



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



Yüksek Lisans Tezi

**4000 G/MOL MOLEKÜLER AĞIRLIĞA SAHİP POLİETİLEN İNCE
FİLMLEİN DİELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Maria NAZ

Fizik Anabilim Dalı

Genel Fizik Programı

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Şahin YAKUT**

Şubat, 2021

İSTANBUL

Bu alışma,8.02.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafındanFizik Anabilim Dalı,Genel Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi şahin YAKUT(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fakülte

Prof. Dr. Hasan TATLIPINAR
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Fen-Edebiyat Fakültesi

Doç. Dr. Hulusi Kemal ULUTAş
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

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.

Proje Destekleri

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri



ÖNSÖZ

Yüksek lisans döneminde bana destek sağlayan İstanbul üniversitesi FEN Bilimleri Enstitüsü ve Fizik anabilim dalındaki hocalarıma saygı ve şükranlarımı sunuyorum.

Tez çalışmasında bana destek ve yardımcı olup, araştırmalarımı etkili bir şekilde yapılmasına olanak sağlayan, her türlü bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Şahin YAKUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans döneminde Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ'a ve Doç. Dr. H. Kemal ULUTAŞ'a, manevi destek ve yönlendirmelerinden dolayı kendimi müteşekkîr bilirim.

Tez sürecinde bana sağladığı manevi destekten dolayı eşim Tajammal HUSSAİN'a, aileme ve tüm yakınlarıma teşekkür ederim.

Şubat 2021

Maria NAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1.KAPASİTÖRLER.....	4
2.1.1.Sabit Elektrik Alanda Kapasitör	4
2.1.2. Dielektriği Mikroskopik Buyutta İncelenmesi	7
2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI	12
2.2.1. Elektronik Polarizasyon.....	12
2.2.2. İyonik Polarizasyon	13
2.2.3. Dipolar Polarizasyon	14
2.2.4.Ara Yüzey Polarizasyon	14
2.3. KAPASİTÖRDE DEĞİŞKEN ELEKTRİK ALAN VE DİELEKTRİK KAYIP	15
2.4. CLASIUS-MOSOTTI DENKLEMİ	19
2.5. DEBYE MODELİ	21
2.6. DRUDE MODELİ	24
2.7. ALTERNATİF İLETKENLİK.....	25
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	27
3.1. POLİMER ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI	27
3.1.1. Taşıyıcı seçim ve temizliği	27
3.1.2. Flaman Seçimi ve Hazırlığı	27
3.2. POLİETİLEN İNCE FİLM ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI	28
3.2.1. Örneklerin Üst ve Alt Elektrotlarının Hazırlanması.....	29
3.2.2. Malzemenin Hazırlanması.....	29
3.2.3. Kaplamanın Hızı ve Örnek Kalınlığının Belirlenmesi	30
3.3. ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYON	30

3.3.1. Broadband Dielektrik Spektroskopiyle Ölçümler	30
4. BULGULAR.....	32
4.1. FARKLI KALINLIĞA SAHİP OLAN POLİETİLEN İNCE FİMLERİN DİELEKTRİK SABİTLERİNİN AÇISAL FREKANS VE SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞİMİ	32
4.2. FARKLI KALINLIKLARDA HAZIRLAN POLİETİLEN İNCE FİLM DİELEKTRİK KAYIPLARININ AÇISAL FREKANS VE SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞİMİ	36
4.3. FARKLI KALINLIKLARDA HAZIRLANAN POLİETİLEN İNCE FİMLERİN ALTERNATİF İLETKENLİĞİNİN AÇISAL FREKANS VE SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞİMİ.....	40
4.4. FARKLI KALINLIKLARDA HAZIRLANMIŞ POLİETİLEN İNCE FİMLERİN ELEKTRİK MODÜLÜN AÇISAL FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI.....	44
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	49
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Polietilen molekülün bir bölümü.	2
Şekil 1.2: Polietilenin Gösterimi.	2
Şekil 1.3: LDPE, LLDPE, HDPE bağlar.	3
Şekil 2.1: Boşluk kondansatöründe, paralel plakalar arasında oluşan elektrik alan çizgileri.	5
Şekil 2.2: Bataryaya bağlanan boşluk ve dielektrikli kapasitörün kapasitans.	5
Şekil 2.3: Bataryaya bağlanan boşluk ve dielektrikli kapasitörün yüklenme miktarları.	6
Şekil 2.4: Elektrik dipol momenti.	8
Şekil 2.5: Dış elektrik alan yokken ve alan altında dipollerin dağılımı.	8
Şekil 2.6: Düzgün elektrik alan altında pozitif ve negatif yüke etkiyen tork.	9
Şekil 2.7: Dipolün dönme hareketine neden olan tork.	10
Şekil 2.8: Boş ve dielektrikli kapasitörde seçken Gauss yüzeyi.	11
Şekil 2.9: Elektronik Polarizasyon.	13
Şekil 2.10: İyonik Polarizasyon.	13
Şekil 2.11: Dipolar Polarizasyon.	14
Şekil 2.12: Ara Yüzey Polarizasyon.	15
Şekil 2.13: Frekansın, dielektrik sabıtu ve dielektrik kayıp göre polarizasyon mekanizmaları.	15
Şekil 2.14: Değişken elektrik alan altında (a) Boş kapasitörün fazör diyagramıyla gösterimi, (b) Dielektrikli kapasitörün fazör diyagramıyla gösterimi.	16
Şekil 2.15: Dielektrik malzemede meydana gelen yerel elektrik alan.	19
Şekil 2.16: Debye Rölaksasyon Grafikleri.	23
Şekil 3.1: Örneklerin hazırlandığı sistem.	28
Şekil 3.2: Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer.	31

Şekil 4.1: 20nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	33
Şekil 4.2: 100nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	33
Şekil 4.3: 250nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	34
Şekil 4.4: 500nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	34
Şekil 4.5: 750nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	35
Şekil 4.6: 1000nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	35
Şekil 4.7: Oda sıcaklığında 1 kHz frekansta dielektrik sabitinin kalınlığa bağlı grafiği.	36
Şekil 4.8: 20nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	37
Şekil 4.9: 100nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	37
Şekil 4.10: 250nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	38
Şekil 4.11: 500nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	38
Şekil 4.12: 750nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	39
Şekil 4.13: 1000nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	39
Şekil 4.14: Oda sıcaklığında 1 kHz frekansta dielektrik kaybın kalınlığa bağlı grafiği.	40
Şekil 4.15: 20nm kalınlığı olan PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	41
Şekil 4.16: 100nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	41
Şekil 4.17: 250nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	42
Şekil 4.18: 500nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	42

Şekil 4.19: 750nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.....	43
Şekil 4.20: 1000nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.....	43
Şekil 4.21: Oda sıcaklığında 1 kHz frekansta alternatif iletkenliğinin kalınlığa bağlı grafiği	44
Şekil 4.22: 20nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	45
Şekil 4.23: 100nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	45
Şekil 4.24: 250nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	46
Şekil 4.25: 500nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	46
Şekil 4.26: 750nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	47
Şekil 4.27: 1000nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.	47
Şekil 4.28: Oda sıcaklığında 1 kHz frekansta Elektrik modülün kalınlığa bağlı grafiği.	48



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A	: Kapasitör plakalarının yüzey alanı
C_0	: Boşluk kapasitörün kapasitesi
C	: Dielektrikli kapasitörün kapasitesi
$\vec{D}$	: Elektrik deplasman
$\vec{E}$	: Elektrik alan
$\mathbf{E'}$	: Yerel elektrik alan
G	: Kondüktans
I	: Akım
I_0	: Yükleme akımının maksimum değeri
I_C	: Yükleme akımı
I_R	: Kayıp akımı
J	: Elektriksel akım yoğunluğu
K^*	: Kompleks dielektrik sabiti
K'	: Dielektrik sabit
K''	: Dielektrik enerji kaybı
M	: Elektriksel modül
p	: Elektrik dipol moment
$\vec{P}$	: Elektrik polarizasyon vektörü
R	: Elektrik direnç
$\tan\delta$	: Dielektrik kayıp
V_0	: Uygulanan potansiyelin maksimum değeri
V	: Voltaj
ϵ	: Dielektrik maddenin elektrik permitivitesi
ϵ_0	: Boşluğun elektrik permitivitisi
ϵ^*	: Dielektrik kompleks permitivite
ϵ'	: Elektrik permitivitenin gerçekte bileşeni
ϵ''	: Elektrik permitivitenin sanal bileşeni
σ_{ac}	: Alternatif iletkenliği
ω	: Açısal frekans

τ	: Rölaksasyon zamanı
α	: Polarlanabilme katsayı

Kısaltmalar	Açıklama
AC	: Alternatif akım / Alternatif Current
BDS	: Broadband Dielektrik Spektroskopi
DC	: Doğru akım / Direct Current
PE	: Polietilen
PVD	: Termal buharlaştırma yöntemi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

4000 G/MOL MOLEKÜLER AĞIRLIĞA SAHİP POLİETİLEN İNCE FİLMLERİN DİELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Maria NAZ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Şahin YAKUT

Yapılan çalışmada termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak 4000 g/mol polietilen (PE) ince filmler hazırlanmıştır. Film kalınlıkları 50, 100, 250, 500, 750, 1000 nanometre olarak belirlenmiştir. Birbirinden farklı olan filmlerin frekansına, kalınlığına ve sıcaklığına göre dielektrik sabiti (K'), dielektrik enerji kaybı (K''), AC iletkenlik (σ_{ac}) ve elektrik modülü (M') değerleri ölçülmüştür. Frekans aralığı olarak 1Hz-20MHz arası ve sıcaklık olarak 100°C ile -40°C arası belirlenmiştir. Sonuçlara dayanarak yapı içinde AC iletkenlik ve mümkün polarizasyon mekanizmaları tespit edilmiştir.

Şubat 2021, 69 sayfa.

Anahtar kelimeler: AC iletkenlik, dielektrik spektroskopisi, elektrik modülü, ince film, Polietilen, polarizasyon mekanizmaları.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF DIELECTRICAL PROPERTIES OF POLYETHYLENE THIN FILMS WITH A MOLECULAR WEIGHT OF 4000G/MOL

Maria NAZ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Şahin YAKUT

In this study, 4000g/mol polyethylene (PE) thin films were prepared by using thermal evaporation method. Film thicknesses are determined as 50, 100, 250, 500, 750, 1000 nanometers. The dielectric constant (K'), dielectric energy loss (K''), AC conductivity (σ_{ac}) and electrical modulus (M') values were measured according to the frequency, thickness and temperature of the films that differ from each other. The frequency range has been determined between 1Hz-20MHz and as the temperature between 100°C and -40°C. Based on the results, AC conductivity and possible polarization mechanisms were determined within the structure.

