



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

**POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİNİN DİELEKTRİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Onur POTOK

Fizik Anabilim Dalı

Genel Fizik Programı

**DANIŞMAN
Doç. Dr. H. Kemal ULUTAŞ**

Aralık, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 19.12.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Doç. Dr. Hulusi Kemal ULUTAŞ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fakülte



Prof. Dr. Merih SERİN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi,



Prof. Dr. Nevin KALKAN
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 aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana destek ve yardımcı olup, her türlü bilgi ve tecrübelerini paylaşan başta danışman hocam Doç. Dr. H. Kemal ULUTAŞ'a, Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ'a, Dr. Öğr. Üyesi Şahin YAKUT'a ve Öğr. Gör. Deniz BOZOĞLU PARTO'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte yanımda olan, beni destekleyen ve yardım eden İstanbul Üniversitesi'nde görev yapan öğretim elemanları ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca her zaman beni destekleyen ve güvenen sevgili aileme teşekkür ederim.

Aralık, 2019

Onur POTOK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. DİELEKTRİK ÖZELLİKLER.....	5
2.1.1. Dielektriksel Kutuplanma(Polarizasyon)	7
2.1.1.1. Elektronik Polarizasyon.....	11
2.1.1.2. İyonik Polarizasyon	11
2.1.1.3. Dipolar (Yönelimli) Polarizasyon.....	12
2.1.1.4. Arayüzey Polarizasyonu	13
2.1.2. Dielektriklerde Elektrik Alan ve Dielektrik Kayıp	14
2.1.3. Clausius-Mossotti Eşitliği	17
2.1.4. Debye Modeli	20
2.1.5. Argand Diyagramı ve Cole-Cole Modeli	22
2.1.6. Drude Modeli ve Alternatif İletkenlik	25
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	28
3.1. KAPLAMA HÜCRESİNİN HAZIRLANMASI	28
3.1.1. Taşıyıcı ve Flaman Seçimi ve Hazırlığı	28
3.1.2. Düşük Basınç Şartlarının Sağlanması	29
3.2. İNCE FİLM ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI.....	30
3.2.1. Üst ve Alt Elektrotların Hazırlığı	30
3.2.2. Malzemenin Hazırlanması.....	31
3.2.3. Kaplama Hızı ve Örnek Kalınlığının Belirlenmesi	32
3.3. ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYON.....	32
3.3.1. Dielektrik Spektroskopi Ölçümü.....	32
4. BULGULAR.....	33

4.1. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLİ POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİN DİELEKTRİK SABİTİNİN AÇISAL FREKANSA BAĞLI DAVRANIŞI	33
4.2. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLİ POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİN DİELEKTRİK KAYBININ AÇISAL FREKANSA BAĞLI DAVRANIŞI.....	35
4.3. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLİ POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİN ALTERNATİF İLETKENLİKLERİNİN AÇISAL FREKANSA BAĞLI DAVRANIŞI.....	38
4.4. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLİ POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİN FARKLI FREKANSLARDA DİELEKTRİK SABİTİNİN KALINLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI.....	41
4.5. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLİ POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİNİN SABİT FREKANSTA DİELEKTRİK KAYBININ KALINLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI.....	44
4.6. SAF VE KATKILI PEO İNCE FİMLERİN SABİT KALINLIĞA DİELEKTRİK SABİTİNİN MOLEKÜL AĞIRLIĞINA BAĞLI DAVRANIŞI.....	46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	47
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: (a) Doğrusal polimer yapısı (b) Dallanmış polimer yapısı (c) Çapraz bağlı (Ağ) polimer yapısı.....	2
Şekil 1.2: Etilen Oksit ve Polietilen Oksit (PEO) molekül yapısı.	3
Şekil 2.1: Boşluk (hava) kondansatörü.	5
Şekil 2.2: Kondansatör plakaları arasındaki elektrik alan çizgileri.....	6
Şekil 2.3: Dielektrik kondansatörü.....	7
Şekil 2.4: Dipol moment yapısı.....	8
Şekil 2.5: Elektriksel dipolün elektrik alan altında davranışı.	8
Şekil 2.6: Elektrik alan yokken ve dış elektrik alan altında dipollerin dağılımı.	9
Şekil 2.7: Boşluk ve dielektrikli kondansatörlerde seçilen gauss yüzeyi.....	10
Şekil 2.8: Elektronik polarizasyon.	11
Şekil 2.9: İyonik polarizasyon.....	12
Şekil 2.10: Dipolar (Yönelimli) polarizasyon.	13
Şekil 2.11: Arayüzey (Yüzeylerarası) polarizasyon.....	13
Şekil 2.12: (a) Boşluk kapasitöründe fazör diyagramı, (b) Dielektrikli kapasitörün fazör diyagramı.	16
Şekil 2.13: Dielektrikteki Yerel Alan.....	18
Şekil 2.14: Debye Rölaksasyon Grafikleri.....	22
Şekil 2.15: Debye Rölaksasyonu.....	23
Şekil 2.16: Cole-Cole Rölaksasyonu.....	24
Şekil 3.1: (a) Rotary pompası, (b) Difüzyon pompası, (c) Turbo-moleküler pompa.....	30
Şekil 3.2: Örnek kaplama sistemi.	31
Şekil 4.1: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=4000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik sabitinin açısıl frekansa bağlı davranışı.	33

Şekil 4.2: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik sabitinin açısai frekansa bağıli davranışı.	34
Şekil 4.3: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik sabitinin açısai frekansa bağıli davranışı.	35
Şekil 4.4: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=4000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik kaybının açısai frekansa bağıli davranışı.	36
Şekil 4.5: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik kaybının açısai frekansa bağıli davranışı.	37
Şekil 4.6: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik kaybının açısai frekansa bağıli davranışı.	38
Şekil 4.7: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=4000$ g/mol alternatif iletkenliğinin açısai frekansa bağıli davranışı.	39
Şekil 4.8: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin alternatif iletkenliğinin açısai frekansa bağıli davranışı.	40
Şekil 4.9: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin alternatif iletkenliğinin açısai frekansa bağıli davranışı.	41
Şekil 4.10: PEO $M_A=4000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik sabitinin kalınlığa bağıli davranışı.	42
Şekil 4.11: PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik sabitinin kalınlığa bağıli davranışı.	43
Şekil 4.12: PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik sabitinin kalınlığa bağıli davranışı.	43
Şekil 4.13: PEO $M_A=4000$ g/mol dielektrik kaybının farklı frekanslarda dielektrik sabitinin kalınlığa bağıli davranışı.	44
Şekil 4.14: PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik kaybın kalınlığa bağıli davranışı.	45
Şekil 4.15: PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik kaybın kalınlığa bağıli davranışı.	45
Şekil 4.16: 250 nm kalınlığındaki PEO ince filmlerinin farklı frekanslarda katkı oranına bağıli davranışı.	46

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 momenti
$\vec{P}$	: 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

Kısaltmalar	Açıklama
AC	: Alternating Current
BDS	: Broadband Dielectric Spectroscopy
DC	: Direct Current
DSC	: Differential Scanning Calorimetry
ESI	: Electrospray Ionization
FTIR	: Fourier-Transform Infrared Spectroscopy
MALDI	: Matrix-Assisted Laser Desorption and Ionization
MAPLE	: Matrix-Assisted Pulsed Laser Evaporation
PEG	: Polyethylene Glycol
PEO	: Polyethylene Oxide
PLD	: Pulsed Laser Deposition
PVD	: Physical Vapor Deposition
PVP	: Polyvinylpyrrolidone
QCM	: Quartz Crystal Microbalance
SPE	: Solid Polymer Electrolyte
TEM	: Transmission Electron Microscopy
UV-vis	: Ultraviolet-Visible Spectroscopy
XPS	: X-Ray Photoelectron Spectroscopy
XRD	: X-Ray Diffraction

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİNİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Onur POTOK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. H. Kemal ULUTAŞ

Bu çalışmada üç farklı moleküler ağırlığa sahip polietilen oksit (PEO) ince filmler termal buharlaştırma yöntemi ile elde edildi. Örnek kalınlıkları her bir moleküler ağırlık için 20, 100, 250 ve 500 nm olarak belirlendi. Örneklerin kapasite (C) ve kayıp faktörü ($\tan\delta$) ölçümleri oda sıcaklığında ve 1 Hz - 20 MHz frekans aralığında dielektrik spektroskopi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan faydalanarak dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve alternatif iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Bu örneklerin dielektrik özelliklerinin kalınlık, frekans ve molekül ağırlığına bağlı davranışı incelenerek, yapıdaki mümkün polarizasyon mekanizmaları belirlenmiştir.

Aralık 2019, 62 sayfa.

Anahtar kelimeler: Polietilen oksit, polarizasyon, dielektrik spektroskopi, ince film, alternatif alan iletkenliği, iletkenlik mekanizmaları.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF DIELECTRIC PROPERTIES OF POLYETHYLENE OXIDE THIN FILMS

Onur POTOK

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. H. Kemal ULUTAŞ

In this study, polyethylene oxide (PEO) thin films having three different molecular weights were obtained by thermal evaporation method. Sample thicknesses were determined as 20, 100, 250 and 500 nm for each molecular weight. Capacity (C) and loss factor ($\tan\delta$) measurements of the samples were carried out by dielectric spectroscopy at room temperature and frequency range of 1 Hz - 20 MHz. Dielectric constant, dielectric loss and alternative conductivity values were calculated by using the obtained results. Thickness, frequency and molecular weight behavior of dielectric properties of these samples were investigated and possible polarization mechanisms in the structure were determined.

December 2019, 62 pages.

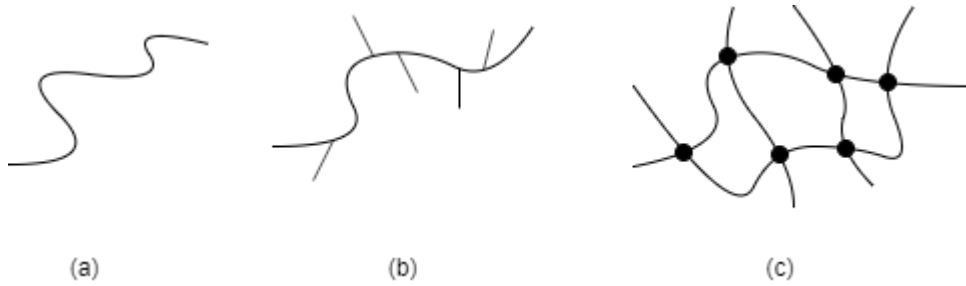
Keywords: Polyethylene oxide, polarization, dielectric spectroscopy, thin film, alternating field current, conductivity mechanisms.

1. GİRİŞ

Endüstride ve insanın yaşamında önemli yer tutan polimerik maddeler çok değişik yapılar ve özellikler gösterir. Polimerler, çok yönlü bir malzeme sınıfıdır. Özellikleri farklı polimerler için bazen farklı fiziksel durumda aynı polimer çok farklı değerlere sahiptir. Elektriksel iletkenlik polimerler için 10^{-18} ile 10^4 S/m arasında olabilir. İki değer arasında 10^{22} katı fark vardır [1]. DNA yapısında bile bulunan polimerler, kauçuk, plastik, reçine, yapıştırıcı, ilaç, gıda, giyim, iletişim, otomotiv, dielektrik kapasitörü, mikrodalga aygıtlarda dielektrik malzeme veya mikroelektronik endüstrisi gibi birçok uygulama alanında kullanılabilirler [2]. Bu kadar fazla kullanma alanı olmasının sebepleri arasında kolay elde edilmesi, mekanik özelliklerinin yeterli, kolay şekillendirilebilir, hafif ve ucuz olması sayılabilir [3].

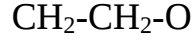
Polimeri oluşturan en küçük tekrar eden birim monomer olarak adlandırılır. Bir veya birden fazla monomerin polimerizasyon sonucu bir araya gelerek oluşturduğu yapılara polimer denir [4,5]. Monomerler, polimerizasyon esnasında birbiri ile kovalent bağ yaparak polimeri oluştururlar. Bu bağların oluşturduğu zincir kısa veya uzun, karmaşık veya düzenli olabilir. Polimerin fiziksel veya kimyasal özellikleri monomer ile dolayısıyla ana zincir ile doğrudan ilişkilidir. Yapının polimer olabilmesi için eklenen veya çıkartılan monomerin fiziksel özelliği değiştirmemesi gerekir. Eğer değişiyorsa bu tarz yapılar oligomer olarak adlandırılır. Polimerler farklı şekillerde sınıflandırılabilirler [1]. *Homopolimer*, tek bir monomer çeşidinden oluşan polimerlerdir. Saf durumda polietilen (PE), polivinil klorür (PVC) gibi polimerler örnek verilebilir. *Kopolimer*, zincirinde birden fazla farklı monomer çeşidi bulunan polimerlerdir. Stiren akrilonitril (SAN), stiren bütadien kauçuğu (SBR) polimerleri örnek verilebilir. Eğer ana zincir iki değil de üç farklı monomerden oluşuyorsa bu tip polimerlere terpolimer adı verilir. *Doğal polimerler*, doğada ve canlıların yapılarında bulunan polimerlerdir. Selüloz, nişasta gibi polimerler örnek verilebilir. Bunların dışında canlılık fonksiyonlarını yerine getiren protein, DNA, RNA gibi yapılar da polimer sınıfına girer ve bunlara biyopolimer denir. *Yarı-sentetik polimerler*, doğal polimerlerin yapıları değiştirilerek elde edilen polimerlerdir. Selüloz asetat, selüloz nitrat gibi polimerler bu sınıfa girer. *Yapay(Sentetik) polimerler*, gerekli monomerler ve tepkimeler kullanarak üretilen polimerlerdir. Polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP) gibi polimerler örnek verilebilir. *Organik polimerler*, ana zincirlerini oluşturan monomerlerde karbon atomları bulunan polimerlerdir. *İnorganik polimerler*, ana

zincirlerinde karbon atomu bulunmayıp silisyum, fosfor, kükürt gibi atomlar bulunan polimerlerdir. Polimerler yapılarına göre, doğrusal, dallanmış veya çapraz bağlı (ağsı) polimerler olarak adlandırılır. Bu yapılar Şekil 1.1’de gösterildiği gibi olup üç boyutlu olarak düşünmek gerekir. Son yıllarda bunlardan daha karmaşık yapılar olduğu ortaya çıkmıştır. *Doğrusal polimerler*, yapıları ana zincir ve buna bağlı yan gruplardan oluşan polimerlerdir. Bunlar çözücüler yardımıyla ayrıştırılabilir veya ısı verilerek eritilip tekrar şekillendirilebilirler. *Dallanmış polimerler*, bunlar ana zincir, buna bağlı yan dallar(zincirler) ve yan dallara bağlı yan gruplardan oluşurlar. Doğrusal polimerlerin özelliklerine benzer özellik gösterirler. *Çapraz bağlı polimerler*, bunlar çapraz bağların yoğun olmasından dolayı ağsı ya da ağ yapılı polimerler olarak da adlandırılır. Bu ağları oluşturan zincirler arasında kovalent bağlar bulunur. Bu yüzden tek bir molekül gibi düşünülebilir. Ağ yapılı polimerler çözünmezler sadece uygun çözücüler ile belli bir oranda şişerler. Bu polimerlerde çapraz bağların yoğunluğu önemlidir. Polimerler ısıya bağlı olarak termoplastikler, elastomerler veya termosetler olarak ayrılırlar. *Termoplastikler*, kullanılan polimerler külçe(bulk) formundadır. Bunlar lineer veya dallanmış moleküller içerir ve ısıtıldıklarında yumuşar veya erirler. Yani bunlar ısıtılarak tekrar tekrar şekillendirilebilir. *Elastomer veya kauçuklar*, ağsı yapıda, hafif çapraz bağlıdır. Isıtılırlarsa alışılagelmiş düşüncenin aksine çapraz bağlar yüzünden erimezler. *Termosetler*, ağsı yapıda, üç boyutlu ağ yoğunluğu ile yüksek çapraz bağa sahiptir. Bunlar normalde sert yapıdadır ve ısıtılmayla erimezler. Eğer sıcaklık yeterince yüksek olursa bozulurlar [1].

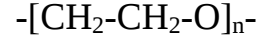


Şekil 1.1: (a) Doğrusal polimer yapısı (b) Dallanmış polimer yapısı (c) Çapraz bağlı (Ağ) polimer yapısı.

Çalışmamızda kullanılan Polietilen oksit (PEO) organik bir polimerdir. PEO yapısı çok fazla etilen oksit grubunun belirli koşullarda kovalent bağ yaparak bir araya gelmesi ile oluşur [6, 7].



Etilen Oksit



Polietilen Oksit

Şekil 1.2: Etilen Oksit ve Polietilen Oksit (PEO) molekül yapısı.

