control of tomato wilt caused by *pseudomonas solanacearum*, *Bulletin of the kanagawa horticultural experiment station*, 31, 50-56.
- [8]. Hartman, G. and Elphinstone, J., 1994, *Bacterial wilt: the disease and its causative agent, pseudomonas solanacearum*, CAB international, Wallingford, UK, ISBN: 987-3-642-08361-7.
- [9]. Lopez, M. and Biosca, E., 2004, *Bacterial wilt disease and the ralstonia species complex*, APS press, Minnesota, USA.
- [10]. Liang, Z., Cheng, Z., Mittal, G., 2006, Inactivation of spoilage microorganisms in apple cider using a continuous flow pulsed electric field system, *Food science and technology*, 39, 350-356.
- [11]. Inhan-Garip, A., Aksu, B., Akan, Z., Akakin, D., Ozaydın, A.N., San, T., 2011, Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on growth rate and morphology of bacteria, *International journal of radiation biology*, 12, 1-8.
- [12]. Fadel, M.A., El-Gebaly, R., Aly, A., Sallam, A., Sarhan, O., Eltohamy, H., 2010, Preventing of Ehrlich tumor metastasis in liver, kidney and spleen by electromagnetic field, *International journal of physical sciences*, 5, 2057-2065.

- [13]. Fadel, M.A., El-Gebaly, R., Hamad, A., 2017, Combination of bacteriolytic therapy with magnetic field for Ehrlich tumour treatment, *General physiology and biophysics*, 36, 259-271.
- [14]. Fadel, M.A., Ahmed, M.A., El Hag, M.A., 2009, Control of sclerotium cepivorum (Allium White Rot) activities by electromagnetic waves at resonance frequency, *Australian journal of basic and applied sciences*, 3, 1994-2000.
- [15]. Fadel, M.A., Mohamed, S., Abdelbacki, A.M., El-Sharkawy, A., 2014, Inhibition of Salmonella typhi growth using extremely low frequency electromagnetic waves at resonance frequency, *Journal of applied microbiology*, 117, 358-365.
- [16]. Fadel, M.A., Elgebaly, R., Elneklawi, M., Othman, A., 2016, Role of duty cycle on Pseudomonas aeruginosa growth inhibition mechanisms by positive electric pulses, *Bio-medical materials and engineering*, 27, 211-225.
- [17]. Gohlke, J. and Deeken, R., 2014, Plant responses to Agrobacterium tumefaciens and crown gall development, *Frontiers in plant science*, 5, 155.
- [18]. Höber, R., 1910, Eine methode die elektrische leitfähigkeit im innern von zellen zu messen, *Arch. ges. physiol.* 133, 237–59.
- [19]. Fricke, H., 1924, A mathematical treatment of the electrical conductivity of colloids and cell suspensions, *Journal of general physiology*, 6, 375–84.
- [20]. Fricke, H., 1924, A mathematical treatment of the electric conductivity and capacity of disperse systems: I. The electric conductivity of a suspension of homogeneous spheroids *Physical review journals*, 24, 575–87.
- [21]. Fricke, H., 1924, The electric conductivity of disperse systems, *Journal of general physiology*, 6, 741–6.
- [22]. Fricke, H., Morse, S., 1925, An experimental study of the electrical conductivity of disperse systems: I, *Physical review journals*, 25, 361–7.
- [23]. Fricke, H., 1925, A mathematical treatment of the electric conductivity and capacity of disperse systems: II. the capacity of a suspension of conducting membrane for a current of low frequency, *Physical review journals*, 26, 678–81.
- [24]. Fricke, H., 1925, The electric capacity of suspensions of a red corpuscles of a dog, *Physical review journals*, 26, 682-7.
- [25]. Fricke, H., 1925, The electric capacity of suspensions with special reference to blood, *Journal of general physiology*, 9, 137–52.
- [26]. Fricke, H., 1925, The electric resistance and capacity of blood for frequencies between 800 and 4.5 million cycles, *Journal of general physiology*, 9, 153–67.
- [27]. Fricke, H., 1931, The electric conductivity and capacity of disperse systems, *Physics*, 1, 106–15.

- [28]. Maxwell, J. C., 1954, *A treatise on electricity and magnetism*, Dover publications, New York.
- [29]. Fricke, H. and Curtis, H.J., 1935 The electric impedance of hemolyzed suspensions of mammalian erythrocytes, *Journal of general physiology*, 18, 821–36.
- [30]. Cole, K.S., 1928, Electric impedance of suspensions of spheres, *Journal of general physiology*, 12, 29–36.
- [31]. Cole, K. S., 1928, Electric impedance of suspensions of Arbacia eggs, *journal of general physiology*, 12, 37–54.
- [32]. Schwan, H.P., 1999, The practical success of impedance techniques from a historical perspective, *Annals of the new york academy of sciences*, 873, 1-12.
- [33]. Schwan, H.P., 1957, Electrical properties of tissue and cell suspensions, *Advances biological and medical physics*, 5, 147-209.
- [34]. Schwan, H.P., 1968, *Physical chemical techniques*, Academic press, New York, 6, ISBN: 9781483167404.
- [35]. Bai, W., Zhao, K.S., Asami, K., 2006, Dielectric properties of E. coli cell as simulated by the three-shell spheroidal model, *Biophysical chemistry*, 122, 136–142.
- [36]. Morgan, H., Sun, T., Holmes, D., Gawad, S., Green, N.G., 2007, Single cell dielectric spectroscopy, *Institute of physics publishing*, 40, 61–70.
- [37]. Zhang, C., Slater, L., Prodan, C., 2012, Complex dielectric properties of sulfate-reducing bacteria suspensions, *Geomicrobiology journal*, 30, 490–496.
- [38]. Ferrer, D.E, 2014, *Electric polarization properties of single bacteria measured with electrostatic force microscopy*, Thesis(PhD), Universitat de Barcelona.
- [39]. Fadel, M.A., El-Gebaly, R.H., Mohamed, S.A, Abdelbacki, A.M.M., 2017, Biophysical control of the growth of Agrobacterium tumefaciens using extremely low frequency electromagnetic waves at resonance frequency, *Biochemical and biophysical research communications*, 494, 365-371.
- [40]. Keller, F.J., Gettys, W.E., Skove, M.J., 2002, *Physics*, Literatür yayıncılık, İstanbul, ISBN: 975-7860-54-9.
- [41]. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., 2008, *Fundamentals of physics*, Wiley, New York, ISBN: 978-1-118-23072-5.
- [42]. Von Hippel, A.R. , 1995, *Dielectrics and waves*, Artech house print on demand, New York, ISBN:54-11020.
- [43]. Parto, M., 2010, *Talyum antimon disülfid ince filmlerinin elektriksel özellikleri*, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44]. Frohlich, H. , 1958, *Theory of dielectric*, Clarendon press, Oxford, ISBN: 0198513798.