February 2021, 69 pages.

Keywords: AC Conductivity, Dielectric spectroscopy, Electric Modulus, Thin Film, Polyethylene, Polarization Mechanisms.

1. GİRİŞ

Polimerik maddeler hem endüstri hem de toplum hayatında önemli bir yer edinmektedir. [1]. Çeşitleri geniş olan bu malzemeleri çekici kılan elektriksel iletkenlik gibi özelliklerin geniş bir aralığa sahip olmasıdır. Mesela, bir taraftan bazı polimerik malzemeler 10^{-18} (S/m) elektriksel iletkenlik değerine sahip iken yine aynı sınıf malzemeler için bu değer 10^4 kadar çıktığı görülmüştür. Bu tarz özelliklere sahip olduğu için polimerik malzemeler insan hayatının hemen hemen her sektöründe yer almaktadır. Mesela, tıpta, ilaç, beslenme ürünlerinde, ulaşım endüstrisinde ve tekstil gibi çok alanlarda kullanılmaktadır [2]. Polimerik malzemeleri bu kadar geniş kapsamda kullanılmasının en başlıca sebeplerden kolay üretimi, şekillendirilebilmesi, kabul edilebilir seviyede mekanik özelliklere sahip olmalarının yanı sıra atmosferik koşullara karşı dayanıklı olması, elektrik, ısı ve sesi iletkenliklerinin iyi olması, kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmaları, hafif ve ucuz olması sayılabilir [3].

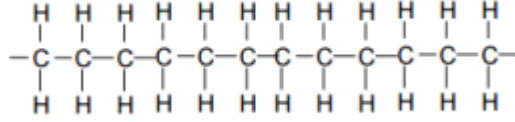
İnce film formunda zincir yapılarında meydana gelen değişikliklerden dolayı bu malzemeler polimerimse veya polimerik adı ile tanımlanır. Polimerik ve organik ince filmler son yıllarda gelişmiş uygulamalarda kullanılabilir olmalarından dolayı değer kazanmışlardır. Bu yapılar LED'lerde, sensörlerde, şarj edilebilir pillerde kullanılmaktadırlar.

Poly ve mer kelimelerin birleşimiyle meydana gelen Polimer kelimesi aslında moleküllerin kimyasal bağlarla bağlanarak oluşturulan yüksek molekül ağırlıklı malzemedir [4,5].

Polimerlerin temel yapısal özelliği, ana zincirinden kaynaklanır. Polimerlerde ana zincir üzerindeki tekrar eden moleküller ve atomlar arasındaki 1-1,5 Å arası bağ uzunluğuna sahip kuvvetli bağlar ve polimer zincirleri arasındaki bağlanmalarda gözlenen 3-4Å arası uzunluğa sahip zayıf bağlar bulunmaktadır [6]. Zayıf bağlar özellikle çapraz bağlı ve üç boyutlu polimer yapılarda görülmektedir. Genelde iki karbon atom arasındaki bağlardan oluşan polimer zincirleri aynı monomerle oluşursa homopolimer aksi taktirde ise monomer olarak adlandırılırlar.

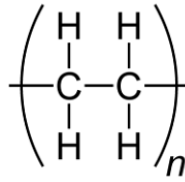
Polimerik malzemeleri sınıflandırmak için farklı tip parametreler kullanılabilir. Mesela kimyasal yapı olarak, mekanik özellikler, işleme türü olarak, fiziksel davranışlar ve kullanım alanı olarak sınıflandırabiliriz.

Yine polimerik malzemelerin gündelik hayattan bir örneği olarak Polietilen veya IUPAC adı alan Polieten (PE) malzemesi iki karbonun ve dört hidrojenin kendi araların bağından oluşur. Şekilde 1.1’de polietilen molekülün bir bölümü örnek olarak verilmiştir. Bu molekülde CH₂ atomlarında bulunan C atomları kendi aralarında uzun bir yapı oluşturmaktadır.



Şekil 1.1: Polietilen molekülün bir bölümü.

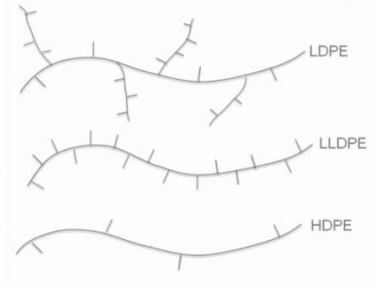
Polietilen, etilen (veya eten) monomerinin polimerizasyonundan yapılır. Polietilen kimyasal formülü (C₂H₄)_n’dir.



Şekil 1.2: Polietilenin Gösterimi.

Polietilen ilk olarak Alman kimyager Hans von Pechmann tarafından sentezlendi ve 1898’de diazometanı araştırırken tesadüfen hazırladı.

Polietilen esas olarak üç sınıflara ayrılır. Yoğunluğu 0,910 ile 0,940 g / cm³ arasında değişen düşük yoğunluklu polietilen (LDPE). Yoğunluğu 0,910 ile 0,920 g/cm³ arasında değişen yoğunluklu linear düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE). Yoğunluğu 0.941 ile 0.967 g/cm³ arasında değişen yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE). Şekil 1.3’te gösterilmektedir.



Şekil 1.3: LDPE, LLDPE, HDPE bağlar.

Polietilenin ticari uygulanabilirliği, diğer termoplastikleri göre düşük erime noktası ile sınırlıdır. Orta ve yüksek yoğunluklu polietilenin erime noktası 120-130°C aralığındadır. Düşük yoğunluklu polietilen için erime noktası 105-115 ° C arasındadır. Bu sıcaklıklar, polietilen tipine göre büyük ölçüde değişir, ancak polietilenin teorik erime üst sınırının 144-146°C olduğu bildirilmektedir.

Polietilen su emmez. Su buharı ve polar gazların geçirgenliği plastiklerden daha düşüktür. Polietilen uzun süre güneş ışığı maruz kaldığı durumda kırılgan hale gelir.

Geri dönüştürülmüş polietilen, çıkarılan plastiğin uzaklaştırılması ve geri dönüştürülmüş reçine üretimi sonucunda elde edilmektedir. Daha sonra işlenmemiş polietilen ile harmanlanabilir, ekstrüde edilebilir ve film elde edilerek torba ve boru üretimine dönüştürülebilir. Geri dönüştürülmüş polietilen, işlenmemiş polietilen kadar net değildir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1.KAPASİTÖRLER

2.1.1.Sabit Elektrik Alanda Kapasitör

İletken plakaların arasında boşluk veya dielektrikli bir malzeme yerleştirerek oluşturulan yapıya kapasitör denir. Plakalar arasında ΔV kadar potansiyel farkı uygulanırsa kapasitörün ΔV potansiyel farkına karşılık Q kadar yüklenmesi beklenir. Uygulanan potansiyel fark altında kapasitörün ne kadar yüklenebileceğin ölçüsü o kapasitörün kapasitesi olarak adlandırılır.

Boşluk(hava) kapasitörünün kapasitesi,

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

ifadesi ile tanımlanır.

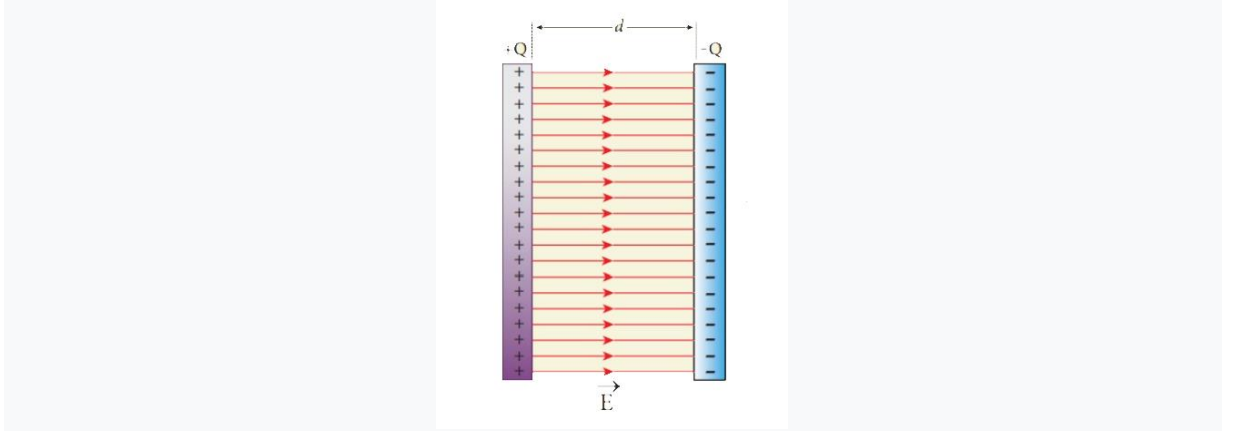
Kapasitenin birimi (SI) Farad (F), Q kapasitörde depolanan yük miktarıdır ve birimi Coulomb'dur, ΔV elektrotlar arasında oluşturulan potansiyel farktır ve birimi Volt'tur.

Kapasite değeri kapasitörün geometrisine ve paralel plakalar arasında kalan bölgenin özelliklerine bağlıdır.

Eğer kapasitör plakalar arasında boşluk varsa, kapasitörün kapasitesi

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

şeklinde tanımlanır. Burada A elektrotların yüzey alanı, d elektrotların arasındaki uzaklık ve ϵ_0 boşluğun permitivitesi $8.85 \times 10^{-12} Fm^{-1}$ dir.



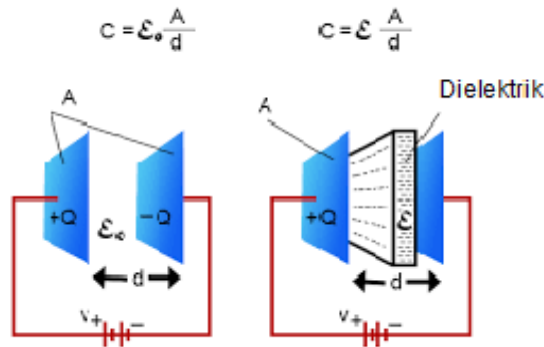
Şekil 2.1: Boşluk kondansatöründe, paralel plakalar arasında oluşan elektrik alan çizgileri.