PEO, zayıf mekanik ve düşük iyonik iletkenliğine karşı, kir tutmama, esneklik, yüksek elektrokimyasal ve termal kararlılığa sahip, oda sıcaklığında yarı-kristalin yapıdadır. Amorf veya kristalin yapısına dönebilen oldukça kullanışlı bir polimerdir. Geniş molekül ağırlığı aralığında ve kolay elde edilebilir. Bu polimerler, amfipatik ve organik çözücüler (metilen klorür, etanol, toluen, aseton ve kloroform gibi) kadar suda da iyi çözünür. Düşük molekül ağırlığına sahip ($M_n < 1,000$) polietilen oksitler viskoz ve renksiz sıvılardır. Yüksek molekül ağırlıklı olanlar ise mumsu, beyaz katılardır ve molekül ağırlığına bağlı olarak erime noktası 67°C limitindedir. Katı polimer elektrolitlerde (SPE) tuz katkılanarak lityum bataryalarda, toksik olmadığından ve su ile çözündüğünden biyomedikal uygulamalarda ve çeşitli yerlerde geniş kullanım alanına sahiptir [8-15].

Choukourov ve diğ. plazma destekli buharlaştırma yöntemi ile farklı plazma gücünde PEO örnekleri kütle spektroskopisi, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve FTIR analizi gibi analiz yöntemleri ile incelemişlerdir [16]. Yakut ve diğ. plazma destekli termal buharlaştırma yöntemi ile elde ettikleri 500nm kalınlığında plazma polietilen oksit (pPEO) ince filmlerin DSC, BDS analizlerini farklı sıcaklık ve plazma gücüne bağlı olarak almışlardır [7].

Bubb ve diğ. molekül ağırlığı 1400 olan PEG örnekleri MAPLE ve PLD olmak üzere iki farklı yöntem ile NaCl plakası, Si (111) taşıyıcı ve cam taşıyıcılar üzerinde elde edip FTIR, ESI, MALDI analizlerini yapmışlardır [17]. Kumar ve diğ. solüsyon dökme metodu ile hazırladıkları NaF tuzu katkılı PEO ve PVP elektrolit filmleri XRD, FTIR, UV-vis yöntemleri ile incelemişlerdir. Elektriksel iletkenlikleri empedans cihazı ile 1 Hz - 1 MHz frekans ve 303 - 348 K sıcaklık aralığında almışlardır [13]. Sajid ve diğ. hazırladıkları polietilen oksit solüsyonlarını elektrohidrodinamik atomizasyon (EHDA) yöntemi ile ince film halinde elde edip, bu örneklerin morfolojik, kimyasal ve elektriksel cevaplarını incelemişlerdir. Sonuçta amorf PEO ince filmlerinin genel ve özel uygulamalar için yüksek hassasiyette, düzgün, stabil ve hızlı nem sensörleri olarak üretmek için ideal olduğunu söylemişlerdir [18]. Freeda ve diğ. polietilen oksit ve sodyum bikarbonat solüsyonunu farklı oranlarda çözücüler (su ve metanol)

ile hazırlayıp cam taşıyıcı üzerinde spin kaplama yöntemi ile filmler elde etmişlerdir. Optik ve elektriksel davranışlarını inceleyip optik sabitlerini belirlemişlerdir [19]. Manoravi ve diğ. lazer biriktirme yöntemi ile saf ve zirkonyum dioksit (ZrO_2) katkılı PEO ince filmleri farklı moleküler ağırlıklarda elde etmişlerdir. Kızılötesi spektroskopisi (IR), x-ışını difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskobu analizlerini yapmışlardır [20]. Fahmy ve diğ. elektrosprey iyonizasyon biriktirme tekniği (ESI-ESD) ile ürettikleri Ag-PEG nanokompozit filmlerin özelliklerini ve bunların biyolojik uygulanabilirliklerini karakterize etmişlerdir. Gümüş nanoparçacıkların oluşumunu UV-vis, FTIR ve TEM ile inceleyip filmlerin yüzeyindeki fonksiyonel grupları ve kimyasal bileşimlerini XPS ile tanımlamışlardır. Ürettikleri kolloid ve filmleri, yapısına ve patojenik mikroorganizmalara karşı aktivitelerine bağlı olarak karşılaştırmışlar [21]. Kuang ve diğ. farklı moleküler ağırlıklara sahip polietilen glikol filmlerin, pozitron yok etme karakterizasyonunu ve ince yapısal analizlerini değişken tek enerjili yavaş pozitron ışınları (DBES-Doppler broadening energy spectroscopy) ve CDB(coincidence Doppler broadening) yöntemleri ile yapmışlardır [22]. Martínez-Tong ve diğ. 200 nm polietilen oksit yarı kristal ince filmlerin amorf fazındaki iyonik iletkenliğini atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve nanodielektrik spektroskopisi(nDS) yöntemleri ile karakterize etmişlerdir. Nanodielektrik spektroskopisi yöntemi ile ince filmlerin lokal dielektrik fonksiyonunu ve bunun film hazırlama koşullarına nasıl bağlı olduğunu araştırıp bu koşullara bağlı belirgin farklar gözlemlemişlerdir [23].

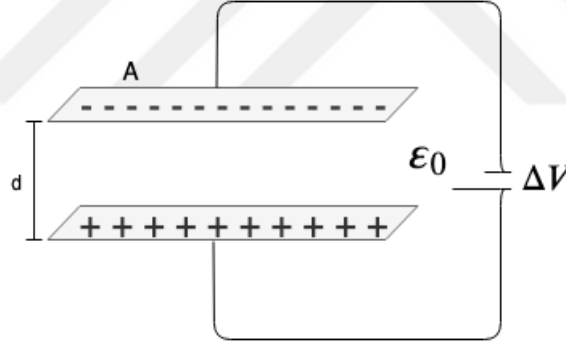
Literatürde farklı katkı, kalınlık, yöntem ile elde edilen polietilen oksit örneklerin mekanik, morfolojik, elektriksel özellikleri incelenmiştir. Ancak PEO ince film, farklı moleküler ağırlıklardaki PEO ince film ve bunların dielektrik spektroskopisi çalışmaları bulunmamaktadır. Bu eksikliği gidermek ve farklı katkılarda bulunmak amacıyla, PEO granüllerden termal buharlaştırma yöntemi ile farklı kalınlık(20-500nm) ve moleküler ağırlığına sahip PEO ince filmlerin dielektrik özelliklerini oda sıcaklığında ve 1Hz- 20MHz frekans aralığında Novocontrol Alpha-A Dielectric/Empedance Analyzer cihazı ile belirleyip, yapıdaki polarizasyon ve iletkenlik mekanizmalarını incelemeye çalıştık.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. DİELEKTRİK ÖZELLİKLER

Dielektrik, elektriksel olarak yalıtkan, dış elektrik alan altında yük depolayabilen, yüksek polarlanma kabiliyetine sahip malzemelerdir. Bir devrede meydana gelen sızıntı akımlarını önlemek, yüksek performansa sahip malzeme ve cihazların üretilebilmesi için malzemelerin dielektrik özelliklerinin farklı sıcaklık ve frekans koşullarında ölçülmesi önemlidir. Dielektrik özellikler, empedans analiz cihazıyla ölçülen kapasite ve kayıp faktörü parametreleri ile sağlanır.

Kapasite, bir sistemin yüklenebilmesinin ölçüsüdür. Sistem dediğimiz şey basitçe kondansatör yapısıdır. Kondansatör, farklı geometrik yapılara sahip olabileceği gibi bizim ele alacağımız yapı, iki iletken paralel plakadan oluşan plakalar arasına potansiyel fark uygulandığında yük depolayabilen sistemdir.



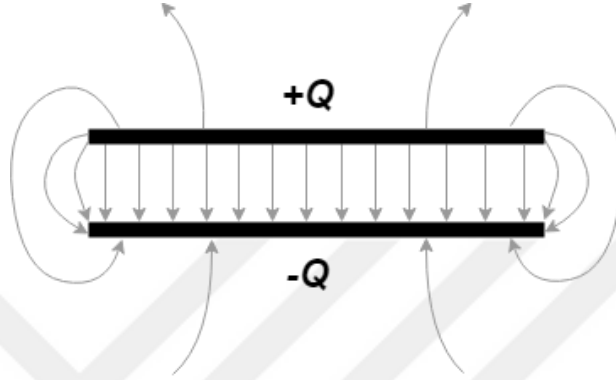
Şekil 2.1: Boşluk (hava) kondansatörü.

Bu durumda kapasite, kondansatörün fiziksel özelliklerine bağlıdır.

$$C_0 = \frac{Q}{\Delta V} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.1)$$

Buradaki büyüklükler ve birimler, depolanan yük(Q) Coulomb, uygulanan potansiyel fark(ΔV) Volt ve kapasite(C_0) Farad'dır. Uygulanan potansiyel farkı artırıp depolanan yük miktarının da buna bağlı olarak devamlı artacağını söylemek yanlış olur, bu artışın bir sınırı vardır. Bunun dışında, plakaların yüzey alanı(A) ve plakalar arası uzaklık(d) kapasitenin değerini belirleyen

faktörlerdir. Kondansatör plakaları arasında boşluk permitivitesi(ϵ_0) $8,85 \times 10^{-12}$ F/m'dir. Kondansatör yapısında dikkat edilmesi gereken nokta paralel plakaların, plakalar arası uzaklıktan oldukça büyük olması gerektiğidir($A \gg d$). Bunun sebebi plakalar arasında düzgün bir elektrik alanının oluşmasını sağlamak ve kenarlarda oluşacak düzgün olmayan elektrik alanı en aza indirmektir.

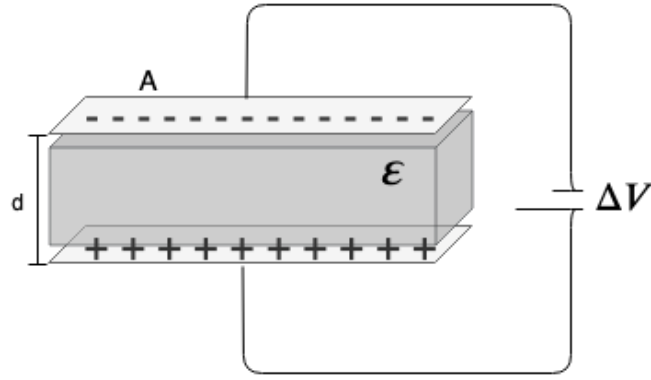


Şekil 2.2: Kondansatör plakaları arasındaki elektrik alan çizgileri.

Plakalar arasına dielektrik malzeme koyduğumuzda potansiyel farkta bir azalma meydana gelir. Bu azalma malzeme ile plakalar arasındaki yüklerin etkileşip birbirlerini nötrlemesinden kaynaklanır. Sonuçta plakalar arasındaki potansiyel fark uygulanan potansiyel farka eşitlenene kadar bir miktar daha yüklenmeye devam eder. Bu sayede kondansatör daha fazla yüklenmiş olur.

$$\Delta V = \frac{\Delta V_0}{\epsilon} \quad (2.2)$$

Boşluk kondansatöründeki potansiyel fark ΔV_0 olmak üzere, uygulanan potansiyel farktaki azalma dielektrik sabiti(ϵ) ile orantılıdır.



Şekil 2.3: Dielektrik kondansatörü.

Bu durumda kondansatörün geometrisi değiştirilmeden daha fazla yüklenmesi sağlanmış olur.

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

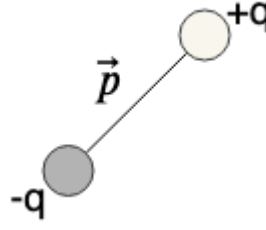
$$C = \frac{Q_0}{\frac{\Delta V_0}{\epsilon}} = \epsilon \frac{Q_0}{\Delta V_0} = \epsilon C_0 \quad (2.4)$$

Burada C dielektrikli kapasitörün kapasitansıdır.

2.1.1. Dielektriksel Kutuplanma(Polarizasyon)

Bir dielektrik malzeme bir elektrik alan içine konulursa elektrik alan şiddetinden bağımsız fakat frekansa bağlı olarak sonsuz küçük değişime uğramasına polarizasyon denir. Bu kutuplanmalar malzemenin yapısına bağlı olarak farklı şekillerde meydana gelir. Bunlar, elektronik, iyonik(atomik), dipolar(yönelim) ve arayüzey(uzay-yük) polarizasyonu olarak ayrılırlar. Malzemenin türüne göre sahip olduğu polarizasyon mekanizmaları farklı olabilir, tüm mekanizmaları içerebilir ya da içermeyebilir.

Dipollerden oluşan bir dielektrik malzemeyi gözönüne alalım. Dipol, eşit ve zıt iki yükün oluşturduğu yapıdır.

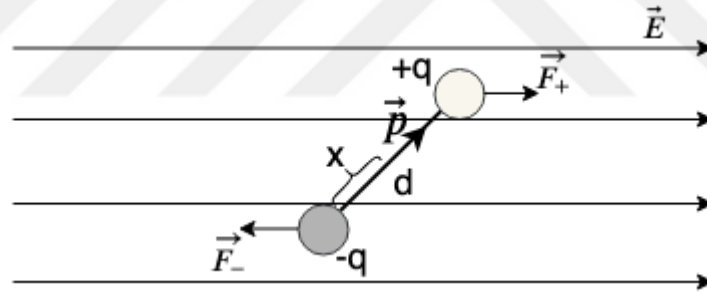


Şekil 2.4: Dipol moment yapısı.

Şekilde basit bir dipol yapısı verilmiştir. Elektrik dipol momenti($\vec{p}$) vektörel bir büyüklük olup negatif yükten pozitif yüke doğrudur.

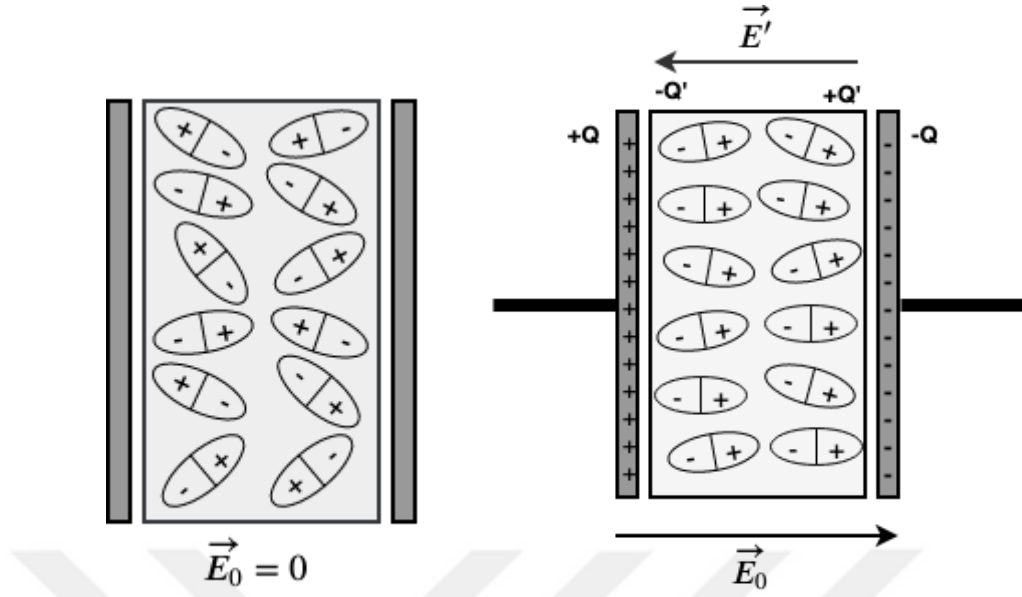
$$p = qd \quad (2.5)$$

Denklemden dipol moment vektörü($\vec{p}$), her bir yükün büyüklüğü q ve yükler arası uzaklık d ile verilmiştir.



Şekil 2.5: Elektriksel dipolün elektrik alan altında davranışı.

Şekilde elektrik alan altında bir dipole etki eden kuvvetler gösterilmiştir. Bu kuvvetlerin etkisi ile dipol yüklerin birbirine eşit uzaklıktaki bir noktada dönecektir. Bu dipollerin dönmesi ile kondansatör içerisinde indüklenmiş elektrik alan oluşur.



Şekil 2.6: Elektrik alan yokken ve dış elektrik alan altında dipollerin dağılımı.