Kapasitöre potansiyel farkı uygulandığında, iletken plakalar arasında şekil 2.1’deki gibi düzgün elektrik alan oluşturmak için iletken plakalar arası uzaklık, yüzey alanından merteye olarak çok küçük olması gerekir ($d \ll A$).

Kapasitörün plakaları arasına bir dielektrik malzeme yerleştirildiğinde, kapasitörün kapasitansı artar. C dielektrikli kapasitörün kapasitansı, ϵ dielektrik malzemenin permitivitesi olmak üzere,

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

ile ifade edilir.



Şekil 2.2: Bataryaya bağlanan boşluk ve dielektrikli kapasitörün kapasitans.

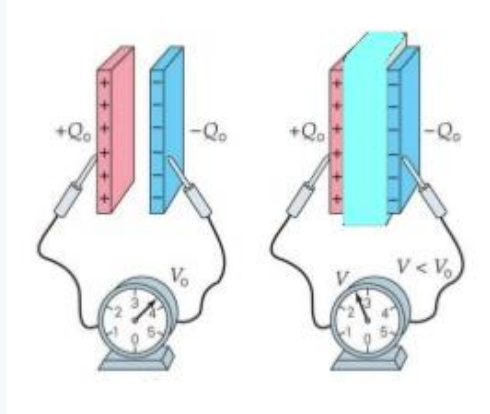
Bir kapasitörün plakaları arasına yerleştirilen elektriksel iletkenliği düşük malzemeye dielektrik denir. Kapasitörün iki plakası arasına bir dielektrik malzeme yerleştirildiğinde, bir kapasitörün kapasitansı artar. Dielektrik malzeme kapasitöre aşağıdaki katkıları sağlar:

Dielektrik sabiti, dielektrik malzemenin ayırt edici bir özelliğidir ve bir malzemenin diğerine değişir, kapasitansı κ faktörü ile artırır. Dielektrik, iki plaka arasında mekanik destek oluşturur ve plakaların birbirine dokunmadan daha yakın olmasını sağlar.

Plakaları arasında boşluk olduğunda C_0 kapasiteye sahip bir kapasitör, bir bataryaya bağlanarak V_0 voltajına yüklenir.

Kapasitör tamamen yüklendiğinde, batarya bağlantısı kesilir. Q_0 yükü plakalar üzerinde bulunur ve plakalar arasındaki potansiyel farkının V_0 olduğu ölçülür.

Plakalar arasında bir dielektrik yerleştirildiğinde, potansiyel farkın V gibi daha küçük bir değere düştüğü görülür. Dielektrik kapasitörün, boşluk kapasitörüne göre Şekil 2.2'deki gibi daha fazla yükleneceği görülecektir.



Şekil 2.3: Bataryaya bağlanan boşluk ve dielektrikli kapasitörün yüklenme miktarları.

$\kappa > 1$ olduğunda $\Delta V < \Delta V_0$ olacaktır.

$$V = \frac{1}{\kappa} V_0 \quad (2.4)$$

Bu denklemdeki sabit κ , plakalar arasındaki malzemenin dielektrik sabiti veya rölatif permitivite olarak adlandırılır. Dielektrik sabiti κ sadece bir sayıdır ve değeri yoktur.

Bir dielektrikli kapasitörün kapasitansı,

$$C = \frac{Q_o}{V} = \frac{Q_o}{\frac{V_o}{\kappa}} = \kappa \frac{Q_o}{V_o} = \kappa C_o \quad (2.5)$$

Denklem(2.5) plakalar arasındaki boşluğu tamamen bir dielektrik malzeme ile doldurarak kapasitans κ faktörü ile arttırılabileceğini söyler.

Bir dielektrikli kapasitörde depolanan elektrik enerjisi de etkilenir. Boş bir kapasitörde depolanan enerji U_o ve dielektrikli bir kapasitörde depolanan enerjisi U dır. Denklem (2.6) dielektrikli kapasitörde depolanan enerji gösterir.

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (2.6)$$

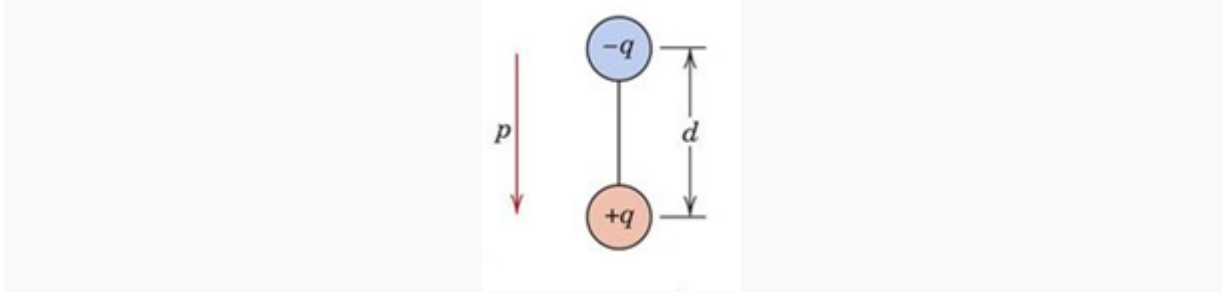
2.1.2. Dielektriği Mikroskopik Buyutta İncelenmesi

Aralarında d mesafesi bulunan pozitif (+q) ve negative (-q) yüklerinin oluşturduğu elektriksel yapı elektrik dipol olarak adlandırılır. Elektrik dipoller, dipol momentleriyle temsil edilir.

Elektrikli dipol moment,

$$p = qd \quad (2.7)$$

Şekil 2.4'de gösterilir. Burada d , negatif yük ile pozitif yük arası uzaklıktır. Dipol moment vektörü negatif yükten pozitif yüke doğrudur. Dipol momentin birimi (SI) coulomb-metre (Cm); bununla birlikte, atomik fizik ve kimyada yaygın olarak kullanılan birim debye'dir (D).



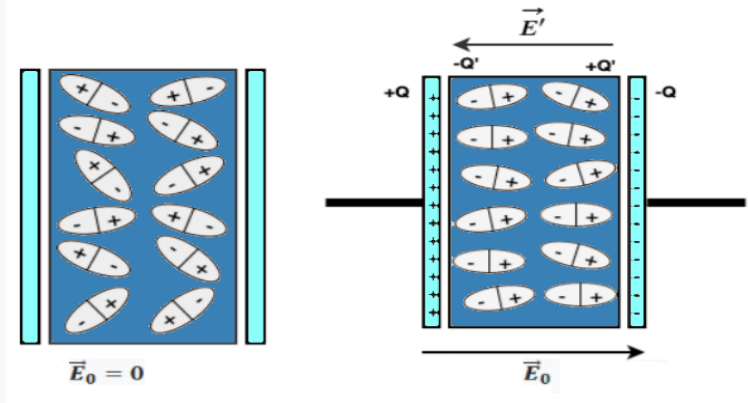
Şekil 2.4: Elektrik dipol momenti.

Kapasitör plakaları arasındaki dielektrik madde olduğunda, plakalar arasındaki potansiyel farkının azalmasıyla toplam $\vec{E}$ elektrik alan da

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\kappa} \quad (2.8)$$

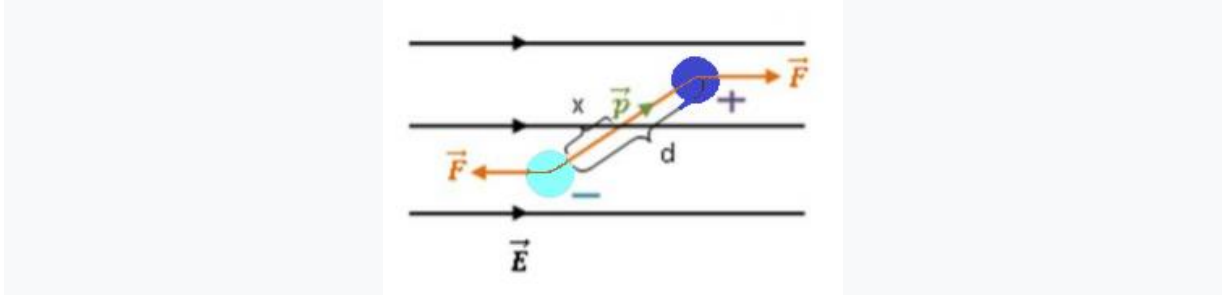
oranında azalmaktadır.

İdeal bir dielektrik malzemeyi inceleyerek elektrik alandaki azalmaya açıklayalım.



Şekil 2.5: Dış elektrik alan yokken ve alan altında dipollerin dağılımı.

Şekil 2.5'te elektrik alan olmadığı durumda dielektrik malzemesinde dipoller homojen dağılmaktadır. Dielektrikli kapasitör plakalar arasında V_0 potansiyel fark uygulandığında, plakalar arasındaki dielektrikli malzeme içerisindeki dipollerin üzerine bir tork etki eder. Dipoller tork etkisi altında elektrik alan doğrultusunda şekil 2.5'te gösterildiği gibi, bir dönme hareketine zorlanır. Dipollerin dönme hareketi, elektrik alanın frekansına ve sıcaklığa bağlıdır.



Şekil 2.6: Düzgün elektrik alan altında pozitif ve negatif yüke etkiyen tork.

Bu tork ilişkisini matematiksel olarak gösterelim; $\vec{F}$ Uygulanan kuvvet olmak üzere

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad (2.9)$$

olarak yazılır. Burada E uygulanan elektrik alan ve q yüklerin arasındaki mesafedir. Sistemde etki eden $\vec{\tau}$ tork ifadesi,

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F} \quad (2.10)$$

bağıntısı kullanılarak sistem üzerindeki tork hesaplanır.

$$|\vec{\tau}| = \tau = |\vec{d}| |\vec{F}| \sin\theta \quad (2.11)$$

$$\tau = Fx \sin\theta + F(d - x) \sin\theta \quad (2.12)$$

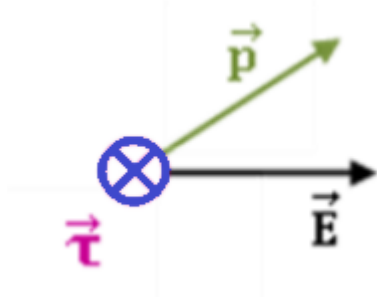
$$\tau = Fd \sin\theta \quad (2.13)$$

Uygulanan kuvvet $\vec{F} = q \vec{E}$ ve yük merkezleri arasındaki mesafe $d = p/q$, tork ifadesi

$$\tau = pE \sin\theta \quad (2.14)$$

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad (2.15)$$

şeklinde yazılır. Tork vektörel bir büyüklüğüdür ve şekil 2.7' de gösterildiği üzere yönü sayfa düzleminden içeri doğrudur.



Şekil 2.7: Dipolün dönme hareketine neden olan tork.

Kapasitör plakaları arasında dielektrik madde varken potansiyel farkında ve $\vec{E}$ elektrik alanda meydana gelen azalma Gauss Yasasından yararlanarak açıklanabilir.

Plakalar arasında boşluk varken: Paralel plakalı bir kapasitörün plakalar arasında boşluk olduğunda plakalar arasındaki $\vec{E}_o$ elektrik alanı bulmak için Gauss Yasası kullanılır. Gauss Yüzeyinden geçen net akı:

$$\phi_e = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = E_o A = \frac{Q}{\epsilon_o} \quad (2.16)$$

$$E_o = \frac{Q}{\epsilon_o A} \quad (2.17)$$

Boşluk kapasitörüne ait olan elektrik alan ifadesidir. Q/A birim alandaki yük miktarı, σ yük yoğunluğudur. Yük yoğunluğuna bağlı olarak elektrik alan ifadesi

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_o} \quad (2.18)$$

şeklindedir.

Plakalar arasında dielektrik malzame varken: Ege kapasitörün plakaları arasında dielektrik malzame varsa şekil 2.8'deki gibi bir Gauss yüzeyi seçilerek, elektrik alan ifadesi

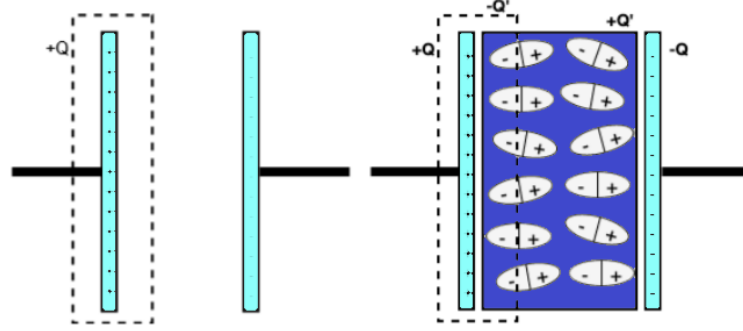
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA = \frac{Q-Q'}{\epsilon_o} \quad (2.19)$$

$$E = \frac{Q-Q'}{\epsilon_o A} \quad (2.20)$$

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

elde edilir. Q' , dielektrikli kapasitörün indüklenmiş yüküdür. Q ile Q' yükler zıt işaretli yüklerdir.

$Q - Q'$ belirlen Gauss yüzeyindeki yükü temsil eder.



Şekil 2.8: Boş ve dielektrikli kapasitörde seçken Gauss yüzeyi.

(2.21) denklemi, Elektrik alanın büyüklüğünü yük cinsinden yazılırsa,

$$E = \frac{E_0}{\kappa} = \frac{Q}{\kappa \epsilon_0 A} = \frac{Q - Q'}{\epsilon_0 A} \quad (2.22)$$

$$\frac{Q}{\kappa \epsilon_0 A} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} - \frac{Q'}{\epsilon_0 A} \quad (2.23)$$

$$Q' = Q \left(1 - \frac{1}{\kappa} \right) \quad (2.24)$$

olarak elde edilir.

Dielektrik malzemenin yüzeyinde indüklenmiş yük miktarı plaka yüzeyinde yük miktardan her zaman küçük olur ($Q' < Q$).

yük yoğunluğu olarak yazılırsa,

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

şeklinde olur.

(2.23) Denklemi sadeleştirildiğinde

$$\frac{Q}{A} = \epsilon_0 \left(\frac{Q}{\kappa \epsilon_0 A} \right) + \left(\frac{Q'}{A} \right) \quad (2.26)$$

şeklinde elde edilir. Denklim (2.26)'nin vektörel gösterimi

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

şeklindedir. Burda (2.27) denklemde ilk terim deplasman alanına, ikinci terim plakalar arasında uygulanan alana ve son terim de polarizasyon nedeniyle oluşan alana karşılık gelmektedir.

2.2. Polarizasyon Mekanizmaları

Dielektrik malzeme, elektrik alana polarize olarak cevap verir. Polarizasyon dipollerin elektrik alan etkisine verdikleri tepkiden meydana gelir. Polarizasyon vektörü kapasitör plakalarının yüzeylerindeki nütürleşmiş yüklerle ilgilidir. Ortalama dipol moment,

$$\vec{p} = \alpha \vec{E'} \quad (2.29)$$

şeklinde gösterilir. Burda α polarlanabilirlik katsayısıdır ve E' yerel elektrik alanı olarak tanımlamaktadır.

Polarizasyon vektörü,

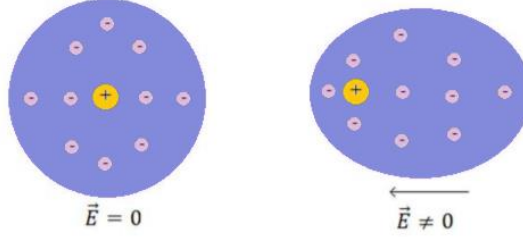
$$\vec{P} = (\kappa - 1)\epsilon_0 \vec{E} = N\alpha \vec{E} \quad (2.30)$$

şeklinde yazılır. Bu denklem dielektriğin makroskopik boyuttaki parametresi olan κ dielektrik sabiti değerini moleküler parametreler olan N , α ve E ile ilişkilendirir.

2.2.1. Elektronik Polarizasyon

Bir atomun yapısını göz önüne aldığımızda çekirdeği elektrik açıdan nötronlar ve pozitif yüklü protonlardan ve çevresi rastgele hareket eden elektron bulutundan oluşur. Dış elektrik alan uygulandığında atomum çekirdeği ve etrafındaki negatif elektron bulutu birbirinden ayrılır. Bu hafif yük ayrımı, atomun bir tarafını biraz pozitif ve karşı tarafını biraz negatif yapar. Meydana gelen polarizasyona elektronik polarizasyonu denir ve şekil 2.9'de gösterilmektedir. Dielektrik malzemelerde elektronik polarizasyon gözlenmektedir. Elektronik polarizasyon kısa bir süre

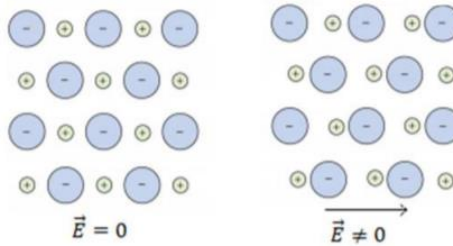
içerisinde meydana gelir. Elektronik polarizasyon yüksek frekanslarda yaklaşık 10^{15}Hz 'de gözlenmektedir. α_e Elektron bulutunun elektrik alanının etkisi altında çekirdeğin hareket etme kabiliyetini temsil eder ve diğer bir deyişle elektronik polarizlenebilme katsayısıdır.



Şekil 2.9: Elektronik Polarizasyon.

2.2.2. İyonik Polarizasyon

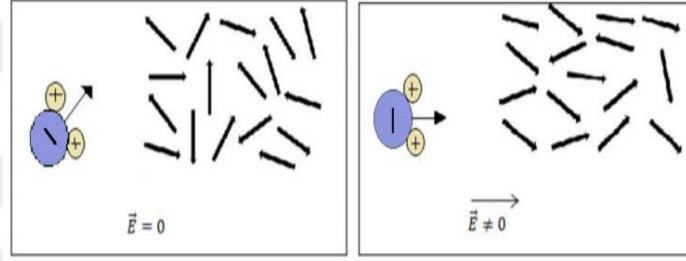
İyonik polarizasyon, iyonik kristal elementlerde meydana gelir. Dış elektrik alan yokken, kristal içindeki pozitif iyonlar negatif iyonları iptal eder ve toplam yük sıfır olur. Dış elektrik alan uygulandığında, negatif ve pozitif yük iyonlar yer değiştirir ve bu da indüklenmiş bir polarizasyona yol açar. Şekil 2.10'de elektrik alan nedeniyle iyonların yer değiştirmesini göstermektedir. İyonik polarizasyon α_i ile temsil edilir. Kristal örgüyü oluşturan iyonlar, elektronlara göre kütle bakımından daha ağır oldu için elektronik polarizasyona göre daha uzun sürede meydana gelir. İyonik polarizasyon genel olarak iyonik malzemelerde meydana gelir ve elektronik polarizasyona göre düşük frekanslarda gözlenir. İyonik polarizasyon yaklaşık 10^{13}Hz 'de gözlenmektedir.



Şekil 2.10: İyonik Polarizasyon.

2.2.3. Dipolar Polarizasyon

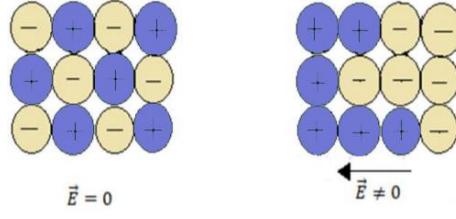
Dipolar polarizasyon elektrik alan yokken dipolleri sahip moleküllerde meydana gelir. Bu moleküllere dış elektrik alan uygulandığında, yapıda bulunan dipol momentlerinin üzerine bir tork etki eder. Bunun sonucunda moleküller uygulanan elektrik alanın gerektirdiği şekilde yönelme eğilimi gösterirler. Elektrik alan kaldırıldığında dipoller tekrar eski pozisyonu döner. Bu durum dipolar polarizasyon olarak adlandırılır ve α_d ile temsil edilir. Bu polarizasyon mekanizması 10^{-3} - 10^{-9} saniye aralığında gerçekleşir ve 1kHz-1MHz frekans aralığında gözlenir.



Şekil 2.11: Dipolar Polarizasyon.