Yukarıda sözünü ettiğimiz dielektrikli kondansatörün daha fazla yüklenmesi Gauss Yasası ile daha iyi açıklanabilir. Boşluk kapasitöründe bir gauss yüzeyi ele alınırsa,

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 E_0 A = Q \quad (2.6)$$

olarak yazabiliriz. Buradan geçen elektrik alana E_0 dersek bir A yüzeyi için,

$$E_0 = \frac{Q}{A\epsilon_0} \quad (2.7)$$

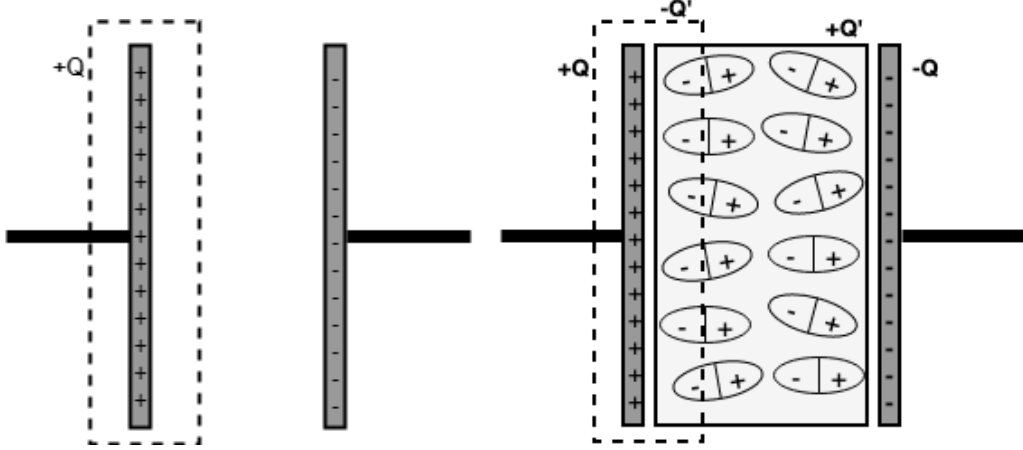
denklemini elde ederiz. Aynı şekilde dielektrikli bir kapasitör için Gauss yüzeyi alacak olursak,

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 EA = Q - Q' \quad (2.8)$$

yazılır. Burada net yük $Q - Q'$ olur ve Q' indüklenmiş yüküdür. Elektrik alan ifadesini çekersek,

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 A} - \frac{Q'}{\epsilon_0 A} \quad (2.9)$$

şeklinde olur.



Şekil 2.7: Boşluk ve dielektrikli kondansatörlerde seçilen gauss yüzeyi.

Ayrıca elektrik alan,

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon} = \frac{Q}{\varepsilon \varepsilon_0 A} \quad (2.10)$$

olarak yazılabilir. Bu iki denklemi birbirine eşitlersek,

$$\frac{Q}{\varepsilon \varepsilon_0 A} = \frac{Q}{\varepsilon_0 A} - \frac{Q'}{\varepsilon_0 A} \quad (2.11)$$

elde edilir. Düzenlersek,

$$Q' = Q \left(1 - \frac{1}{\varepsilon} \right) \quad (2.12)$$

olur.

Denklem (2.11) sadeleştirilirse,

$$\frac{Q}{A} = \varepsilon_0 \left(\frac{Q}{\varepsilon \varepsilon_0 A} \right) + \frac{Q'}{A} \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki değerlerin her biri bir vektör ile tanımlanır ve gösterimi,

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2.14)$$

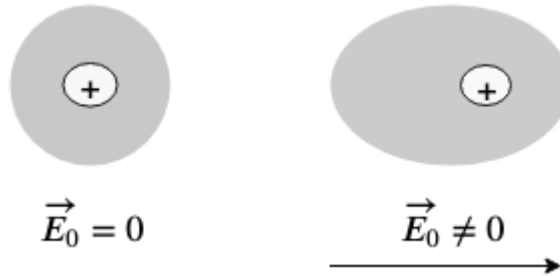
şeklindedir. Burada $\vec{D}$ deplasman yani yer değiştirme vektörü, $\vec{E}$ elektrik alan vektörü ve $\vec{P}$ polarizasyonun vektörüdür. Aynı zamanda polarizasyon vektörü $\vec{P}$,

$$\vec{P} = (\varepsilon - 1)\varepsilon_0\vec{E} = N\alpha\vec{E}' \quad (2.15)$$

olarak verilir. Burada N birim hacimdeki dipol moment sayısı, ε dielektrik sabiti, E uygulanan elektrik alan, $\vec{E}'$ yerel elektrik alan ve α polarizlenebilme katsayısıdır.

2.1.1.1. Elektronik Polarizasyon

Tüm atom ve molekül içeren dielektrik maddelerde diğer polarizasyon mekanizmaları olmasa bile elektronik polarizasyon gözlenebilir. Atomun yapısını göz önüne aldığımızda çekirdek ve çevresinde homojen dağılmış elektron bulutu vardır. Bu yapıya dış elektrik alan uygulanırsa çekirdek ve elektron bulutu elektrik alanın gerektirdiği şekilde birbirinden ayrılır. Şekil 2,8'de gösterildiği gibi gerçekleşen polarizasyona elektronik polarizasyon denir. Elektronun kütlesinin çok küçük olmasından dolayı bu polarizasyon mekanizması hemen hemen frekanstan bağımsızdır. Yani çok kısa bir süre içerisinde yaklaşık 10^{-15} saniyede meydana gelir. Burada α_e , α_a olmak üzere iki polarizasyon katsayısı bulunur. Bunlar α_e elektron bulutunun yönelmesinden ve α_a çekirdeğin yönelmesinden kaynaklanır.

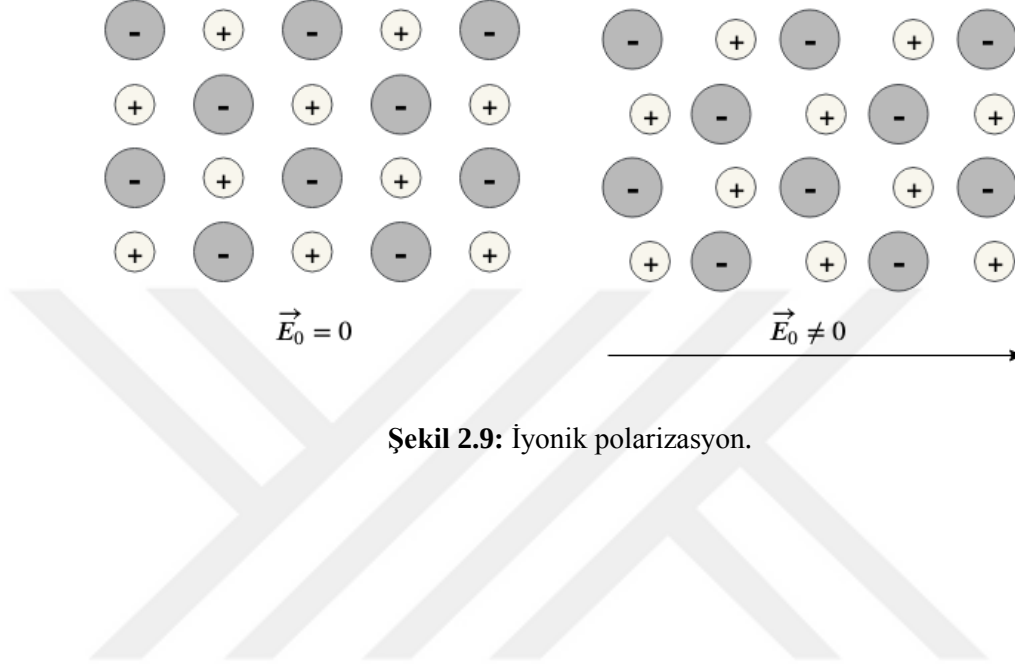


Şekil 2.8: Elektronik polarizasyon.

2.1.1.2. İyonik Polarizasyon

Moleküller farklı atomlardan oluştuğundan paylaşılan elektronlar da homojen dağılmayacaktır. Dağılım, elektronların güçlü bağlara sahip atomlara doğru yönelmesi ile olacağından atomlar zıt kutuplu yükler edinirler. Bir dış elektrik alanın bu yüklere etkisi ile atomlar yönelirler. Sonuçta yüklü atomlar birbirlerine göre yer değiştirerek denge konumlarından kayacaklardır.

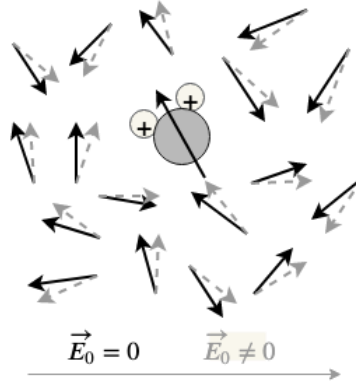
Bu yer değiştirme ile oluşan etkileşimli ikinci bir dipol moment, dielektriğin iyonik kutuplanmasıdır. Elektronik polarizasyona göre daha uzun sürede gerçekleşmesine rağmen yaklaşık 10^{-12} - 10^{-13} saniye gibi kısa bir süre içerisinde meydana gelir. Burada α_i olarak ifade edilen iyonik polarizasyona ait katsayı bulunur.



şekil 2.9: İyonik polarizasyon.

2.1.1.3. Dipolar (Yönelimli) Polarizasyon

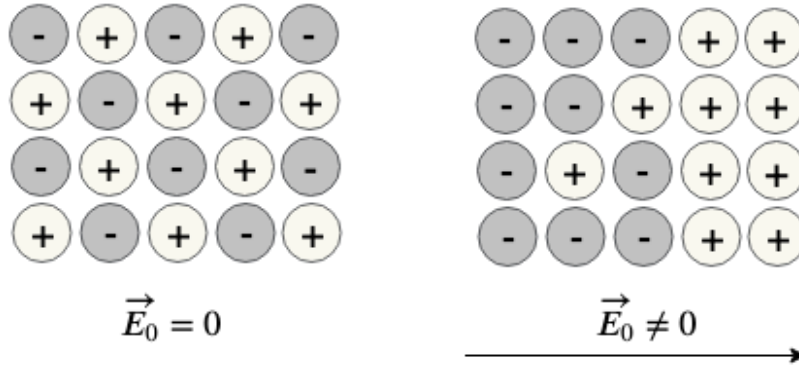
Elektrik alan olmaksızın dipollere sahip maddelerde meydana gelen mekanizmadır. Uygulanan dış elektrik alan ile birlikte dipoller alanın gerektirdiği yönde döner. Bu dönme dipolar(yönelimli) polarizasyon olarak adlandırılır. Elektrik alanın kaldırıldığı durumda dipoller eski durumlarına geri döner. Bu yönelmeler sıcaklık, viskozite ve moleküllerin büyüklüğüne bağlıdır. Bu mekanizma daha uzun sürede, 10^{-3} - 10^{-9} saniye aralığında gerçekleşir. Burada meydana gelen polarizasyon için α_d katsayısı kullanılır.



Şekil 2.10: Dipolar (Yönelimli) polarizasyon.

2.1.1.4. Arayüzey Polarizasyonu

Bağlı yüklerin yer değiştirmesi ve yönelmesi ile ortaya çıkan diğer polarizasyon mekanizmalarından farklı olarak arayüzey polarizasyonu hareketli yüklerden meydana gelir. Malzemeyi oluşturan yüzey yüklerinde farklı nedenlerle (boşluk, safsızlık, çatlak) meydana gelen kusurlardan dolayı yük taşıyıcıları (elektron, deşik, iyon) heterojen dağılmıştır. Bu dağılım nedeniyle kısmen serbest uzay yükleri hareket ederler. Bu sayede arayüzey-uzay yük polarizasyonu ortaya çıkar. Dielektriklerin iletkenlikleri düşük olduğundan bu yükler yavaş hareket eder. Bu yüzden diğer mekanizmalardan daha uzun sürede yaklaşık 10^2 saniyede gerçekleşir. Burada α_s olarak tanımlanan yüzeyler arası polarizasyon katsayısı kullanılır.



Şekil 2.11: Arayüzey (Yüzeylerarası) polarizasyon.

2.1.2. Dielektriklerde Elektrik Alan ve Dielektrik Kayıp

Dielektrik malzemeleri elektrik devresine benzetebiliriz. Çünkü dielektrik malzemeler dış elektrik alana cevap verirler. İki iletken paralel plakanın arasında dielektrik malzeme bulunan kondansatörün admittansını(Y) yazacak olursak,

$$Y = G + i\omega C \quad (2.16)$$

yazılır. Denklemden bulunan ifadelerden G İletkenlik, ω açısal frekans ve C kapasitanstır. Bu ifadeyi kapasitansa göre düzenlenirse,

$$Y = G + i\omega(C_0\varepsilon^*) \quad (2.17)$$

Elde edilir. Burada ε^* boşluğa bağlı dielektrik sabiti olmak üzere,

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'' \quad (2.18)$$

Şeklinde kompleks bir ifadedir. Buradaki ε' depolanan, ε'' kayıp enerjiyi temsil eder. Bunu denklemde yerine yazarsak,

$$Y = (G + \omega\varepsilon''C_0) + i\omega C_0\varepsilon' \quad (2.19)$$

olur[24][25][26].

Buradan empedans ifadesine geçecek olursak bu ifade admittans ifadesinin tersidir. Yani, $Y = 1/Z$ 'dir. Sonuçta (2.16) denklemi,

$$Z = \frac{1}{i\omega C + G} = \frac{1}{i\omega C_0\varepsilon^*} \quad (2.20)$$

olur. Denklem (2.18) yerine yazılıp çözülecek olursa,

$$\varepsilon' = \frac{C}{C_0} \quad (2.21)$$

$$\varepsilon'' = \frac{G}{\omega C_0} = \frac{1}{\omega R C_0} \quad (2.22)$$

denklemleri ile kompleks ifadenin sanal ve gerçek kısımlarını elde etmiş oluruz.

Bir kondansatöre $V = V_0 e^{i\omega t}$ şeklinde alternatif gerilim uygulanırsa;

$$Q = C_0 V = C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.23)$$

yükü ile yüklenecektir. Burada yükleme akımı(I_C);

$$I_C = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(C_0 V_0 e^{i\omega t})}{dt} = i\omega C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.24)$$

biraz düzenleyecek olursak,

$$\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} = i \quad i = e^{i\pi/2} \quad (2.25)$$

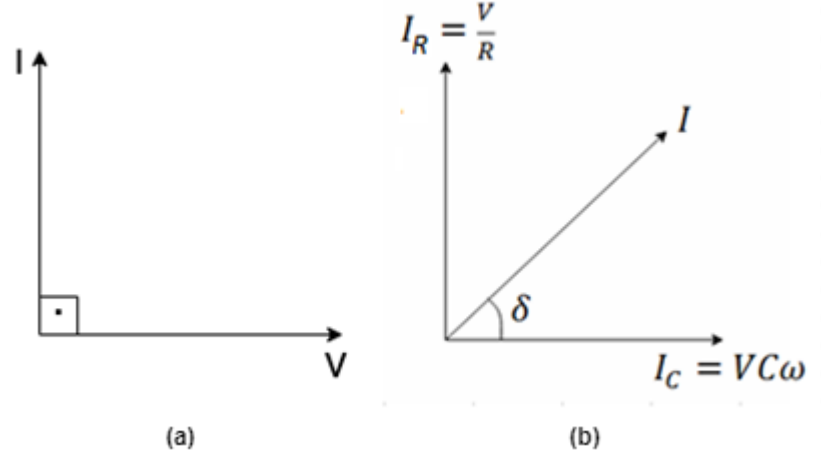
denklemde yerine yazılırsa,

$$I_C = e^{i\pi/2} \omega C_0 V_0 e^{i\omega t} = \omega C_0 V_0 e^{i(\omega t + \pi/2)} \quad (2.26)$$

ve $\omega C_0 V_0 = I_0$ olmak üzere sonuçta yükleme akımını,

$$I_C = I_0 e^{i(\omega t + \pi/2)} \quad (2.27)$$

olarak buluruz. Buradan da anlaşılacağı üzere yükleme akımı gerilimden 90 derece ileridedir. Ancak bu faz farkı vakum ortamında yani boşluk kondansatörü için geçerlidir. Eğer dielektrik kapasitörünü ele alacak olursak bu sefer faz farkı 90 dereceden farklı olacaktır. Bu fark 90 dereceden faz kayması(δ) kadar küçüktür. Şekil 2.12’de bu durum fazör diyagramı ile verilmiştir.



Şekil 2.12: (a) Boşluk kapasitöründe fazör diyagramı, (b) Dielektrikli kapasitörün fazör diyagramı.

Burada, yükleme akımından(I_C) farklı olarak, uygulanan potansiyel ile aynı fazda olan kayıp akımı(I_R) vardır. Bu kayıp akım;

$$I_R = G \cdot V \quad (2.28)$$

ile verilir. $G = 1/R$ olmak üzere kondüktans olarak adlandırılır. Bu durumda toplam akım;

$$I = I_C + I_R = (i\omega C + G)V \quad (2.29)$$

olur. Sonuçta dielektrik malzeme varken ortaya çıkan depolanan enerjide meydana gelen kayıp, kayıp terimi ile ifade edilir. Bu terim faz kaymasının tanjantı alınarak bulunur.

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{1}{\omega RC} \quad (2.30)$$

Elektriksel modülüs, daha çok polimer malzemelerin dielektrik özelliklerini analiz etmek için kullanılır. Malzemenin sahip olduğu yüklerin hareketli özelliklerini yansıtır. Modülüs, kompleks bir ifade olup dielektrik sabitinin tersidir. Denklem (2.20) kullanıldığında,

$$\frac{1}{\varepsilon^*} = i\omega C_0 Z^* = M^* \quad (2.31)$$

ile empedans ilişkisi de tanımlanmış olur. Kompleks dielektrik sabiti (2.18) denkleminde yerine yazılırsa,

$$M^* = \frac{1}{\varepsilon' - i\varepsilon''} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} + i \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} \quad (2.32)$$

olur. Modülüs kompleks bir ifade olduğundan,

$$M^* = M' + iM'' \quad (2.33)$$

şeklindedir. Denklem (2.32) sanal ve gerçek kısımlarına ayrılırsa,

$$M' = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} \quad (2.34)$$

$$M'' = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} \quad (2.35)$$

elde etmiş oluruz. Bu ifadelerden M' elektriksel modülüs ifadesinin gerçek, M'' ise sanal kısmıdır.

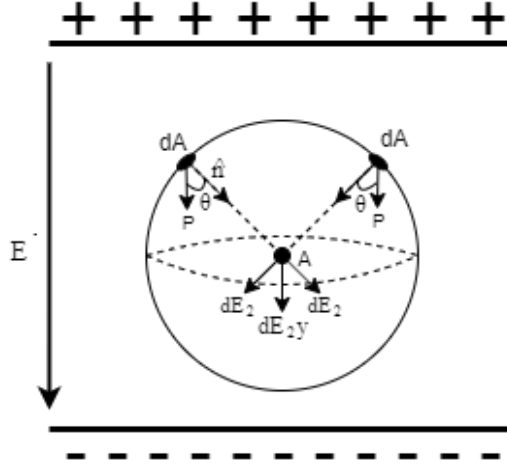
2.1.3. Clausius-Mossotti Eşitliği

Polarizasyonun değeri, N birim hacimdeki dipol moment sayısı, α polarizasyon katsayısı ve $\vec{E}'$ yerel elektrik alan olmak üzere,

$$\vec{P} = N\alpha\vec{E}' \quad (2.36)$$

olarak verilir.

Bir referans molekülü üzerine etki eden yerel alan, bulunduğu ortamdaki serbest yük taşıyıcıları yani dış elektrik alan ve bu alanın etkilediği diğer moleküllerin etkileşiminden doğan alandır. Bu durum Şekil 2.13'deki gibi göz önüne alınabilir.



Şekil 2.13: Dielektrikteki Yerel Alan.

Bu sistemde bir sanal küre ve içerisinde bir A referans molekülü alınır. Sonuçta A molekülü üzerine etkiyen yerel alan, E_1 plakalar arasında oluşan serbest yüklerden kaynaklanan elektrik alan, E_2 dipollerin oluşturduğu elektrik alan ve E_3 sanal alanın içerisinde bulunan referans molekülünün yakınlarındaki molekülün konum ve şekillerinden kaynaklanan elektrik alan olmak üzere,

$$\vec{E}' = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \quad (2.37)$$

olur. Burada $\vec{E}_1$ dış elektrik alan olduğundan $\vec{E}$ olarak alınır ve $\vec{E}_3$ diğer alanlara göre çok küçük olduğundan ihmal edilir. $\vec{E}_2$ değeri için, küre yüzeyindeki bir noktaya etkiyen polarizasyon vektörünü tanımlarsak,

$$\vec{P} \hat{n} d\vec{A} = P \cos \theta dA \quad (2.38)$$

ile ifade edebiliriz. Burada $\vec{P}$ polarizasyon vektörü, $\hat{n}$ referans molekülü doğrultusunda birim vektör ve dA küre yüzeyindeki alandır.

$$d\vec{E}_2 = \frac{P \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} d\vec{A} \quad (2.39)$$

Yatay doğrultudaki alanlar birbirlerini nötrler. Bu yüzden E_2 değeri artık düşey bileşene eşittir. Düşey bileşen, $dE_{2y} = dE_2 \cos \theta$ olduğundan,

$$\vec{E}_{2y} = \oint \frac{P \cos^2 \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} d\vec{A} \quad (2.40)$$

olur. Küresel koordinatlarda yazacak olursak,

$$E_{2y} = \int_0^\pi \frac{P \cos^2 \theta \, 2\pi r^2 \sin \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} d\theta \quad (2.41)$$

denklemini elde ederiz. Bu integralin çözümü ile,

$$\vec{E}_{2y} = \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} = \frac{\vec{E}}{3}(\epsilon - 1) \quad (2.42)$$

sonucuna ulaşırız. Bulduğumuz sonuçları yerine yazarsak,

$$\vec{E}' = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} = \frac{\vec{E}}{3}(\epsilon + 2) \quad (2.43)$$

olur. Polarizasyon denklemi (2.15) ile bu sonucu eşitlediğimizde,

$$(\epsilon - 1)\epsilon_0 \vec{E} = N\alpha \frac{\vec{E}}{3}(\epsilon + 2) \quad (2.44)$$

sonucu çıkar. Bu denklemi düzenlersek,

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{N\alpha}{3\epsilon_0} \quad (2.45)$$

denklemi ile Clausius-Mossotti eşitliğini elde ederiz. Bu denklem makroskopik büyüklük olan dielektrik sabiti(ϵ) ile mikroskopik büyüklük polarizasyon sabiti(α) arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılır.

2.1.4. Debye Modeli

Bir dielektrik malzemeye elektrik alan uygulandığında, durgun kütlesi çok küçük olan elektronlar ve çekirdek neredeyse anında hareket eder ve polarizasyon ($P_E + P_A$) derhal saptanır. Ancak, bu durum dipoller için aynı şekilde değildir. Tüm moleküller yanlarındaki komşularıyla etkileşip yönelmek zorundadır. Düzgün elektrik alan altında bir süre sonra oluşan toplam durağan polarizasyon,

$$P_{s(toplam)} = P_{\infty} + P_{s(dipol)} \quad (2.46)$$

ile verilir. Burada P_{∞} anlık kutuplanma olup frekanstan bağımsız elektronik ve atomik polarizasyonun toplamı ve $P_{s(dipol)}$ hareketsiz dipolar kutuplanmadır.

Genel polarizasyon bağıntısı, $P = (\epsilon - \epsilon_0)E$ olmak üzere,

$$P_{\infty} = (\epsilon_{\infty} - \epsilon_0)E \text{ ve } P_{s(toplam)} = (\epsilon_s - \epsilon_0)E$$

olur. Denklem (2.46) Yerine yazarsak,

$$P_{s(dipol)} = (\epsilon_s - \epsilon_{\infty})E \quad (2.47)$$

elde edilir.

Elektrik alan bir $t = 0$ anında uygulanırsa polarizasyon, $P_{\infty} = P_E + P_A$ ile verilir. Fakat zaman ile dipoller yönelime maruz kalır. Bir t anında polarizasyon;

$$P_{(toplam)}(t) = P_{\infty} + P(t) = (\epsilon - \epsilon_0)E(t) \quad (2.48)$$

olur. Burada $P(t)$ dipollerden gelen katkıdır.

$$P(t) = (\epsilon - \epsilon_{\infty})E \quad (2.49)$$

Dipolar polarizasyonda meydana gelen değişim, dipollerin denge değerlerinden farkı ile orantılı olduğu düşünülürse, bu dipolar polarizasyonun zamanla değişeceği anlamına gelir. Bu da,

$$\frac{dP(t)}{dt} = \frac{1}{\tau} (P_{s(dipol)} - P(t)) \quad (2.50)$$

denklemleri ile verilir. Dielektrik relaksasyon, elektrik alan altında kalıcı dipollerin yönelimi ile alakalıdır. Dipollerin yönelimi, malzemenin sürtünme direnci nedeniyle gecikir ve bu relaksasyon zamanı(τ) ile nitelendirilir. Denklem (2.47) yerine yazılırsa,

$$\frac{dP(t)}{dt} = \frac{1}{\tau} [(\epsilon_s - \epsilon_\infty)E - P(t)] \quad (2.51)$$

olur. Eğer alternatif elektrik alan uygulanırsa ($E = E_0 e^{i\omega t}$),

$$\frac{dP(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} P(t) = \frac{1}{\tau} (\epsilon_s - \epsilon_\infty) E_0 e^{i\omega t} \quad (2.52)$$

elde edilir. Denklem integral alınıp çözülürse,

$$P(t) = c e^{-t/\tau} + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty) E_0}{1 + i\omega\tau} e^{i\omega t} \quad (2.53)$$

olarak bulunur. İlk terim geçici durumları temsil eder ve $t \rightarrow \infty$ olduğunda sıfıra gider. İkinci terim kalıcı durumu temsil eder.

$$P(t) = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty) E_0}{1 + i\omega\tau} e^{i\omega t} \quad (2.54)$$

Denklem (2.53) ile (2.54) birbirine eşitlenirse,

$$\epsilon = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + i\omega\tau} = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)(1 - i\omega\tau)}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.55)$$

şeklinde kompleks dielektrik sabiti relaksasyon zamanına bağlı olarak yazılır ve bu denklem sanal ve gerçekte kısımlarına ayrılırsa,

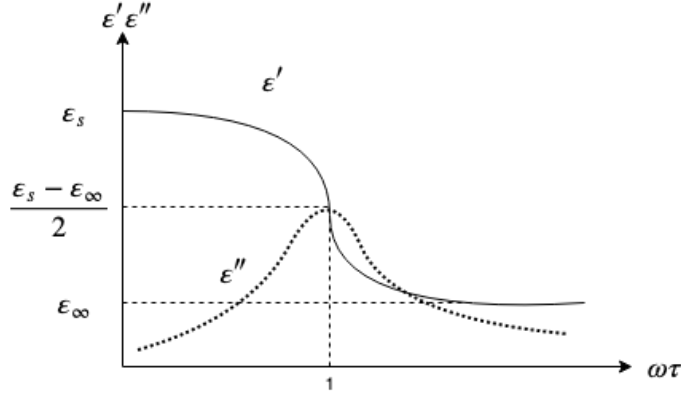
$$\epsilon' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.56)$$

$$\epsilon'' = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.57)$$

olarak Debye denklemleri bulunur. Sanal ve gerçekte kısımların oranı,

$$\tan\delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega\tau}{\epsilon_s + \epsilon_\infty\omega^2\tau^2} \quad (2.58)$$

ile kayıp terimini verir.



Şekil 2.14: Debye Rölaksasyon Grafikleri.

2.1.5. Argand Diyagramı ve Cole-Cole Modeli

Cole ve Cole, Debye denklemlerini yeniden düzenleyerek dielektrik kaybın(ϵ'') dielektrik sabitine(ϵ') göre fonksiyonunun bir çemberi temsil ettiğini gösterdi. Aslında denklem (2.56) ve (2.57)

$$(\epsilon' - \epsilon_\infty)^2 + (\epsilon'')^2 = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.59)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem de düzenlenirse,

$$(\epsilon')^2 - \epsilon'(\epsilon_s + \epsilon_\infty) + \epsilon_s \epsilon_\infty + (\epsilon'')^2 = 0 \quad (2.60)$$

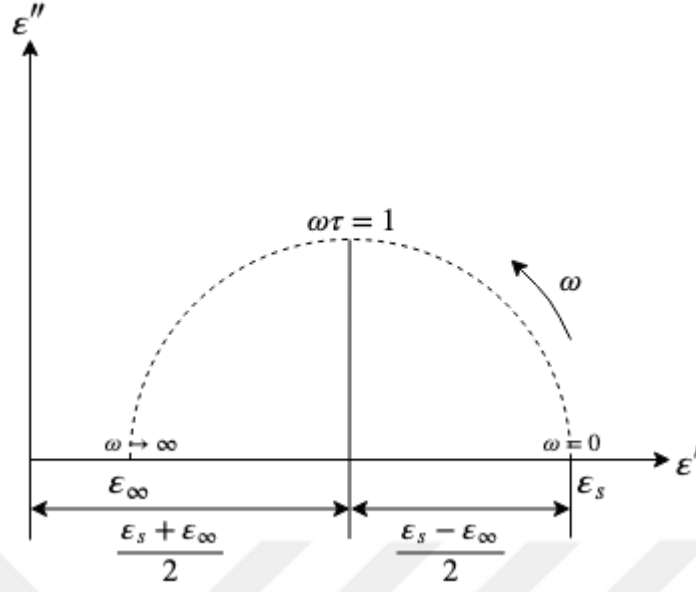
denklemini elde ederiz.

$$\epsilon_s \epsilon_\infty = \frac{1}{4} [(\epsilon_s + \epsilon_\infty)^2 - (\epsilon_s - \epsilon_\infty)^2] \quad (2.61)$$

olmak üzere denklem (2.60)'de yerine yazarsak,

$$\left(\epsilon' - \frac{\epsilon_s + \epsilon_\infty}{2} \right)^2 + (\epsilon'')^2 = \left(\frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{2} \right)^2 \quad (2.62)$$

olur. Bu denklem de bize eksenleri $\epsilon' - \epsilon''$ olan Argand diyagramında eksenini $(\epsilon_s, 0)$ ve $(\epsilon_\infty, 0)$ 'de kesen merkezi $(\frac{\epsilon_s + \epsilon_\infty}{2}, 0)$ ve yarıçapı $(\frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{2}, 0)$ olan çemberi verir.(Şekil 2.15)



Şekil 2.15: Debye Rölaksasyonu.

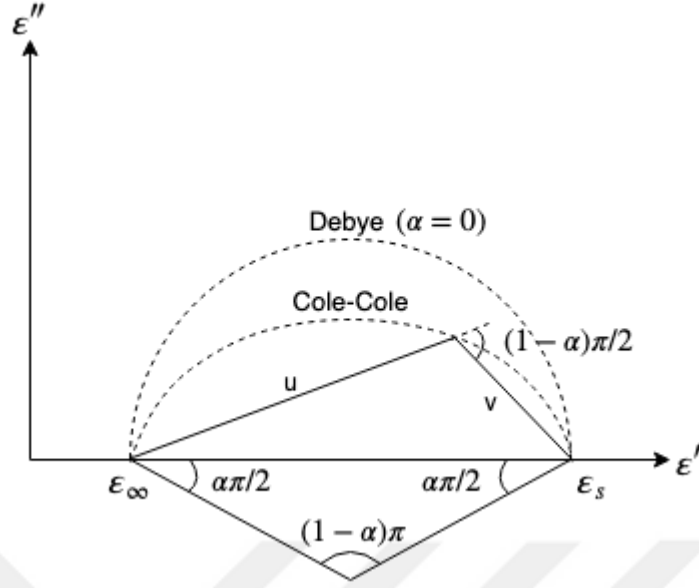
Şekilde de görüleceği üzere,

$\omega = 0$ ise $\varepsilon'' = 0$ ve $\varepsilon' = \varepsilon_s$, $\omega = \infty$ ise $\varepsilon'' = 0$ ve $\varepsilon' = \varepsilon_\infty$

$\omega\tau = 1$ ise $\varepsilon'' = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{2}$ ve $\varepsilon' = \frac{\varepsilon_s + \varepsilon_\infty}{2}$ olur.

Farklı frekanslarda ölçülen malzemeler bu çember üzerindeki değerlerle örtüşüyorsa bu Debye relaksasyonu olarak yorumlanır. Fakat bu davranış çok nadir gözlenir. Çünkü, polimerler gibi çoğu dielektrik malzeme aslında kendi relaksasyon zamanına sahip farklı tipte dipoller içerir ve farklı relaksasyon mekanizmasına sahiptirler.

Eğer malzeme birden çok relaksasyon zamanı içeriyorsa bu durumda çember daha basık olur. Yani Debye dağılımında ε'' değerinin maksimumu Cole-Cole dağılımında daha küçük olacak ve Debye'de çemberin merkezi ε' ekseninin üstündeyken Cole-Cole'da eksenin altında kalacaktır.



Şekil 2.16: Cole-Cole Rölaksasyonu.

ε_∞ ve ε_s noktalarını Cole-Cole eğrisi üzerinde herhangi bir nokta ile birleştirildiğinde u ve v bu birleşimleri sağlayan doğrular olmak üzere,

$$u = (\varepsilon' - \varepsilon_\infty) - i\varepsilon'' \quad (2.63)$$

$$v = (\varepsilon_s - \varepsilon') + i\varepsilon'' \quad (2.64)$$

olur ve aralarındaki açı $\frac{\pi}{2}(1 - \alpha)$ olmak üzere,

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (2.65)$$

olarak yazılır. Burada α malzemenin sahip olduğu bir sabit olup bu değer 0 ile 1 arasında tanımlanır. Ayrıca $\alpha = 0$ olduğu durumda tek bir relaksasyon zamanı vardır ve Debye davranışı gözlenir. Eğer $\alpha \rightarrow 1$ olursa sonsuz sayıda relaksasyon zamanı ile gösterilir.

2.1.6. Drude Modeli ve Alternatif İletkenlik

Drude modeli, serbest elektron modeli olarak da bilinir. Elektronların kendi aralarındaki ve iyonlarla olan etkileşimleri ihmal edilir. Bu şartlar altında elektrik alan içerisindeki elektrona etkiyen kuvvet,

$$\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E} \quad (2.66)$$

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \quad (2.67)$$

şeklinde verilir. Burada elektron kütlesi m , elektron yükü q ve elektrik alan $\vec{E}$ 'dir. Bu elektronun hızı ise,

$$\vec{V}_s = \vec{V}_i + \vec{a}t \quad (2.68)$$

olur. Burada V_s sürüklenme hızı ve $V_i = 0$ olmak üzere ilk hızıdır. Denklemleri düzenlersek

$$\vec{V}_s = \frac{q\vec{E}}{m}\tau \quad (2.69)$$

elde ederiz. Akım yoğunluğu

$$J = \frac{I}{A} = nqV_s \quad (2.70)$$

olmak üzere,

$$J = \frac{nq^2E}{m}\tau \quad (2.71)$$

olur. Burada n birim hacimdeki yük taşıyıcılarıdır. Akım yoğunluğu ifadesini düzenlersek,

$$J = \sigma E = \frac{nq^2E}{m}\tau \quad (2.72)$$

$$\sigma_o = \frac{nq^2}{m}\tau \quad (2.73)$$

olarak iletkenlik ifadesini elde ederiz. Bu ifadeye dc iletkenlik denir ve elektrik alandan bağımsızdır.