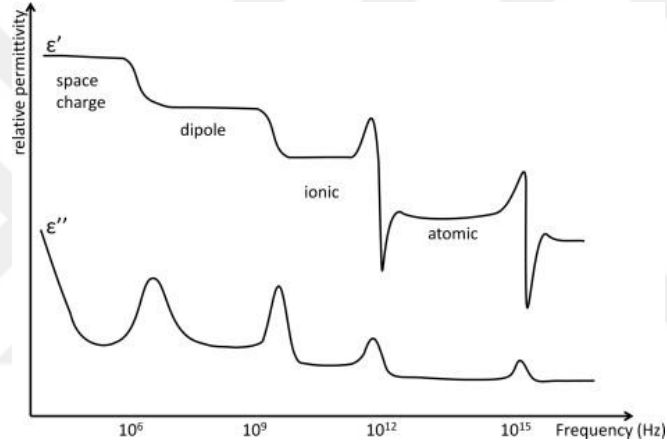
2.2.4. Ara Yüzey Polarizasyon

Ara yüzey veya uzay yükü polarizasyonu, iki malzeme arasındaki bir ara yüzde veya bir malzeme içindeki iki bölge arasında bir dış elektrik alan nedeniyle bir yük birikimi olduğunda meydana gelir. Bu tür elektrik polarizasyonu ve iyonik polarizasyondan farklıdır çünkü bağlı pozitif ve negatif yükleri, yani iyonik ve kovalent bağlı yapıları etkilemek yerine, arayüzey polarizasyon da serbest yükleri etkiler. Sonuç olarak, arayüzey polarizasyon genellikle amorf veya çok kristalli katılarda gözlenir. Şekil 2.12’de göstermektedir. Elektrik alanı, dielektrik malzemenin yalıtım özellikleri nedeniyle bir yük dengesizliğine neden olacaktır ve yaklaşık 10^{-2} Hz frekans civarında meydana gelmektedir. Burada α_s ara yüzeyler polarizlenebilme katsayısıdır.



Şekil 2.12: Ara Yüzey Polarizasyon.

Frekansın, dielektrik sabıtu ve dielektrik kayıp göre polarizasyon mekanizmaları şekil 2.13' de gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Frekansın, dielektrik sabıtu ve dielektrik kayıp göre polarizasyon mekanizmaları.

2.3. Kapasitörde Değişken Elektrik Alan ve Dielektrik Kayıp

Bir boşluk kapasitörünün plakaları arasında ω açısal frekanslı bir potansiyel farkı uygulanırsa, potansiyel fark

$$V = V_0 e^{i\omega t} \quad (2.31)$$

şeklinde ifade edilir. Kapasitörün plakalar yüzeyler

$$Q = C_0 V = C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.32)$$

ile yüklenir. Bu yüklenmeye neden olan yüklenme akımı;

$$I_c = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(C_0 V_0 e^{i\omega t}) = i\omega C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.33)$$

şeklindedir. Bu denklemi düzenlersek

$$\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} = i \quad (2.34)$$

olduğunu bildiğinden $i = e^{i\frac{\pi}{2}}$ (2.31) denklemde yerine yazarsak,

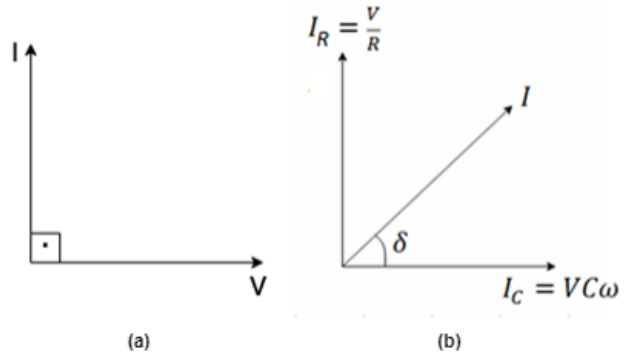
$$I_c = e^{i\frac{\pi}{2}} \omega C_0 V_0 e^{i\omega t} = \omega C_0 V_0 e^{i(\omega t + \frac{\pi}{2})} \quad (2.35)$$

ifade elde edilir. Bu eşitlikte $I_0 = \omega C_0 V_0$ yerine yazarsak,

$$I_c = I_0 e^{i(\omega t + \frac{\pi}{2})} \quad (2.36)$$

şeklindedir. Görüldüğü gibi yükleme akımı ve uygulanan potansiyel arasında 90° faz fark var. Yani akım uygulanan voltajdan 90° ileridedir. Bu durum şekildeki fazör diyagramıyla açıklanır. Bu durum sadece plakalar arasında tamamen boşluk bulunan kapasitör için geçerlidir. Böyle bir yapıya ait olan kapasitör ideal kapasitör olarak tanımlanır.

Eğer kapasitör plakalar arsında bir dielektrik malzeme varken kapasitöre potansiyel fark uygulanırsa dielektrik yapı polarlandığı zaman enerji kaybı meydana gelir. Bu durumda dielektrikte enerji kaybindan dolayı bir kayıp akım söz konusu olacaktır ve I_R ile gösterilir. Dielektrikli kapasitörde yükleme akım ile uygulanan voltaj arasında faz farkı 90° den farklı yani $90-\delta$ kadar olacaktır. Bu durum fazör diyagramıyla gösterilir.



Şekil 2.14: Değişken elektrik alan altında (a) Boş kapasitörün fazör diyagramıyla gösterimi, (b) Dielektrikli kapasitörün fazör diyagramıyla gösterimi.

Kondüktans $G = 1/R$ olmak üzere,

$$I_R = GV \quad (2.37)$$

Kapasitörün toplam akım,

$$I = I_c + I_R = (i\omega C + G)V \quad (2.38)$$

Yükleme akım ile toplam akım arasındaki faz açının tanjantı

$$\tan\delta = \frac{I_R}{I_c} = \frac{1}{\omega RC} \quad (2.39)$$

kayıp faktörü olarak tanımlanır. Yüklem akım ile kayıp akımların değişken elektrik alan etkisinde aralarındaki faz farkı göz önüne alarak dielektrik maddenin içerisinde yüklem ve kayıp bileşenleri olarak tanımlanabilecek bir ifade kullanılabilir. Bu amaçla burada dielektrik kompleks permitivitesi dielektriğin ayırt edici özelliklerinden biridir ve ifadesi

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'' \quad (2.40)$$

olarak yazılır. Toplam akım bu ifadeden yararlanarak;

$$I = (i\omega\varepsilon' + \omega\varepsilon'') \frac{C}{\varepsilon_0} V \quad (2.41)$$

$$I = i\omega C_0 \frac{\varepsilon' - i\varepsilon''}{\varepsilon_0} V \quad (2.42)$$

şeklinde yazılır. ε' elektrik permitivitenin gerçek bileşeni, ve ε'' elektrik permitivitenin sanal bileşeni,

κ^* , kompleks dielektrik sabiti

$$\kappa^* = \frac{\varepsilon^*}{\varepsilon_0} \quad (2.43)$$

şeklinde tanımlanır ve ifadesi

$$\kappa^* = \kappa' - i\kappa'' \quad (2.44)$$

κ' Dielektrik sabiti, κ'' dielektrik enerji kaybıdır.

Dielektrikli kapasitör için fazör diyagramı dikkate alınarak toplam akım ifadesi,

$$I' = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} CV_0 e^{i\omega t} = i\omega CV_0 e^{i\omega t} \quad (2.45)$$

$$C = \kappa^* C_0 \quad (2.46)$$

$$I' = i\omega(\kappa' - i\kappa'')C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.47)$$

$$I' = i\omega\kappa' C_0 V_0 e^{i\omega t} + \omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.48)$$

$$\tan\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t}}{\omega\kappa' C_0 V_0 e^{i\omega t}} = \frac{\kappa''}{\kappa'} \quad (2.49)$$

Burda kayıp faktörü ifadesinden, dielektrik sabitinin gerçekte ve sanal kısımların oran olduğu görülmektedir.

Dielektrikte gözlenen akımlar, akım yoğunluğu ile ifade edilir.

Akım yoğunluğu,

$$J = \frac{I_R}{A} = \frac{\omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t}}{A} \quad (2.50)$$

Elektrik alan ifadesi;

$$|\vec{E}| = \frac{V}{d} \quad (2.51)$$

$$C_0 = \frac{A}{d} \epsilon_0 \quad (2.52)$$

Denklem 2.51 ve 2.52 Akım yoğunluğu denklem 2.50'de yerini yazarsak

$$J = \frac{I_R}{A} = \frac{A \omega \epsilon_0 \kappa'' E_0 d e^{i\omega t}}{A} \quad (2.53)$$

$$J = \omega \epsilon'' E \quad (2.54)$$

$$\sigma_{AC} = \omega \epsilon'' \quad (2.55)$$

elde edilir. Denklem (2.55) dielektrik ortamın değişken alan iletkenliği denir.

2.4. CLASIUS-MOSOTTI DENKLEMİ

Polarizasyon, dipollerin üzerine etki eden elektrik alanının büyüklüğüne bağlıdır. Polarizasyonun değeri,

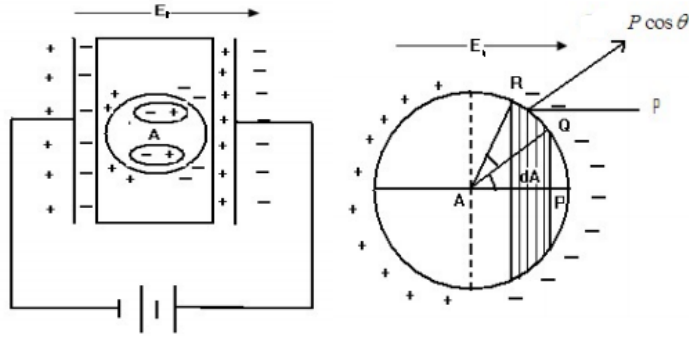
$$\vec{P} = N\vec{\mu} \quad (2.56)$$

olarak ifade edilir. Denklem 2.56'de N birim hacim başına dipol sayısı, $\vec{\mu}$, ortalama dipol momentidir.

Polarizasyon katsayısı, α ve lokal elektrik alan, $\vec{E}'$ olmak üzere, polarizasyon

$$\vec{P} = N\alpha\vec{E}' \quad (2.57)$$

olarak yazılır. Dış elektrik alanının etkisinde polar olmayan moleküllerin oluşturduğu dipollerin modelini inceleyelim. Bir referans molekül üzerine etkiyen yerel alan, dış elektrik alanının etkisiyle meydana gelir. Şekil 2.15'deki modeli göz önüne alınarak açıklanır.