Ac iletkenlik için yazacağımız elektrona etkiyen kuvvet,

$$\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E} + \vec{F}_d \quad (2.74)$$

olacaktır. Sonradan eklenen ifade yükler arasındaki sürtünme kuvveti olup $\vec{F}_d = -\frac{m\vec{v}}{\tau}$ ile verilir. Denklemi düzenlersek,

$$m\vec{a} = q\vec{E} + \left(-\frac{m\vec{v}}{\tau}\right) \quad (2.75)$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E} - \frac{m\vec{v}}{\tau} \quad (2.76)$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{m\vec{v}}{\tau} = q\vec{E} \quad (2.77)$$

Elektrik alan ve hız alternatif alanda zamana bağlı olacağından $E(t) = E_0 e^{i\omega t}$ ve $V(t) = V_0 e^{i\omega t}$ ile verilir. Sonuçta,

$$mi\omega V_0 e^{i\omega t} + \frac{m}{\tau} V_0 e^{i\omega t} = qE_0 e^{i\omega t} \quad (2.78)$$

$$V_0 m \left(i\omega + \frac{1}{\tau} \right) = qE_0 \quad (2.79)$$

$$V_0 = \left(\frac{q\tau}{m} \right) \frac{1}{1 + i\omega\tau} E_0 \quad (2.80)$$

olarak sürüklenme hızını buluruz ($V_0 = V_s$). Akım yoğunluğunu yazacak olursak,

$$J = nqV_s = \frac{nq^2\tau}{m} \frac{1}{1 + i\omega\tau} E_0 \text{ ve } J(\omega) = \sigma(\omega)E(\omega)$$

olmak üzere dc iletkenlik ifadesini de yerine yazarsak,

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1 + i\omega\tau} \quad (2.81)$$

olur. Bu ifadeyi sanal ve gerç k kısımlarına ayırırsak,

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_o}{1 + \omega^2\tau^2} - \frac{i\omega\tau\sigma_o}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.82)$$

olmak üzere ilk terim gerçek, ikinci terim sanal ifadedir. Buradaki gerçek kısım

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_o}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.83)$$

AC iletkenlik olarak ifade edilir. Sonuçta toplam iletkenlik ac ve dc iletkenliklerin toplamı olarak,

$$\sigma_{top}(\omega) = \sigma_o + \sigma(\omega) \quad (2.84)$$

 eklinde yazılır. Ac iletkenlik, çoğu amorf yarı iletken ve yalıtkanda,

$$\sigma(\omega) = A\omega^s \quad (2.85)$$

formunda verilir. Burada A, sıcaklığa bağlı bir sabit ve s frekans üssüdür. Frekans  ss n n alabileceği değerler $0 < s \leq 1$ olarak verilir. Bu s değerleri olası iletkenlik mekanizmalarını belirlemede yardımcı olur.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KAPLAMA HÜCRESİNİN HAZIRLANMASI

Kaplama işlemine başlamadan önce kaplama hücresi gerekli şartları sağlamalıdır. Bunlar, hücrenin içerisinde temiz olması, flaman ve taşıyıcının temiz ve hazır olması, kaplanacak malzemenin yerleştirilmiş olması, içerideki basıncın yeterince düşük olması gibi sayılabilir. Bu şartlar için belirli hazırlık süreçleri vardır. İnce film kaplama işleminde temizlik önemli bir yer tutar. Çünkü ince film kapladığınızda en küçük kirlilik farklı sonuç almanıza neden olabilir. Bu yüzden kullanılan her sarf malzemesi ve kullanılan her aletin mutlaka temiz olması gereklidir. Bu temizlik işlemi genellikle alkol veya aseton vasıtasıyla nemli ve kirli ortamdan uzak tutarak yapılır.

3.1.1. Taşıyıcı ve Flaman Seçimi ve Hazırlığı

Taşıyıcı, kaplamanın yapılacağı taban malzemesidir. Bu yüzden taşıyıcının temiz olması önemlidir. Çünkü elde edilecek malzemelerin tutunabilmesini ve sıcaklığa ne kadar dayanabileceğini etkiler. Sonuçta taşıyıcı üzerindeki herhangi bir kirlilik (toz, yağ vb.) olmaması önemlidir. Taşıyıcı olarak bu çalışmada mikroskop camı olarak bilinen 76x26x1 mm boyutlarında lam kullanılmıştır.

Lam temizliği önce mekanik sonra kimyasal olarak yapılmıştır. Mekanik temizlik için deterjan ve pamuk kullanılarak kaba kirliliğin atılması sağlandı. Mekanik temizliğin ardından bolca su ve saf su ile durulanarak üzerindeki deterjandan arındırıldı. Ardından kimyasal temizlik için sırayla yüksek saflıkta aseton, saf su ve metil alkol içine yerleştirilerek her biri ultrasonik temizleyicide 10dk bekletildi. Temizlenen mikroskop camları kuruması için fırına konuldu. Kuruyan camlar kaplama işlemi yapılana kadar temiz ortamda kalmaları için desikatöre yerleştirildi.

Flaman, kaplanacak malzemenin buharlaşması için gerekli olan ısıyı aktaran teldir. Genellikle tungsten veya molibden teller kullanılır. Çünkü bunların erime noktası çok yüksek olduğundan yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Basitçe telin uçlarına bir potansiyel fark uygulanıp telden akım geçmesi sağlanarak tel akkor haline getirilir ve malzemeyi buharlaştırır. Bu tellerin mutlaka temizlenmesi gerekir. Temizleme işlemi degaz denilen yöntemle yapılır. Degaz işlemi, telin sisteme bağlanıp buharlaştırılacak malzeme olmadan vakum altında telden yüksek akım

geçirilip akkor haline getirilerek üzerindeki kirliliği atması ile gerçekleştirilir. Fakat degaz işleminden önce tellerin bükülerek istenilen şekle sokulması gerekir. Çünkü degaz işleminden sonra tel kırılabilir.

Bu çalışmada 1mm çapında tungsten teller kullanılmıştır. Teller elektrotların kaplamasında kullanılan Al parçaların asılması için spiral şekilde büküldü. Malzemenin konulduğu potayı asmak için iki tel düz bir şekilde bırakıldı ve birbirine paralel olacak şekilde sisteme bağlanarak arasına pota konuldu.

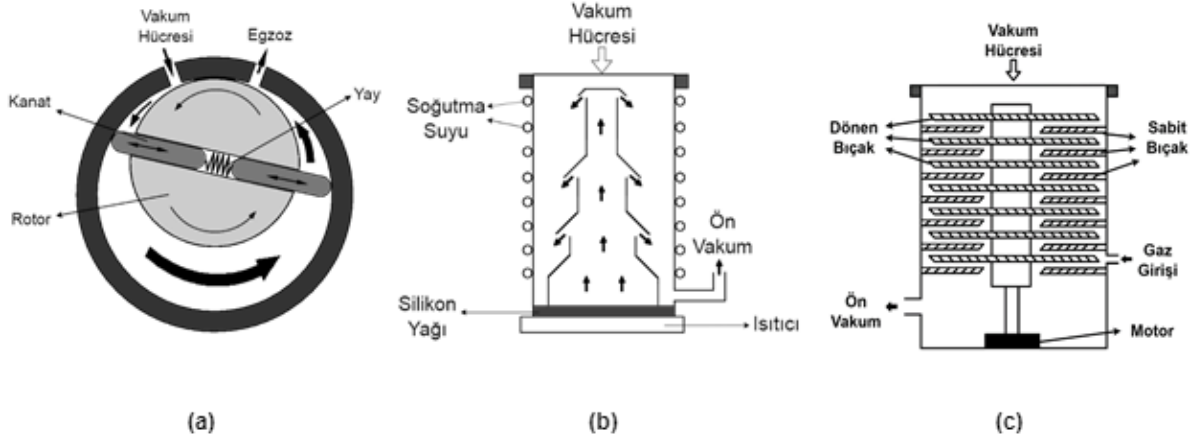
3.1.2. Düşük Basınç Şartlarının Sağlanması

Kaplama sırasında ortamda kirlilik olmaması için ortamın vakumlanması yani içerideki havanın boşaltılması gereklidir. Hücrenin hacmi bu sebeple farklı çalışma mekanizmalarına sahip farklı cihazlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılanlardan kısaca bahsedecek olursak;

Rotary pompası, ön vakum yapmak için kullanılır. Bu cihaz ile hücre içindeki basınç hücrenin hacmine bağlı olarak 10^{-3} Torr mertebesine kadar düşürülebilir. Mekanik olarak çalışan bir alet şebekeden aldığı elektrik enerjisini mekanik harekete dönüştürür ve içerisinde bulunan bir nevi pervaneyi döndürerek içerideki hava moleküllerini dışarı süpürür(Şekil 3.1-a).

Difüzyon pompası, daha düşük basınçlara inebilmek için kullanılır. Yine hücre hacmine bağlı olarak difüzyon pompası 10^{-5} Torr mertebesine kadar inebilir. Çalışma prensibi bir çevrime dayanır. İçerisinde bulunan silikon yağı alttan ısıtılarak buharlaşması sağlanır ve buharlaşan silikon yağı yukarı yönelir. Üst taraftaki hava moleküllerine yapışır ve pompa etrafındaki su kanalları ile soğutularak yoğunlaştırılır. Yoğunlaştırılan moleküller aşağıya geri döner ve hava molekülleri çıkışa bağlanan rotary pompası ile egzozdan atılır. Hücre basıncı ile difüzyon pompasının basıncı arasında fark olduğundan hücredeki moleküller pompaya yönelir ve yakalanarak dışarı atılır(Şekil 3.1-b).

Turbo-moleküler pompa, kısa zamanda çok düşük basınçlara ulaşabilir(10^{-7} Torr). Büyük hücreler ve daha düşük basınçlar için tercih edilir. Bu cihaz çok sayıda dönen ve sabit bıçaklardan oluşur. Dönen ve sabit bıçaklar zıt yönlerde üst üste konumlandırılmıştır. Motora bağlı dönen bıçaklar dakikada 60 000 tur atar. Vakum hücresindeki moleküller bu bıçaklara çarparak çıkışa doğru ivmelenirler. Dışarıdan verilen gaz molekülleri ile birlikte egzozdan atılırlar(Şekil 3.1-c).



Şekil 3.1: (a) Rotary pompası, (b) Difüzyon pompası, (c) Turbo-moleküler pompa

3.2. İNCE FİLM ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada kaplama işlemleri termal buharlaştırma yöntemi(PVD) ile yapılmıştır. Örnekler üç aşamada elde edilmiştir. Önce alt elektrot kaplanır, sonra malzeme kaplanır ve en son üst elektrot kaplanır. Böylece Al-PEO-Al formunda kapasitelerimiz olmuş olur. Bununla birlikte örneklerimizin kalınlığının belirlenmesi önemlidir. Çünkü ince filmlerde her kalınlık değerine karşı aldığımız ölçümler farklılaşır.

3.2.1. Üst ve Alt Elektrotların Hazırlığı

Elektrot olarak %99 saflıkta Alüminyum kullanılmıştır. 1mm çapında Al makaradan 1 cm'lik parçalar alınıp “n” şeklinde bükülmüştür. Bükülen parçalar aseton dolu beherde temizlenip 4 parça flamanın üstüne asıldı. Elektrotlar için termal buharlaştırma işlemi $\sim 10^{-5}$ Torr basınç altında gerçekleştirildi.

Alt elektrotların kaplanması, önceden temizlenmiş bir mikroskop camı alt elektrot maskesine yerleştirildi. Maske ve Al teller kaplama cihazına (Edwards Model 6E) yerleştirilip yaklaşık 1 saat yüksek vakumda bekletildi. Ardından flamandan 12A akım geçirilerek Al tellerin buharlaşması sağlandı. Kaplama sonucunda 2000 Å kalınlığında alt elektrot elde edildi.

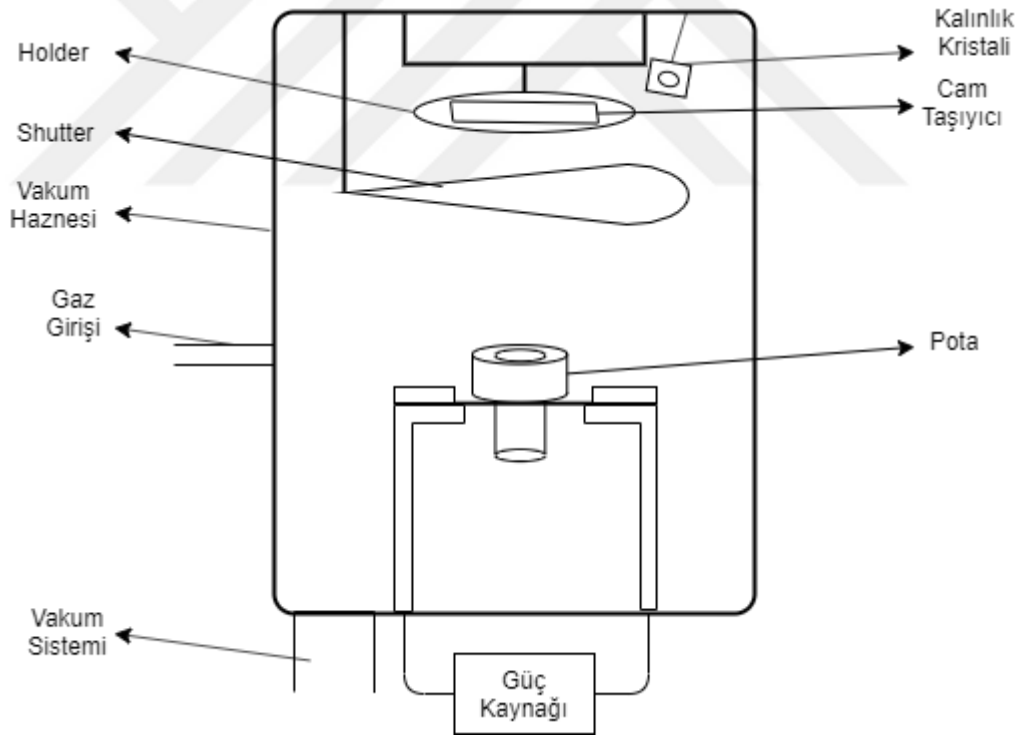
Üst elektrotların kaplanması, alt elektrot kaplaması ile aynı şekilde fakat bu işlem daha hassas yapıldı. Çünkü üst elektrot maskesine yerleştireceğimiz camın üzerinde alt elektrot ve PEO malzemesi kaplanmış vaziyettedir. Eğer bu cam buharlaştırma esnasında uzun süre ısıya maruz

kalırsa elektrot ile malzeme difüze olabilir. Bu işlem sonunda bir camın üzerinde Al-PEO-Al formunda 5 tane örnek elde edildi.

3.2.2. Malzemenin Hazırlanması

Sigma Aldrich firmasından alından farklı molekül ağırlığına sahip polietilen oksit malzemesi kullanılmıştır.

Alt elektrot kapladığımız cam, malzeme kaplaması için kullanılan maskeye yerleştirildi. Isıyı iyi iletmesi için kullandığımız bakır potanın 2/3'ü PEO ile dolduruldu. Üzerine 1 mm çapında 0,5 cm uzunluğunda bakır teller konuldu. Bu işlem faz değiştiren polimerlerin saçılmasını engelleyerek düzgün bir yüzey elde etmek ve kaplama hızının ayarlanması için yapıldı. Pota ve maske Torr International Inc. marka kaplama cihazına yerleştirildi. Yaklaşık 4-5 saat yüksek vakumda tutulduktan sonra 10^{-2} Torr civarında kaplama işlemi gerçekleştirildi.



Şekil 3.2: Örnek kaplama sistemi.

3.2.3. Kaplama Hızı ve Örnek Kalınlığının Belirlenmesi

Cihazda bulunan kuartz kristal ve kalınlık monitörü ile kaplama hızı ve kalınlığı belirlendi. Kuartz kristal mikrobalsans(QCM) yöntemi, taşıyıcının arkasında bulunan kristalin kütleindeki değişimini gösteren sistemdir. Kaplama hızı her örnek için 3-4 Å/s olarak ayarlandı. Kalınlığın etkisini görebilmek amacıyla farklı kalınlıklarda(50, 100, 250, 500nm) örnekler hazırlandı.

3.3. ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYON

Hazırlanan örneklerin elektriksel davranışları broadband dielektrik spektroskopisi(BDS) analiz yöntemi ile belirlendi[27].

3.3.1. Dielektrik Spektroskopisi Ölçümü

Ölçümler Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer cihazında alındı.