Şekil 2.15: Dielektrik malzemede meydana gelen yerel elektrik alan.

Bu modelde madde içinde A referans molekülünün etrafının sanal bir küreyle çevrelendiğini varsayalım. A referans molekülün üzerine etkiyen bileşke elektrik alan, $\vec{E}_1$, plakaların arasında oluşan elektrik alanı, $\vec{E}_2$, dipoller arasında oluşan elektrik alan ve $\vec{E}_3$, civardaki dipollerden kaynaklanan elektrik alanı olmak üzere,

$$\vec{E}' = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \quad (2.58)$$

Burada $\vec{E}_1$ dış elektrik alan olduğundan $\vec{E}$ olarak alınır ve $\vec{E}_3$ elektrik alanı $\vec{E}_1$ ve $\vec{E}_2$, ye göre çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Küre içerisinde bir $\vec{dA}$ yüzey alanı seçersek, her alana karşılık gelen bir elektrik alan olacaktır. Yatay doğrultudaki elektrik alanlar birbirlerini nötrler. Oldukça küçük $\vec{E}_2$ elektrik alanı için,

$$d\vec{E}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq \cos \theta}{r^2} \quad (2.59)$$

$$dq = dA \times P_N \quad (2.60)$$

$$dq = dA \times P \cos \theta \quad (2.61)$$

$$dA = 2\pi r^2 \sin \theta d\theta \quad (2.62)$$

$$dq = 2\pi r^2 P \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (2.63)$$

$$dE_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\pi r^2 P \cos^2 \theta \sin \theta d\theta}{r^2} \quad (2.64)$$

$$dE_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} 2\pi P \cos^2 \theta \sin \theta d\theta \quad (2.65)$$

denklemini (2.65) elde edilir. İntegral çözümü ile, $\int dE_2 = E_2$

$$E_2 = \frac{2\pi P}{4\pi\epsilon_0} \int_0^\pi \cos^2 \theta \sin \theta d\theta \quad (2.66)$$

$$\vec{E}_2 = \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} \quad (2.67)$$

$$\vec{P} = \epsilon_0 (\kappa' - 1) \vec{E} \quad (2.68)$$

$$\vec{E}_2 = \frac{\vec{E}}{3} (\kappa' - 1) \quad (2.69)$$

sonucuna ulaşılır.

Bu sonucu yerine yazarak

$$\vec{E}' = \vec{E}^1 + \vec{E}^2 = \vec{E} + \frac{\vec{E}}{3} (\kappa' - 1) = \frac{\vec{E}}{3} (\kappa' + 2) \quad (2.70)$$

2.30 denklem ile 2.70 denklem eşitlediğimizde,

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

denklemini düzenlersek,

$$\frac{\kappa' - 1}{\kappa' + 2} = \frac{N\alpha}{3\epsilon_0} \quad (2.72)$$

elde edilir ve bu eşitlik Clausius-Mossotti eşitliği olarak adlandırılır. Bu eşitlik makroskobik büyüklük olan dielektrik sabiti (κ') ile mikroskobik büyüklük polarizasyon sabiti (α) ilişkilendirmektedir. Clausius-Mossotti eşitliği dielektrik sabiti (makroskobik büyüklük) ile polarizasyon sabitin (mikroskobik büyüklük) arasında ilişki kurar.

2.5. Debye Modeli

Bir dielektrik malzemeye elektrik alan uygulanırsa, dipoller salınım hareketi yaparlar ve birbirlerine sürtünürler. Elektrik alan etkisi altında dipollerin hareketi sonucu oluşan polarizasyon zamanın bir fonksiyonu olarak değişimler gösterir. Bu tanımlama doğrultusunda $t=0$ anında polarizasyon

$$P_{\infty} = P_E + P_A \quad (2.73)$$

ile gösterilebilir. Burada P_{∞} elektrik alan etkisi ile anlık polarlanma(kutuplanma) olup P_E elektronik polarizasyon ve P_A atomik polarizasyonun toplamıdır. Zaman ilerledikçe uygulanan değişken elektrik alanın yön değiştirmesinden dolayı dipoller döneceklerdir ve sonucu oluşan polarizasyon zamanın bir fonksiyonu olarak değişimler gösterir. Herhangi bir t anında, toplam polarizasyon,

$$P(t) = P_{\infty} + P_{(dipol)} \quad (2.74)$$

denkleminde olduğu gibi zamana bağlı bir polarizasyon elde edilir. Burda

$$P_{(dipol)} = (\epsilon - \epsilon_{\infty})E(t) \quad (2.75)$$

Dipolar polarizasyonunda meydana gelen değişim, dipollerin denge konumundan farklarıyla oranlanabileceği düşünülerek, dipolar polarizasyonun zamanla deęiőeceęi kabul edilmiő olur. Bu durum,

$$\frac{dP_{(dipol)}}{dt} = \frac{1}{\tau} (P_{s(dipol)} - P_{(dipol)}) \quad (2.76)$$

denklemini ile verilir. Burada τ dipolleri elektrik alan uygulandıktan sonra dipollerin iki denge durumu arasındaki zamandır ve rölaksasyon zamanı denir. $P_{s(dipol)}$, sabit elektrik alan etkisinde polarizasyondur ve

$$P_{s(dipol)} = (\epsilon_S - \epsilon_\infty)E \quad (2.77)$$

olarak yazılır. Polarizasyonun zamanla değişim denklemini

$$\frac{dP_{(dipol)}}{dt} = \frac{1}{\tau} [(\epsilon_S - \epsilon_\infty)E - P_{(dipol)}] \quad (2.78)$$

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

$$\frac{dP_{(dipol)}}{dt} + \frac{1}{\tau} P_{(dipol)} = \frac{1}{\tau} (\epsilon_S - \epsilon_\infty) E_0 e^{i\omega t} \quad (2.79)$$

şeklinde elde edilir. Denklemin integrali alındığında,

$$P_{(dipol)} = c e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{(\epsilon_S - \epsilon_\infty) E_0}{1 + i\omega\tau} e^{i\omega t} \quad (2.80)$$

Eőitlięin ilk terim değişken davranışını ifade eder, $t \rightarrow \infty$ iken sıfıra gider. İkinci terim ise kalıcı durumunu ifade eder.

$$P_{(dipol)} = \frac{(\epsilon_S - \epsilon_\infty) E_0}{1 + i\omega\tau} e^{i\omega t} \quad (2.81)$$

Değişken elektrik alan söz konusu olduğunda uygulanan alan ile polarizasyon vektörü arasındaki faz farkı,

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon'' \quad (2.82)$$

kompleks dielektrik sabiti şekilde gösterilir. Kompleks dielektrik sabiti relaksasyon zamanına bağlı olarak

$$\varepsilon^* = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + i\omega\tau} = \varepsilon_\infty + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)(1 - i\omega\tau)}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.83)$$

yazılır ve bu denklemi reel ve imajiner kısımlarına ayrılırsa,

$$\varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.84)$$

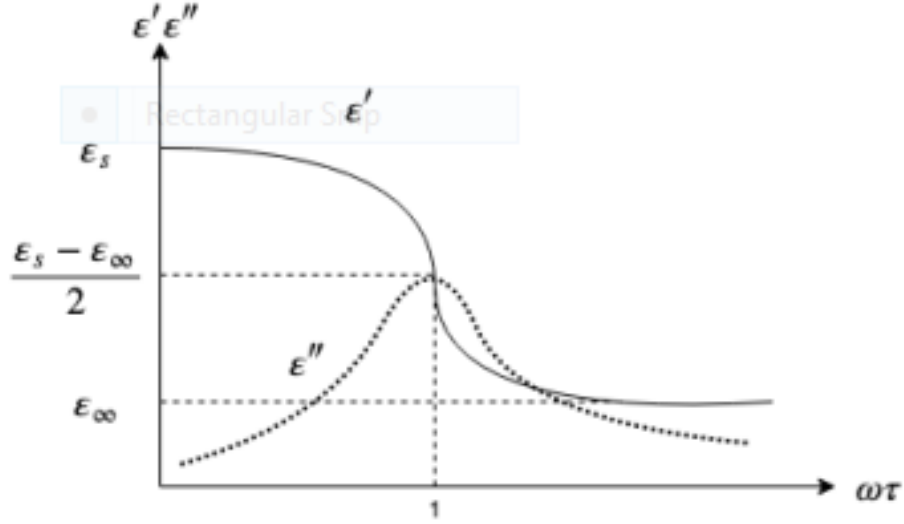
$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.85)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemler Debye Denklemleri olarak adlandırılırlar. Debye Denklemleri şekil 2.16'de görüldüğü gibi dielektrikte değişken elektrik alan altında meydana gelen polarizasyonda relaksasyon zamanının etkisini ortaya koyarlar.

Reel ve imajiner kısımların oranı,

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)\omega\tau}{\varepsilon_s + \varepsilon_\infty\omega^2\tau^2} \quad (2.86)$$

dipollerin dönüşleri sırasında sürtünmeler sonucunda meydana gelen enerji kaybı verir.



Şekil 2.16: Debye Rölaksasyon Grafikleri.

2.6. Drude Modeli

Drude modeli, serbest elektron modeli olarak da ifade edilir. Bu model metallerin ısı ısıtması, manyetik geçirgenlik, termal iletkenliği ve elektrodinamiği hakkında bilgi verir. Bu modelde elektron-elektron ve elektron-iyon etkileşmelerini dikkatte alınmaz ve elektrik alan içinde etkiyen kuvvet,

$$\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E} \quad (2.87)$$

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \quad (2.88)$$

şeklinde verilir. Burda q elektron yükü, m elektron kütlesi ve $\vec{E}$ elektrik alandır ve bu elektronların hızı

$$\vec{V}_S = \vec{V}_I + \vec{a}t \quad (2.89)$$

olarak yazılır. Burda $\vec{V}_S$ sürüklenme hızı ve $\vec{V}_I$ ilk hızıdır. $\vec{V}_I = 0$ olmak üzere denklemi düzenlersek

$$\vec{V}_S = \frac{q\vec{E}}{m} \tau \quad (2.90)$$

elde edilir. Akım yoğunluğu,

$$J = \frac{I}{A} = nqV_S \quad (2.91)$$

olmak üzere, n birim hacimdeki yük taşıyıcılarının sayısıdır. V_S ifadesini denklemde yerine yazarsak,

$$J = \frac{nq^2E}{m} \tau \quad (2.92)$$

$$J = \sigma \cdot E \quad (2.93)$$

$$\sigma \cdot E = \frac{nq^2E}{m} \tau \quad (2.94)$$

$$\sigma_0 = \frac{nq^2}{m} \tau \quad (2.95)$$

iletkenlik ifadesi el edilir. Bu ifadeye dc iletkenlik denir ve elektrik alana bağılı değildir.

2.7. Alternatif İletkenlik

Elektrik alan altında bağılı yüklerin hareketleri gözlemlendiğinde, sürtünme kuvvetlerini de göz önünde bulundurulmalıdır. Elektronu etkileyen kuvvet

$$\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E} + \vec{F}_d \quad (2.96)$$

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

$$m\vec{a} = q\vec{E} + \left(-\frac{m\vec{v}}{\tau}\right) \quad (2.97)$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E} - \frac{m\vec{v}}{\tau} \quad (2.98)$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{m\vec{v}}{\tau} = q\vec{E} \quad (2.99)$$

Alternatif alan altında elektrik alan ve hız zamana bağılı olacağından,

$$E(t) = E_0 e^{i\omega t} \quad (2.100)$$

$$V(t) = V_0 e^{i\omega t} \Rightarrow \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = i\omega V_0 e^{i\omega t} \quad (2.101)$$

ile verilir. Sonuçta

$$mi\omega V_0 e^{i\omega t} + \frac{m}{\tau} e^{i\omega t} = qE_0 e^{i\omega t} \quad (2.102)$$

$$V_0 m \left(i\omega + \frac{1}{\tau} \right) = qE_0 \quad (2.103)$$

$$V_0 = \left(\frac{q\tau}{m} \right) \frac{1}{1+i\omega\tau} E_0 \quad (2.104)$$

denklem (2.104) sürüklenme hızına eşit olacağından;

$$V_0 = V_S \quad (2.105)$$

Akım yoğunluğu yazarsak

$$J = nqV_S = \frac{nq^2\tau}{m} \frac{1}{1+i\omega\tau} \quad (2.106)$$

ve

$$J(\omega) = \sigma(\omega)E(\omega) \quad (2.107)$$

bu ifadede iletkenliği yerine yazdığımızda;

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1+i\omega\tau} \quad (2.108)$$

olur. $\sigma(\omega)$ 'nin paydasını reel yapıp sanal ve reel olarak yazdığımızda,

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1+\omega^2\tau^2} - \frac{i\omega\tau\sigma_0}{1+\omega^2\tau^2} \quad (2.109)$$

denklem 2.109'deki birinci terim reel, ikinci terim sanal ifade olacaktır. Burdaki reel olan terim

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1+\omega^2\tau^2} \quad (2.110)$$

AC iletkenlik diye adlandırılır. DC ve AC toplamda

$$\sigma_{top}(\omega) = \sigma_0 + \sigma(\omega) \quad (2.111)$$

şeklinde yazılır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. POLİMER ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Kaplama hücresi için gerekli şartları sağladıktan sonra kaplama işlemine başlanır. Bu şartlar; hücre içinin temiz olması, hazır olan taşıyıcı ve flamanın kirlilikten arındırılmış olması, malzemenin yerine oturtulması, içindeki basınç seviyenin uygun seviyede olmasıdır. Bu şartların hazırlık süreçlerinden kaplama işlemi hazırlık sürecimizin mihenk taşıdır, zira mikro düzeyde bir kirlilik sonuçlarımızı başkalaştırabilir. Kullandığımız her sarf malzemesi ve aleti mutlak surette temiz olmalıdır.

3.1.1. Taşıyıcı seçim ve temizliği

Kaplamanın yapılacağı taban malzemesi taşıyıcıdır. Taşıyıcı olarak 76x26x1 mm'lik ölçülere sahip cam taşıyıcılar (mikroskop camları) kullanıldı. İnce film örneklerin hazırlanması sırasında kullanılan taşıyıcının temiz olması önemlidir. Çünkü kapladığımız malzemenin tabana iyi tutunabilmesi ve sıcaklığa karşı dayanıklılığını önemli oranda etkiler. İyi bir filmin kaplanabilmesi için taşıyıcı yüzeyinin toz ve yağ gibi kirliliklerden iyi bir şekilde temizlenmesi gerekir. Cam taşıyıcıların temizliği 2 aşamada, mekanik ve kimyasal olarak yapılmıştır. Mekanik temizlik pamuk aracılığıyla deterjan kullanılarak yapıldı. Camların yüzeyi temizleyici madde ve yumuşak bir kumaş (tercihen pamuk) aracılığı ile ovalanır. Ovalama işleminin ardından cam taşıyıcılar, temizleyici maddeden arındırmak için akışkan su altında tutularak durulanır. Son olarak saf sudan geçirilir. Böylece kaba kirliliği fiziksel olarak atıldı. Ardından kimyasal temizlik için saflık oranı yüksek Aseton (CH_3COCH_3), Metil alkol (CH_3OH) ve saf su içerisine ayrı ayrı yerleştirilerek ultrasonik temizleyicide 10 dakika bekletildi. Temizlenen cam taşıyıcılar kurutmak için 100°C'ye ayarlanmış etüve yerleştirilir. Son olarak nem ve kirden uzak tutmak için desikatörde muhafaza edildi.

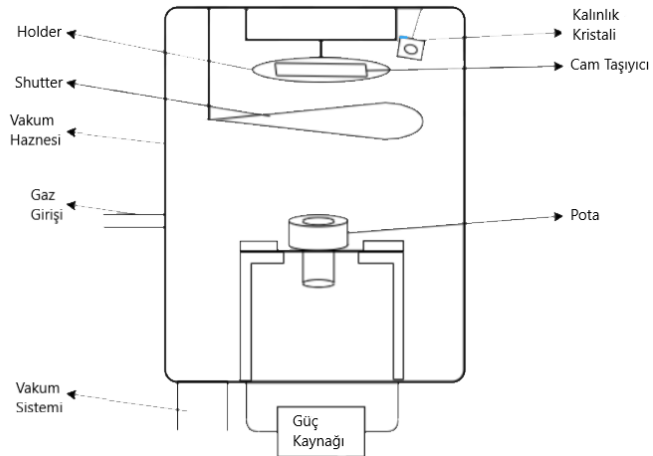
3.1.2. Flaman Seçimi ve Hazırlığı

Kaplanacak malzemenin buharlaşması için gereken ısıyı aktaran tele flaman denir. Flaman seçiminde dikkat edilecek birkaç önemli konu vardır. İlki flaman olarak kullanacağımız metalin erime sıcaklığının, buharlaştıracığımız malzemenin buharlaşma sıcaklığından daha yüksek olması gerekir ve ikincisi ise buharlaştıracığımız malzemeye göre flamanın tipine karar

vermeektir. Flaman için tungsten veya molibden malzemeler tercih edilir. Bu metallerin erime noktasının yüksek olması yüksek sıcaklıklara dayanabilmesini sağlar. Flamanın uçlarına potansiyel fark uygulanarak akım geçirilir ve akkor haline getirilir malzeme–buharlaştırılır. Muhakkak temizlenmesi gereken bu tellerin(flaman) temizlik işlemi degaz adı verilen yöntemle yapılır. Degaz; buharlaştıracak malzeme olmadan flamanın sisteme bağlanarak, vakum altındayken, üzerinden yüksek akım geçirilerek akkor haline getirilmesiyle gerçekleştirilir. Degaz işleminden sonra flaman kırılğanlaşacağı için, bu işlem önceside flaman bükülerek istenilen şekle sokulmalıdır. Bu çalışmada alüminyum elektrotları kaplamak için 1mm kalın spiral şeklindeki %99 saflıkta tungsten flaman kullanılmıştır.

3.2. POLİETİLEN İNCE FİLM ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Yapılan çalışmadaki polietilen ince filmler, termal buharlaştırmayla hazırlanmıştır. Bu sistemde buharlaştırma potası içerisinde yerleştirilmiş külçe polimerlerin (monomer) termal yolla (ısıtma) buharlaştırılması yapılarak taşıyıcı üzerine ince film formunda kaplanması yoluyla örnekler ince film formunda elde edilmiştir. Örnek kaplama işleminin gerçekleştirildiği vakum hücresi Şekil 3.1’ de görülmektedir. Kaplama hücresi, iç hacimi yaklaşık 30 lt, paslanmaz çelik yapıya sahip, silindirik şeklinde ve gerektiğinde cihaz ve ölçüm sistemi eklenebilmesi için dışardan girişlerle fonksiyonel hale getirilmiş olma, gibi özelliklere sahiptir.



Şekil 3.1: Örneklerin hazırlandığı sistem.

Örneklere; ilk adımda alt elektrot kaplaması yapılır, ikinci adımda polietilen kaplanır ve son olarak üst elektrot kaplama işlemi yapılır. Bu üç aşamanın ardından Al-PE-Al formunda kapasitif örnekler kullanıma hazır hale gelir. İnce filmlerde her kalınlıkta ölçüm değerleri farklı olacağından hazırlanan örneklerin kalınlığının belirlenmesi önemlidir.

3.2.1. Örneklerin Üst ve Alt Elektrotlarının Hazırlanması

Elektrotlar için %99,09 saflık değerine sahip alüminyum kullanıldı. 1 mm çapa sahip alüminyum telden 10 mm'lik parçaları alıp “u” şekli verildi. Şekil verilen Al parçalar flamanın üzerine asmadan önce aseton doldurulmuş beherde arındırıldı ve flamanın üzerine asıldı. Elektrot örnekleri için termal buharlaştırma işlemin basınç değeri $\sim 10^{-5}$ Torr değerindedir.

Temizlenmiş ve kurutulmuş cam, alt elektrot kaplama işlemi için alt elektrot maskesine yerleştirilir. Bir saat yüksek vakum altında, alt elektrot maskesi ve u şeklindeki alüminyum parçalar Edwards Model 6E cihazına yerleştirilerek, kaplama için bekletilir. Alüminyum tellerin buharlaşması için flamanın üzerinden 12A akım geçirildi. Bu kaplama işlemi ile alt elektrot elde edildi.