Sistemin özellikleri, 3 μHz – 20 MHz frekans aralığında alternatif elektrik alan uygular. Cryostat ile sıvı azot kullanarak -150 °C ile 400 °C arasında sıcaklığa bağlı ölçüm alabilir. Ön vakum(rotary pompası) ile temiz bir ortamda ölçüm alabilir. Uyguladığı potansiyel fark 3mV – 3V arasında olabilir ve bilgisayar kontrollüdür.

Bu cihaz malzemenin polarizasyon mekanizmasını, alternatif iletkenliğini, bağ yapısını vb. özellikleri farklı parametrelere bağlı olarak belirlemek için kullanılır. İçerisinde bulunan kondansatör köprüsü sayesinde, bilinen kapasite ve direnç değerlerini kullanarak bilinmeyen değeri ölçmek için kullanılır. Köprü içerisinde bulunan galvanometre ayarlı direnç ile sıfır değerini gösterdiğinde köprü dengeye gelmiş olur ve bilinmeyen kapasiteyi ölçer.

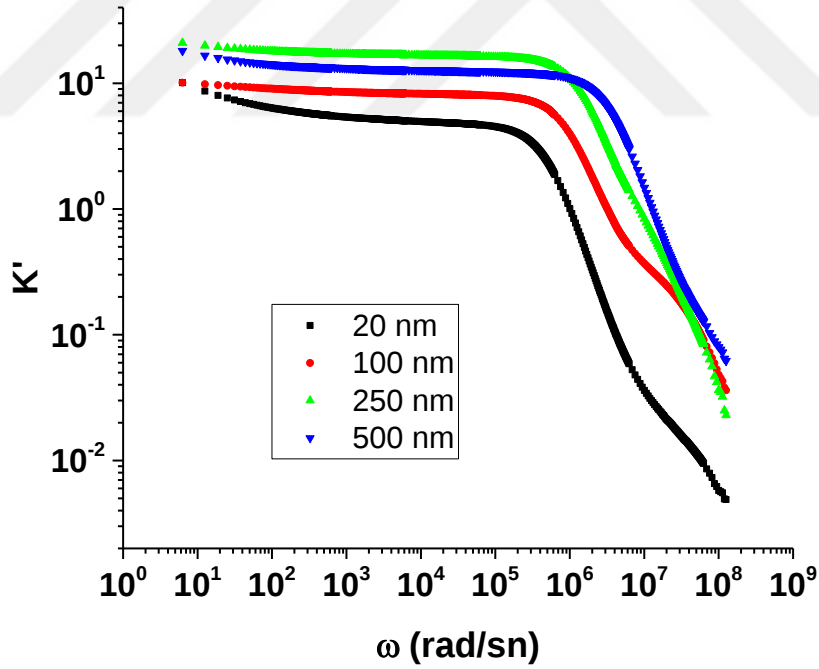
Bu çalışmada ince bakır teller, indiyum ile örneklerin alt ve üst elektrotlarına lehimlenerek kontak alındı. Alınan kontaklar cihaza bağlanarak oda sıcaklığında ve 1 Hz - 20 MHz frekans aralığında kapasite(C) ve kayıp faktör($\tan\delta$) değerleri ölçülmüştür.

4. BULGULAR

4.1. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLİ POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİN DİELEKTRİK SABİTİNİN AÇISAL FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

4000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik sabitinin farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

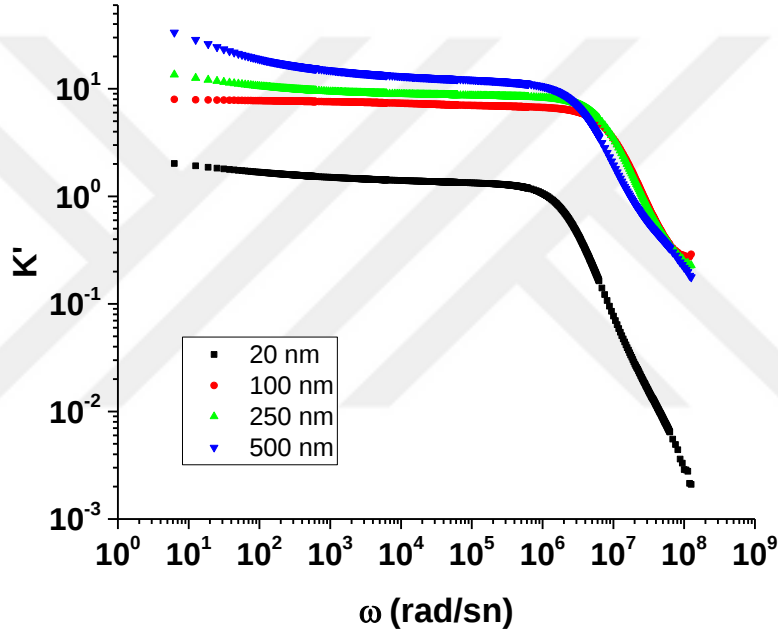
- Dielektrik sabitin artan frekans ile azaldığı,
- Dielektrik sabitin frekansa bağlı davranışında biri $1-10^5$ rad/s frekans aralığında, diğeri ise 10^5-10^8 rad/s frekans aralığında gözlenen iki farklı polarlanma mekanizmasının mevcut olduğu,
- Hemen hemen tüm frekanslarda artan kalınlıkla birlikte dielektrik sabitinin arttığı
- 250-500 nm kalınlık bölgesinde dielektrik sabitin kalınlıktan bağımsız olarak $20 (10^6$ rad/s) civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=4000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik sabitinin açısıl frekansa bağlı davranışı.

8000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik sabitinin farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

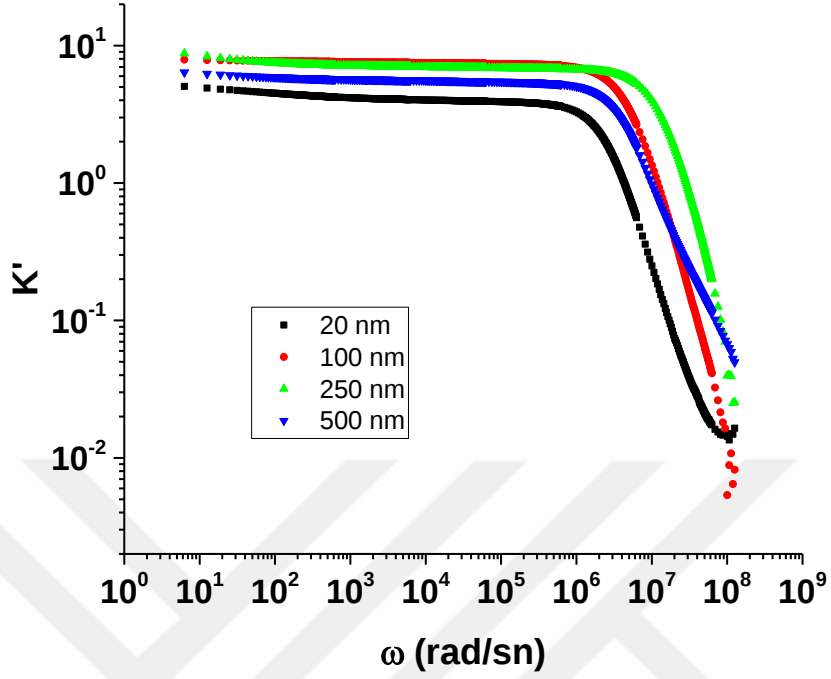
- Dielektrik sabitin artan frekans ile azaldığı,
- Dielektrik sabitin frekansa bağlı davranışında biri $1-10^5$ rad/s frekans aralığında, diğeri ise 10^6-10^8 rad/s frekans aralığında gözlenen iki farklı polarlanma mekanizmasının mevcut olduğu,
- Hemen hemen tüm frekanslarda artan kalınlıkla birlikte dielektrik sabitin arttığı
- 250-500 nm kalınlık bölgesinde dielektrik sabitin kalınlıktan bağımsız olarak yaklaşık olarak 15 (10^6 rad/s) olduğu,



Şekil 4.2: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik sabitinin açısal frekansa bağlı davranışı.

35000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik sabitin farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

- Dielektrik sabitin artan frekans ile azaldığı,
- Dielektrik sabitin frekansa bağlı davranışında biri $1-10^5$ rad/s frekans aralığında, diğeri ise 10^6-10^8 rad/s frekans aralığında gözlenen iki farklı polarlanma mekanizmasının mevcut olduğu,
- Hemen hemen tüm frekanslarda artan kalınlıkla birlikte dielektrik sabitin arttığı
- 250-500 nm kalınlık bölgesinde dielektrik sabitin kalınlıktan bağımsız olarak yaklaşık olarak 15 (10^6 rad/s) olduğu,

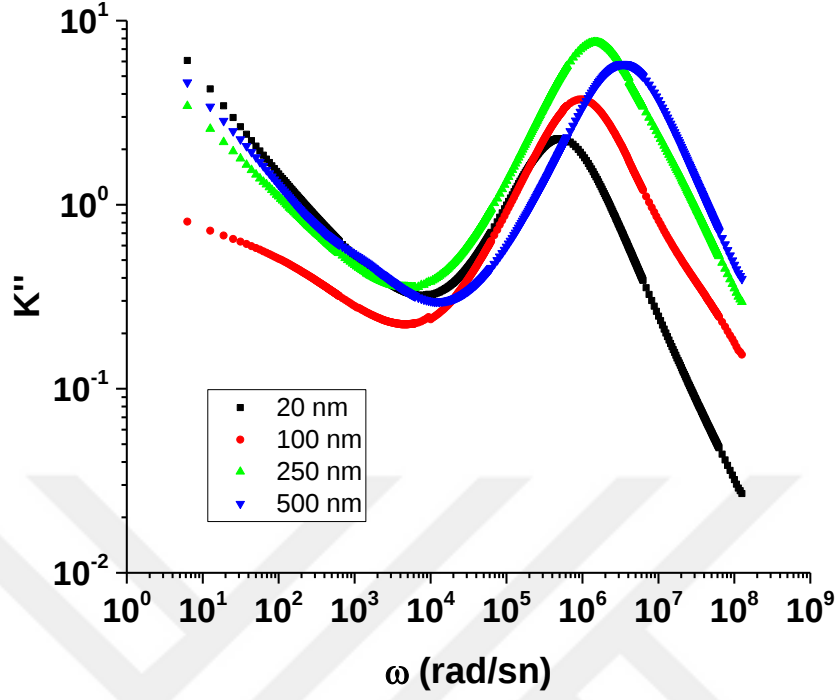


Şekil 4.3: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik sabitinin açısal frekansa bağlı davranışı.

4.2. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLİ POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİN DİELEKTRİK KAYBININ AÇISAL FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

4000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik kaybının farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

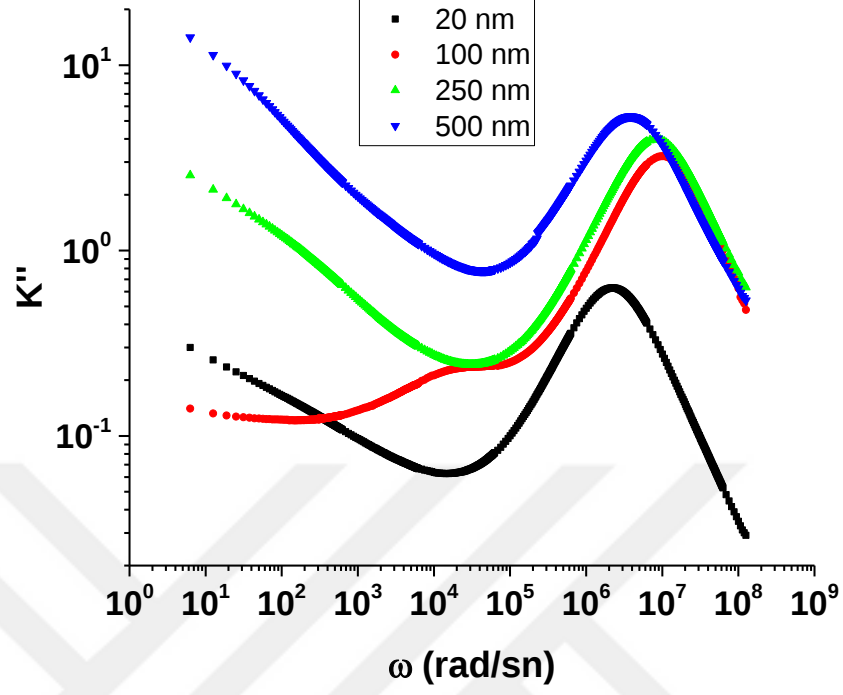
- Dielektrik kaybın tüm kalınlık değerlerinde incelenen frekans aralığında biri 10^2 - 10^3 rad/s frekans bölgesinde, diğeri ise 10^5 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde iki farklı polarlanma mekanizmasına ait davranışlar sergilediği,
- Özellikle 10^5 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde gözlenen dielektrik kayıba ait polarlanma bölgelerinin artan kalınlıkla birlikte yüksek frekanslara doğru kaydığı görülmektedir.



Şekil 4.4: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=4000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik kaybının açısal frekansa bağlı davranışı.

8000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik kaybının farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

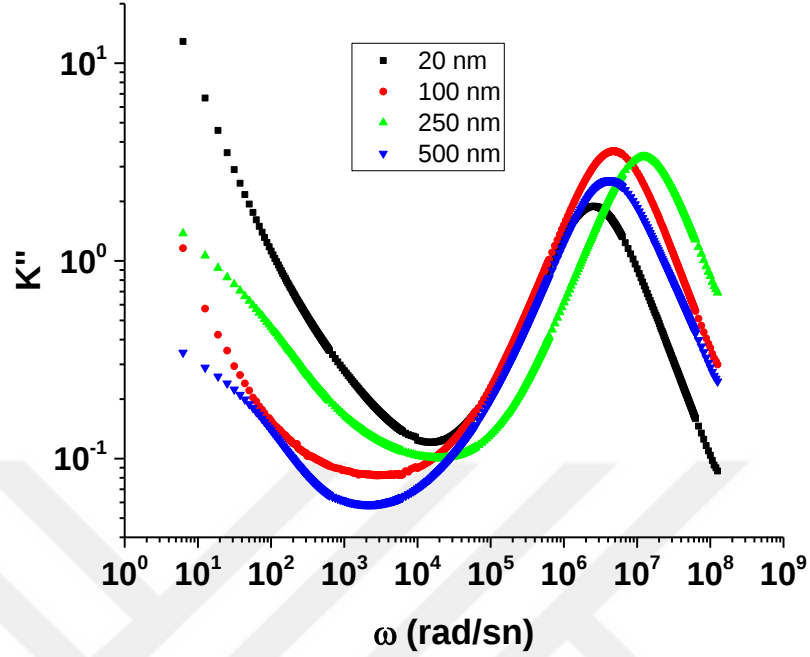
- Dielektrik kaybın tüm kalınlık değerlerinde incelenen frekans aralığında biri 10^0 - 10^2 rad/s frekans bölgesinde, diğeri ise 10^6 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde iki farklı polarlanma mekanizmasına ait davranışlar sergilediği,
- Özellikle 10^6 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde gözlenen dielektrik kayıba ait polarlanma bölgelerinin artan kalınlıkla birlikte yüksek frekanslara doğru kaydığı,



Şekil 4.5: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik kaybının açısal frekansa bağlı davranışı.

35000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik kaybının farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

- Dielektrik kaybın tüm kalınlık değerlerinde incelenen frekans aralığında biri 10^0 - 10^2 rad/s frekans bölgesinde, diğeri ise 10^6 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde iki farklı polarlanma mekanizmasına ait davranışlar sergilediği,
- Özellikle 10^6 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde gözlenen dielektrik kayıba ait polarlanma bölgelerinin artan kalınlıkla birlikte yüksek frekanslara doğru kaydığı,

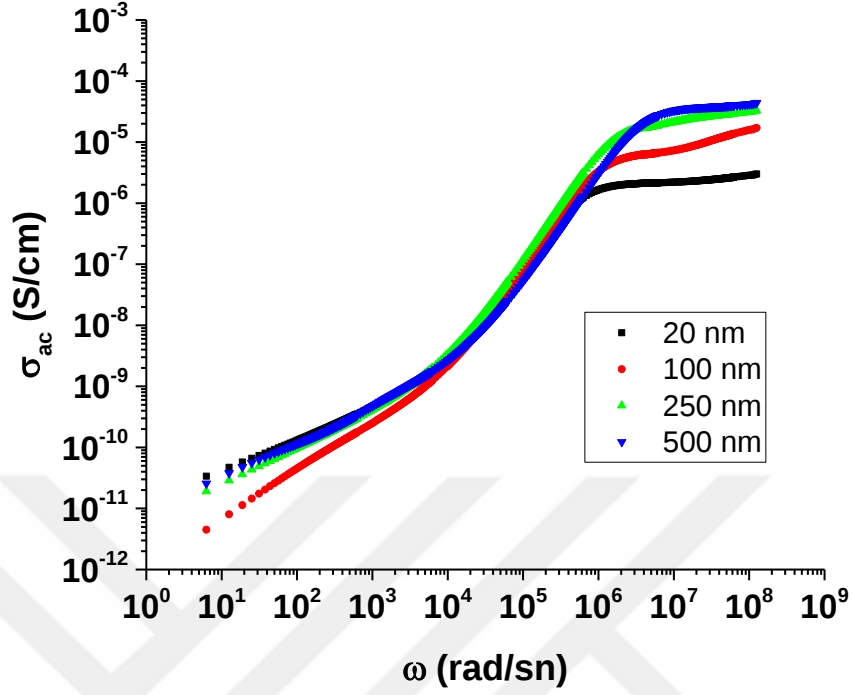


Şekil 4.6: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin dielektrik kaybının açısal frekansa bağlı davranışı.

4.3. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLİ POLİETİLEN OKSİT İNCE FİLMLERİN ALTERNATİF İLETKENLİKLERİNİN AÇISAL FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

4000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; alternatif iletkenliğinin farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

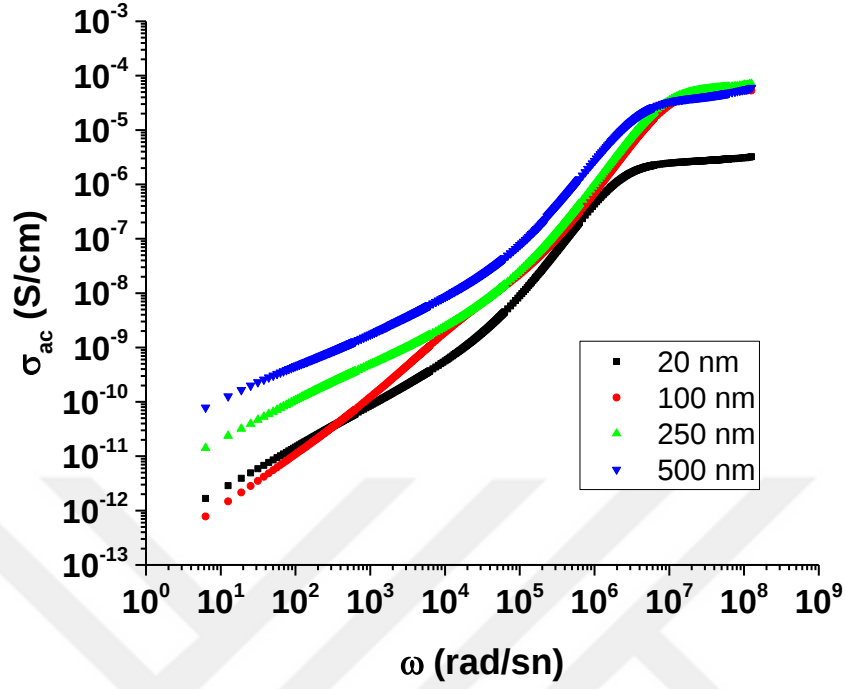
- AC iletkenliğin tüm kalınlıklar için artan frekansa bağlı olarak dielektrik kaybın frekansa bağlı davranışı ile örtüşen bir şekilde biri 10^2 - 10^3 rad/s frekans bölgesinde, diğeri ise 10^5 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde iki farklı iletkenlik mekanizmasına ait davranışlar sergilediği,
- AC iletkenliğin artan kalınlık ile birlikte hemen hemen tüm frekans aralığında artış gösterdiği
- İncelenen frekans aralığında AC iletkenliğin artan kalınlık ile birlikte yüksek frekanslara kaydığı gözlenmektedir.



Şekil 4.7: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=4000$ g/mol alternatif iletkenliğinin açısal frekansa bağlı davranışı.

8000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; alternatif iletkenliğinin farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

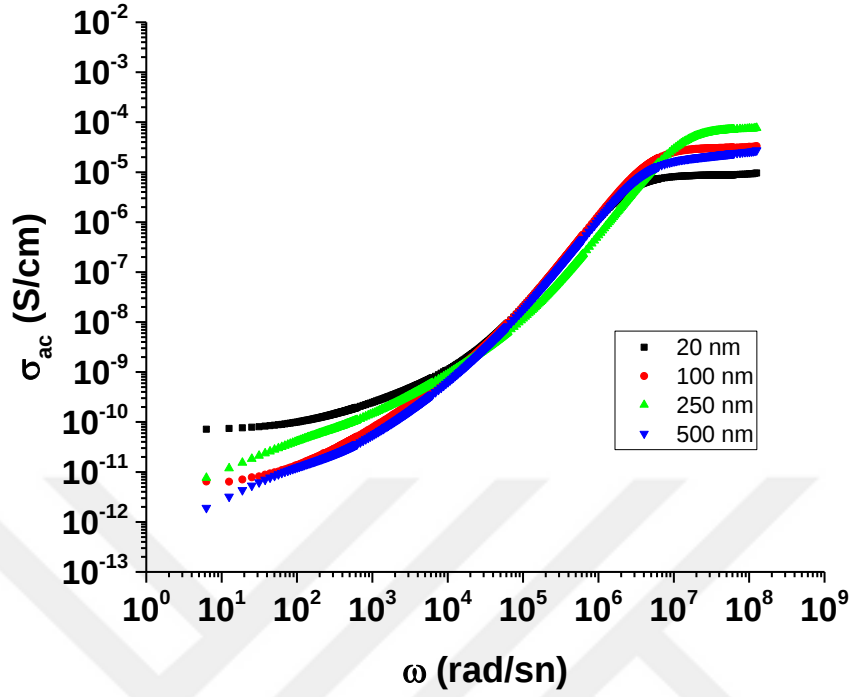
- AC iletkenliğin tüm kalınlıklar için artan frekansa bağlı olarak dielektrik kaybın frekansa bağlı davranışı ile örtüşen bir şekilde biri 10^0 - 10^2 rad/s frekans bölgesinde, diğeri ise 10^6 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde iki farklı iletkenlik mekanizmasına ait davranışlar sergilediği,
- AC iletkenliğin artan kalınlık ile birlikte hemen hemen tüm frekans aralığında artış gösterdiği
- İncelenen frekans aralığında AC iletkenliğin artan kalınlık ile birlikte yüksek frekanslara kaydığı gözlenmektedir.



Şekil 4.8: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin alternatif iletkenliğinin açısal frekansa bağlı davranışı.

35000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; alternatif iletkenliğinin farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde:

- AC iletkenliğin tüm kalınlıklar için artan frekansa bağlı olarak dielektrik kaybın frekansa bağlı davranışı ile örtüşen bir şekilde biri 10^0 - 10^2 rad/s frekans bölgesinde, diğeri ise 10^6 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde iki farklı iletkenlik mekanizmasına ait davranışlar sergilediği,
- AC iletkenliğin artan kalınlık ile birlikte hemen hemen tüm frekans aralığında artış gösterdiği
- İncelenen frekans aralığında AC iletkenliğin artan kalınlık ile birlikte yüksek frekanslara kaydıgı gözlenmektedir.

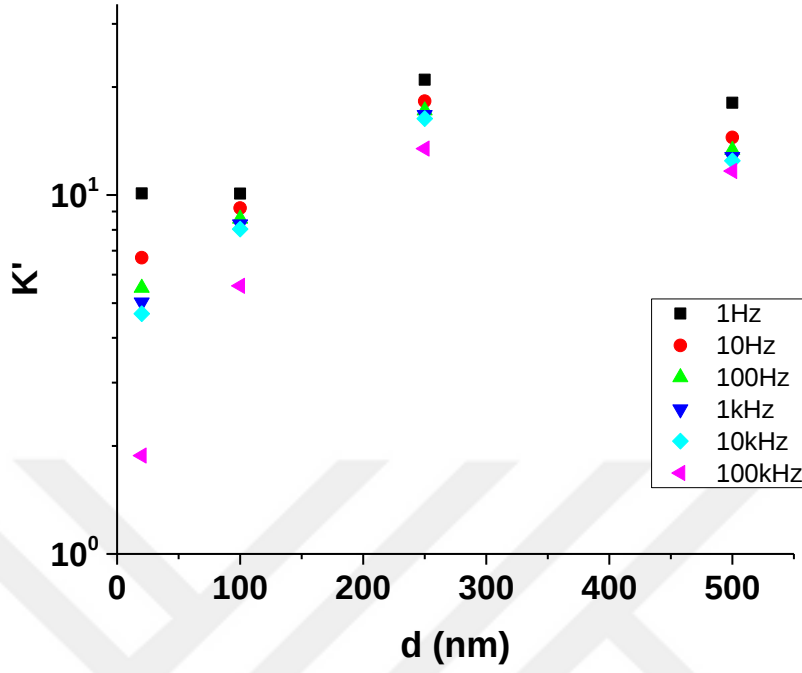


Şekil 4.9: Farklı kalınlıklardaki PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin alternatif iletkenliğinin açısal frekansa bağlı davranışı.

4.4. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLı POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİN FARKLI FREKANSLARDA DİELEKTRİK SABİTİNİN KALINLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI

4000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik sabitinin farklı frekanslar için film kalınlığına bağlılığı incelendiğinde:

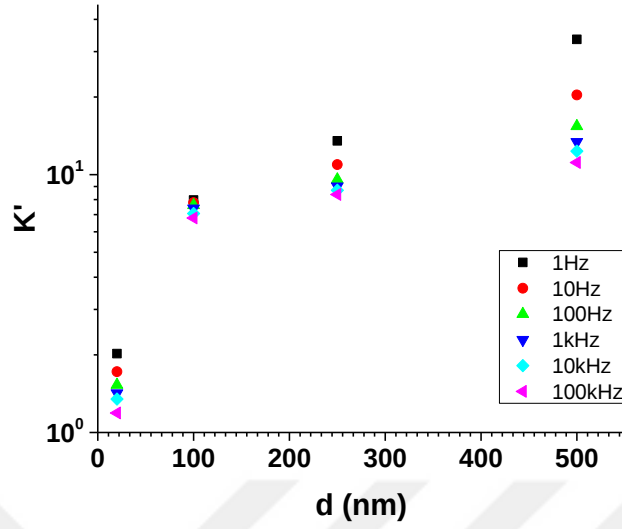
- Dielektrik sabitin farklı frekanslarda, artan kalınlık ile birlikte arttığı ve 250-500 nm kalınlık bölgesinde frekansa bağımsız bir davranış sergilediği,



Şekil 4.10: PEO $M_A=4000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik sabitinin kalınlığa bağlı davranışı.

8000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik sabitinin farklı frekanslar için film kalınlığına bağlılığı incelendiğinde:

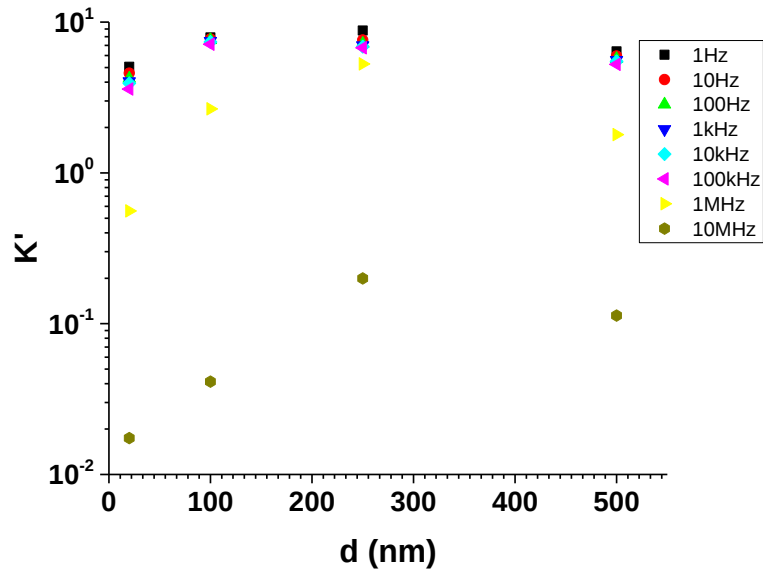
- Dielektrik sabitin farklı frekanslarda, artan kalınlık ile birlikte arttığı ve 250-500 nm kalınlık bölgesinde frekanstan bağımsız bir davranış sergilediği,



Şekil 4.11: PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik sabitinin kalınlığa bağlı davranışı.

35000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik sabitinin farklı frekanslar için film kalınlığına bağlılığı incelendiğinde:

- Dielektrik sabitin farklı frekanslarda, artan kalınlık ile birlikte arttığı ve 250-500 nm kalınlık bölgesinde frekanstan bağımsız bir davranış sergilediği,

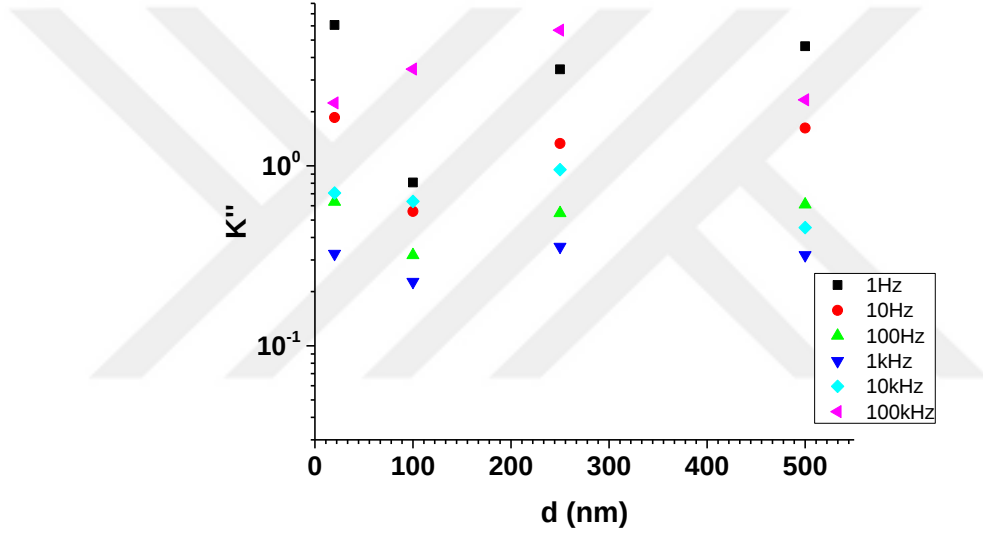


Şekil 4.12: PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik sabitinin kalınlığa bağlı davranışı.

4.5. FARKLI MOLEKÜL AĞIRLIKLIL POLİETİLEN OKSİT İNCE FİMLERİNİN SABİT FREKANSTA DİELEKTRİK KAYBININ KALINLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI

4000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik kaybının farklı frekanslar için film kalınlığına bağılılığı incelendiğinde:

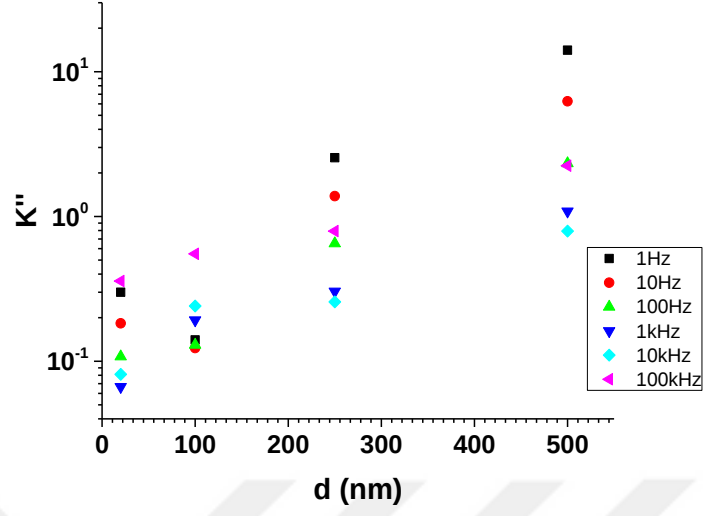
- Dielektrik kaybın farklı frekanslarda, artan kalınlık ile birlikte arttığı gözlenmektedir.



Şekil 4.13: PEO $M_A=4000$ g/mol dielektrik kaybının farklı frekanslarda dielektrik sabitinin kalınlığa bağılı davranışı.

8000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik kaybının farklı frekanslar için film kalınlığına bağılılığı incelendiğinde:

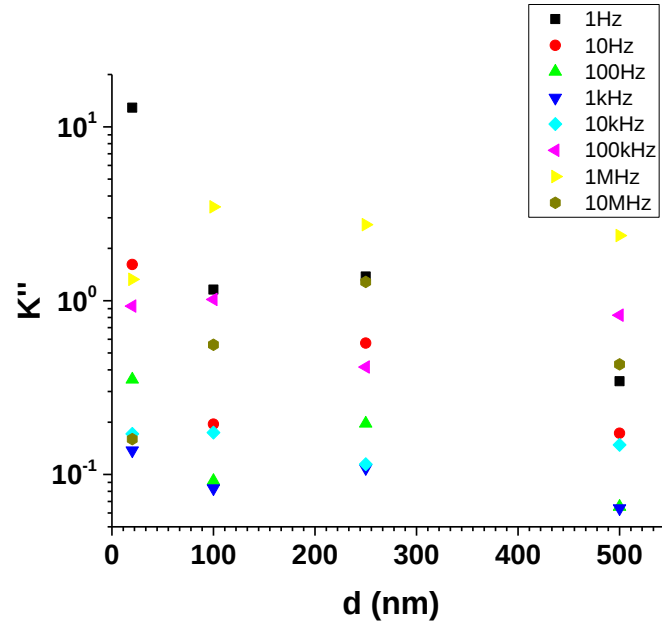
- Dielektrik kaybın farklı frekanslarda, artan kalınlık ile birlikte arttığı gözlenmektedir.



Şekil 4.14: PEO $M_A=8000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik kaybın kalınlığa bağlı davranışı.

35000 g/mol moleküler kütleye sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik kaybının farklı frekanslar için film kalınlığına bağlılığı incelendiğinde:

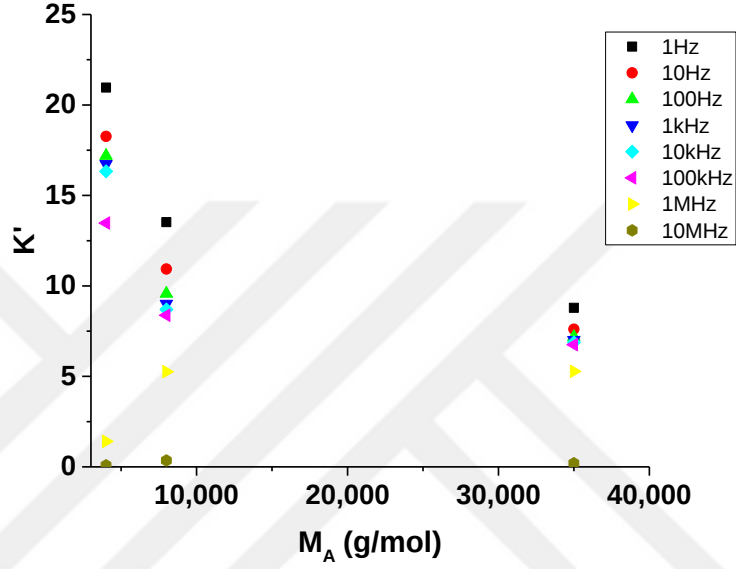
- Dielektrik kaybın farklı frekanslarda, artan kalınlık ile birlikte arttığı gözlenmektedir.



Şekil 4.15: PEO $M_A=35000$ g/mol ince filmlerinin farklı frekanslarda dielektrik kaybın kalınlığa bağlı davranışı.

4.6. SAF VE KATKILI PEO İNCE FİLMLERİN SABİT KALINLIKTA DİELEKTRİK SABİTİNİN MOLEKÜL AĞIRLIĞINA BAĞLI DAVRANIŞI

Polietilen oksit (PEO) ince filmlerin; dielektrik sabitinin farklı frekanslar için molekül ağırlığına bağlılığı incelendiğinde:



Şekil 4.16: 250 nm kalınlığındaki PEO ince filmlerinin farklı frekanslarda katkı oranına bağlı davranışı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, (4000, 8000, 35000) g/mol moleküler kütleyle sahip PEO termal buharlaştırma yöntemi ile farklı kalınlıklarda (50, 100, 250, 500 nm) ince filmleri hazırlandı. Bu ince filmlerin frekansa, kalınlığa ve moleküler ağırlıklarına bağlı olarak dielektrik sabiti (K'), dielektrik enerji kaybı (K'') ve AC iletkenlik (σ_{ac}) değerleri oda sıcaklığında ve 1Hz-20MHz geniş frekans aralığında incelenmiş ve bu bilgiler doğrultusunda yapı içerisinde mümkün polarizasyon ve ac iletkenlik mekanizmaları belirlenmiştir.

Şekil 4.1, 4.2, 4.3 grafiklerinde, 4000 g/mol, 8000 g/mol ve 35000 g/mol molekül ağırlığına sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin dielektrik sabitinin farklı kalınlıklar için frekansa bağıllığı incelendiğinde: Dielektrik sabitin artan frekans ile azaldığı artan kalınlık ile arttığı gözlenmektedir. Polietilen oksit lineer bir zincir yapısına sahiptir. İncelenen frekans aralığında polimerin ana zincirinin polarizasyonuna ait cevapların gözlenmesi beklenecektir. Uygulanan elektrik alanın frekansının artışı ile birlikte polietilen oksit zincirinin alanın değişimini takip edememesi söz konusu olacağından dielektrik sabitin artan frekans ile azalması beklenmektedir. Kalınlık artışının etkisi incelendiğinde, polimer ince filmlerin taşıyıcı yüzeylerine iyi tutundukları göz önüne alınabilir. Polimer ince filmlerin taşıyıcıya tutunan bölgeleri polarlanma kabiliyetleri iyi olmayan bölgelerdir [17, 18]. Bu bölgelerin kalınlıkları düşük olan polietilen ince filmlerde toplam polarlanma üzerinde belirgin bir etkisi olacağından düşük kalınlıklı ince filmlerde dielektrik sabitinin düşük olması mümkündür. Film kalınlığı arttıkça dielektrik sabitinin artması beklenir. Moleküler ağırlığın artışı yapıdaki ana zincir uzunluğunun artışı anlamına geleceğinden, incelenen frekans aralığında daha uzun bir zincirin polarlanması daha büyük bir dipol momenti göz önüne almamızı gerektirebilir. Dolayısıyla dipol moment artışı dielektrik sabitinin artışına neden olabilir. Şekiller incelendiğinde artan molekül ağırlığıyla dielektrik sabitinin arttığı gözlenmektedir.

Şekil 4.4, 4.5, 4.6 grafiklerinde, 4000 g/mol, 8000 g/mol ve 35000 g/mol molekül ağırlığına sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin dielektrik kaybının farklı kalınlıklar için frekansa bağıllığı incelendiğinde: Dielektrik kaybının biri 10^2 - 10^3 rad/s frekans bölgesinde, diğeri ise 10^5 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde iki farklı polarlanma bölgesi mevcuttur. Özellikle 10^5 - 10^7 rad/s frekans bölgesinde gözlenen polarlanma bölgesinin artan kalınlıkla birlikte yüksek frekanslara doğru kaydığı görülmektedir. Gözlenen iki polarizasyon bölgesinden düşük

frekanslarda meydana gelen polarizasyon polietilen oksit ana zincirinin polarlanmasına atfedilebilirken, daha yüksek frekanslarda gözlenen polarizasyon ise polietilen oksit yan dallarının polarlanmalarından kaynaklanabilir. Kalınlığa bağlı olarak dielektrik kaybın artan kalınlıkla birlikte arttığı görülmektedir. Daha yüksek kalınlıklarda taşıyıcı yüzeyi ile temas halinde olan ve polarlanma kabiliyeti düşük olan bölgenin etkinliği azalacağından, filmin toplam polarlanma kabiliyeti de iyileşecektir. Bu da dielektrik kayba ait grafiklerde polarizasyon mekanizmalarına ait rölaksasyon piklerinin daha yüksek frekanslara kayması şeklinde gözlenecektir.

Şekil 4.7, 4.8, 4.9 grafiklerinde, 4000 g/mol, 8000 g/mol ve 35000 g/mol molekül ağırlığına sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin alternatif iletkenliğinin farklı kalınlıklar için frekansa bağlılığı incelendiğinde: Artan frekans ile birlikte $\sigma_{toplam} = \sigma_{DC} + A\omega^s$ bağıntısına uygun bir davranış sergilediği görülmektedir.

Şekil 4.10, 4.11, 4.12 grafiklerinde, 4000 g/mol, 8000 g/mol ve 35000 g/mol molekül ağırlığına sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin dielektrik sabitinin farklı frekanslar için kalınlığa bağlılığı incelendiğinde: Artan kalınlıkla birlikte dielektrik sabitinin yaklaşık 500 nm ye kadar olan kalınlıklarda artış gösterdiği, bu kalınlıktan sonra ise kalınlıktan bağımsız hale geldiği görülmektedir. Dielektrik sabitinin kalınlığa bağlılığında taşıyıcı yüzeyi ile temas halinde olan polarlanma kabiliyeti düşük bölgenin etkili olduğu bilinmektedir [28, 29]. Kalınlığın artışı ile bu bölgenin polarlanmaya etkisi ihmal edilecek kadar küçük olacağından belirli bir kalınlıktan sonra dielektrik sabitinin kalınlıktan bağımsız hale gelmesi beklenebilecek bir durumdur.

Şekil 4.13, 4.14, 4.15 grafiklerinde, 4000 g/mol, 8000 g/mol ve 35000 g/mol molekül ağırlığına sahip polietilen oksit (PEO) ince filmlerin dielektrik kaybın farklı frekanslar için kalınlığa bağlılığı incelendiğinde: Dielektrik sabitinin kalınlığa bağlılığında sonuçlara benzer bir davranış görülmüştür. Bu durum dielektrik sabitin kalınlığa bağlılığında ileri sürdüğümüz polarlanma davranışını desteklemektedir.

Şekil 4.16 grafiğin, sabit kalınlıkta farklı frekanslarda dielektrik sabitin molekül ağırlığına bağlılığı incelendiğinde: Dielektrik sabitinin artan molekül ağırlığı ile azaldığı görülmektedir. Molekül ağırlığının artması daha uzun polimer zincirlerinin varlığını gösterdiğinden, böyle bir yapıda uzun polimer zincirlerinin uygulanan elektrik alanının değişimini takip edebilmeleri daha

zor olacaktır. Dolayısıyla aynı frekanslarda daha büyük molekül ağırlıklı bir yapının polarlanması daha düşük olacaktır. Bu dielektrik sabitinin daha düşük olmasına neden olabilir.

İncelenen parametrelere ilave olarak örneklerin sıcaklığa bağlılıkları ve farklı sıcaklıklarda molekül ağırlığının dielektrik özelliklerine etkisinin incelenmesi hedeflenmektedir.



KAYNAKLAR

- [1]. Bower, D., I., 2002, *An Introduction to Polymer Physics*, Cambridge University Press, ISBN-13: 978-0-511-07757-9.
- [2]. Şen, F., Palancıoğlu, H., Aldaş, K., 2010, Polimerik nanokompozitler ve kullanım alanları, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), 111-118.
- [3]. Ay, B., 2007, *Organik Polimerler ve kullanım alanları*, Önlisans Bitirme Tezi, Pamukkale Üniversitesi.
- [4]. Odian, G., 2004, *Principles of polymerization*, John Wiley & Sons, ISBN: 0-471-27400-3.
- [5]. Hiemenz, P., C., Lodge, T., P., 2007, *Polymer chemistry*, CRC press, ISBN-13: 978-1-4200-1827-1.
- [6]. Mark, J., E., (Ed.). 2009, *Polymer data handbook*, Oxford university press.
- [7]. Yakut, S., Ulutas, H., K., Melnichuk, I., Choukourov, A., Biederman, H., Deger, D., 2016, Dielectric properties of plasma polymerized poly (ethylene oxide) thin films, *Thin Solid Films*, 616, 279-286.
- [8]. Koduru, H., K., Marinov, Y., G., Hadjichristov, G., B., Petrov, A., G., Godbert, N., Scaramuzza, N., 2018, Polyethylene oxide (PEO)–Liquid crystal (E8) composite electrolyte membranes: Microstructural, electrical conductivity and dielectric studies, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 499, 107-116.
- [9]. Lisowska-Oleksiak, A., Inerowicz, H., D., 1999, Study on poly (ethylene-oxide) electrolytes with ionophores for lithium batteries, *Journal of power sources*, 81, 813-817.
- [10]. Zalipsky, S., Milton, Harris, J., 1997, Introduction to chemistry and biological applications of poly (ethylene glycol), *ACS Symposium Series American Chemical Society* 680, 1-15.
- [11]. Barber, P., Balasubramanian, S., Anguchamy, Y., Gong, S., Wibowo, A., Gao, H., Harry, J., P., Zur Loye, H., C., 2009, Polymer composite and nanocomposite dielectric materials for pulse power energy storage, *Materials*, 2(4), 1697-1733.
- [12]. Polu, A., R., and Rhee, H., W., 2015, Nanocomposite solid polymer electrolytes based on poly (ethylene oxide)/POSS-PEG (n= 13.3) hybrid nanoparticles for lithium ion batteries, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 31, 323-329.
- [13]. Kumar, K., K., Ravi, M., Pavani, Y., Bhavani, S., Sharma, A., K., Rao, V., N., 2011, Investigations on the effect of complexation of NaF salt with polymer blend (PEO/PVP) electrolytes on ionic conductivity and optical energy band gaps, *Physica B: Condensed Matter*, 406(9), 1706-1712.

- [14]. Wypych, G., 2016, *Handbook of polymers*, Chemtec Publishing, Toronto, ISBN: 978-1-895198-92-8.
- [15]. Bailey, F., J., 2012, *Poly (ethylene oxide)*, Elsevier, ISBN: 0-12-073250-5.
- [16]. Choukourov, A., Gordeev, I., Polonskyi, O., Artemenko, A., Hanyková, L., Krakovský, I., Biederman, H., 2010, Poly (ethylene oxide)-like Plasma Polymers Produced by Plasma-Assisted Vacuum Evaporation, *Plasma Processes and Polymers*, 7(6), 445-458.
- [17]. Bubb, D., M., Ringeisen, B., R., Callahan, J., H., Galicia, M., Vertes, A., Horwitz, J., S., Chrisey, D., B., 2001, Vapor deposition of intact polyethylene glycol thin films, *Applied Physics A*, 73(1), 121-123.
- [18]. Sajid, M., Siddiqui, G., U., Kim, S., W., Na, K., H., Choi, Y., S., Choi, K., H., 2017, Thermally modified amorphous polyethylene oxide thin films as highly sensitive linear humidity sensors, *Sensors and Actuators A: Physical*, 265, 102-110..
- [19]. Freeda, A., P., Rajivgandhi, S., Kumar, A., D., 2015, Preparation and study of polyethylene oxide and its derivative thin films, *IJAR*, 1(7), 07-20.
- [20]. Manoravi, P., Joseph, M., Sivakumar, N., 1998, Pulsed laser ablation—thin film deposition of polyethylene oxide, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 59(8), 1271-1277.
- [21]. Fahmy, A., El-Zomrawy, A., Saeed, A., M., Sayed, A., Z., El-Arab, M., A., E., Shehata, H., A., Friedrich, J., 2017, One-step synthesis of silver nanoparticles embedded with polyethylene glycol as thin films, *Journal of adhesion science and Technology*, 31(13), 1422-1440.
- [22]. Kuang, P., Han, X., L., Cao, X., Z., Xia, R., Zhang, P., Wang, B., Y., 2017, Tunable monoenergy positron annihilation spectroscopy of polyethylene glycol thin films, *Chinese Physics B*, 26(5), 057802.
- [23]. Martínez-Tong, D., E., Miccio, L., A., Alegria, A., 2017, Ionic transport in the amorphous phase of semicrystalline polyethylene oxide thin films, *Soft matter*, 13(33), 5597-5603.
- [24]. Raju, G. G. 2017, *Dielectrics in electric fields*, CRC press, ISBN-13: 978-1-4822-3113-7.
- [25]. Kao, K., C., 2004, *Dielectric phenomena in solids*, Elsevier, ISBN: 0-12-396561-6.
- [26]. Moliton, A., 2007, *Applied Electromagnetism and Materials*, Springer Science & Business Media, ISBN-13: 978-0387-38062-9.
- [27]. Kremer, F., Schönhals, A., (Eds.), 2012, *Broadband dielectric spectroscopy*, Springer Science & Business Media, ISBN: 978-3-642-62809-2.
- [28]. Yakut, S., Ulutas, K., Deger, D., 2018, Plasma discharge power dependent AC conductivity of plasma poly (ethylene oxide) thin films, *Thin Solid Films*, 645, 269-277.

- [29]. Yakut, S., Ulutas, K., Deger, D., 2019, Effect of thickness on the dielectric properties and glass transition of plasma poly (ethylene oxide) thin films, *Materials Science and Engineering: C*, 104, 109962.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Onur POTOK
Doğum Yeri	Mersin
Doğum Tarihi	09.09.1992
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	5537723433
E-Posta Adresi	onur.potok@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik Bölümü
Mezuniyet Yılı	01.07.2015

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

Makale ve Bildiriler	
Bozoğlu, D., Yakut, Ş., Ulutaş, K., Sağlam, U., Potok, O., Değer, D., “Dielectric Properties of TlSe Thin Films at Radio Wave Frequencies”, <i>Turkish Physical Society 34th International Physics Congress</i> , Bodrum, TÜRKİYE, 5-9 Eylül 2018, 155-155	
Bozoğlu, D., Yakut, Ş., Ulutaş, K., Sağlam, U., Potok, O., Değer, D., “Effect of Thickness on Dielectric Properties of Superhydrophobic Silica Aerogel Doped Polyurethane Films”, <i>Turkish Physical Society 34th International Physics Congress</i> , Bodrum, TÜRKİYE, 5-9 Eylül 2018, 159-159	