Üst elektrot kaplama işlemleri daha hassas ve özenle yapıldı. Zira üst elektrodun kaplanması için yerleştirileceği cam üstünde var olan alt elektrot, PE maddesi ile kaplı durumdadır. Malzemenin difüze olmaması için üst elektrot ısıya fazla maruz kalmadan kısa bir süre içinde kaplanır. Sırayla yapılan işlemler sonrası camın üstünde Al-PE-Al şeklinde 6 adet örnek el edilir.

3.2.2. Malzemenin Hazırlanması

Kullanılan Polietilen malzemesi 4000g/mol molekül ağırlıklarına sahip olup Sigma Aldrich firmasından alınmıştır. Malzeme kaplaması için, kaplanan alt elektrot cam maskeye yerleştirildi. Bakır potanın 2/3'ü 4000g/mol molekül ağırlığı sahip PE ile dolduruldu. Üzerinde 0,1 cm çaplı ve 5 mm uzunluğa sahip bakır teller yerleştirildi. Bununla polimer saçılması engellenir, pürüzsüz bir yüzey elde edilir ve kaplamak için hız ayarlanır. Torr International Inc. marka kaplama cihazına pota ve maske yerleştirildi. 4,5-5 saat aralığında $\approx 10^{-4}$ Torr civarı basınç altında kaplandı.

3.2.3. Kaplamanın Hızı ve Örnek Kalınlığının Belirlenmesi

Örnek hazırlama sürecinde kaplama hızını ve kaplanan örneklerin kalınlığı önemlidir. Bu parametreler belirlemek için Quartz Crystal Microbalance (QCM) yöntemi kullanılmıştır.

Örnek hazırlarken kaplama hızı 3-4 Å/s olarak belirlendi. 4000g/mol molekül ağırlıklarına sahip Polietilen malzemenin kalınlığın oluşturduğu farkları görebilmek için (20, 100, 250, 500, 750 ve 1000 nm) kalınlıklarda numuneler hazırlandı.

3.3. ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYON

Numunelerin elektriksel davranışlarını belirlemek için broadband dielektrik spektroskopisi kullanıldı.

3.3.1. Broadband Dielektrik Spektroskopiyle Ölçümler

Dielectric Spectroscopy (DS), dielektrik özelliğe sahip malzemelerin yapısındaki polarizasyon mekanizmaları hakkında bilgi edinmek, yapının alternatif iletkenliğini tespit etmek ve ayrıca polimer örneklerde yapıdaki çapraz bağ yoğunluğunu camısı geçiş sıcaklığı gibi parametrelere göre değişimlerini tespit etmek için kullanılır.

Dielektrik spektroskopisi incelemelerinde frekansa bağlı kapasite grafiklerden faydalanılarak yapıdaki rölaksasyon mekanizmaları hakkında bilgiler edinilebilir. Yapı içerisinde meydana gelen polarizasyon mekanizmalarının etkinlik bölgelerinin değiştiği yani bir polarizasyon mekanizmasının etkinliğini kaybedip diğerinin etkin hale geldiği bölgelerde frekansa bağlı dielektrik kaybın($\tan\delta$) davranışında bir takım maksimum frekanslar (pikler) ya da diğer adıyla rezonans frekansları gözlenir.

Yüksek veya düşük sıcaklık bölgelerinde polimer malzemenin türüne bağlı olarak polimer segmentlerinin mobilitelerinin değişimleri hakkında yani hal değişimleri hakkında bilgi veren bir başka rölaksasyon frekansı gözlenir. Bu frekans kullanılarak polimer yapıya ait olan camısı geçiş sıcaklığı incelenebilir.

Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and İmpedance Analyzer cihazı kullanarak dielektrik spektroskopisi ölçümleri alınmıştır.

Sistemde kullanılan cihaz ile;

Alternatif elektrik alanı 3 μ Hz-20 MHz aralığıyla uygular.

Sıcaklığa bağlı ölçümleri cryostat sistemi ile sıvı azot kullanarak 100 °C ile -40 °C arasında alınabilir.

Azot akışı ile kurutulmuş bir ortamda ölçüm yapılır.

Ölçüm sırasında örnek üzerine 3 mV ile -3 V arasında potansiyel fark uygulanır. Tez çalışmasında örneklerin üzerine 1 V (rms) potansiyel fark uygulandı.

Sistem bilgisayar üzerinden kontrol edilir.

Bu çalışmada örneklerin alt ve üst elektrotlarına kontak almak için ince bakır telleri ve indiyum ile lehim alındı. Alınan kontak örnekler cihaza bağlanarak 100°C – (-)40°C sıcaklık ve 1 Hz-20 MHz frekans aralığında kapasite(C) ve kayıp faktör(tan δ) değerleri ölçülmüştür.

Gerçek ve sanal parçaları belirlenen dielektrik katsayısı ölçülen kapasite ve kayıp değerlerinden elde edilmiştir. Daha sonra değişken alan iletkenliği (AC) hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin grafiği Origin Lab programıyla çizilir. Ölçüm cihazı şekil 3.2'dedir.



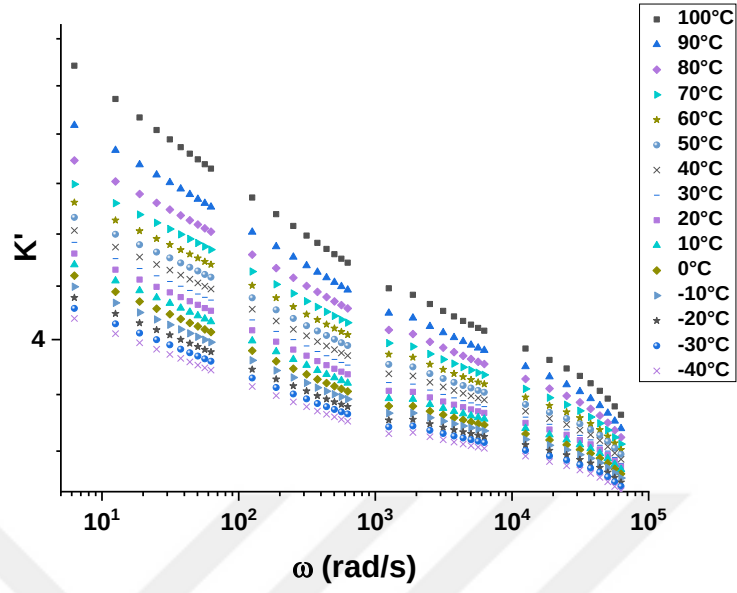
Şekil 3.2: Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer.

4. BULGULAR

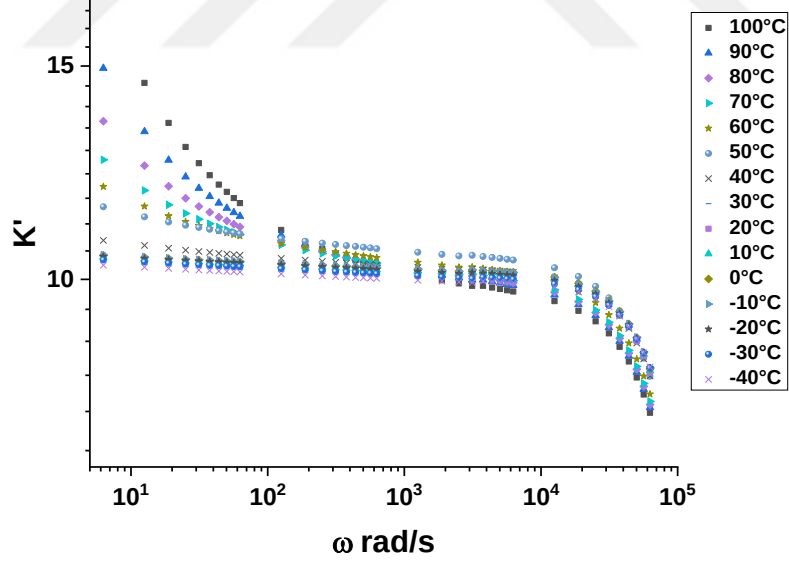
4.1. FARKLI KALINLIĞA SAHİP OLAN POLİETİLEN İNCE FİMLERİN DİELEKTRİK SABİTLERİNİN AÇISAL FREKANS VE SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞİMİ

4000g/mol PE(Polietilen) ince film dielektrik sabitlerinin frekansa ve sıcaklığa bağlı davranışları şekil 4.1 ile şekil 4.7 arasında verilmiştir.

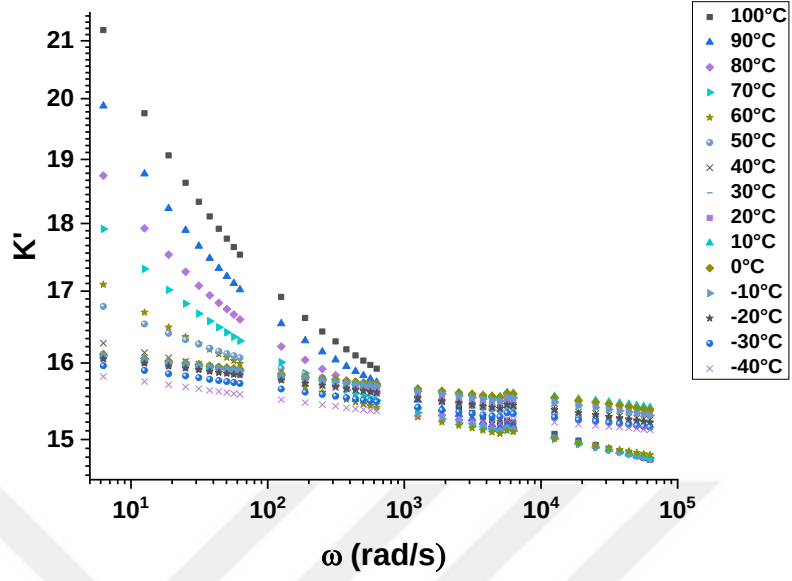
- Çalışılan kalınlık bölgesinde tüm örneklerde, dielektrik sabiti artan frekans ile azalmaktadır.
- Dielektrik sabiti artan sıcaklıkla arttığı gözlenmektedir.
- Kalınlık artıkça dielektrik sabitinin arttığı gözlenmektedir.
- Yüksek ve düşük frekans bölgesinde olmak üzere 2 polarizasyon mekanizması gözlenmektedir.



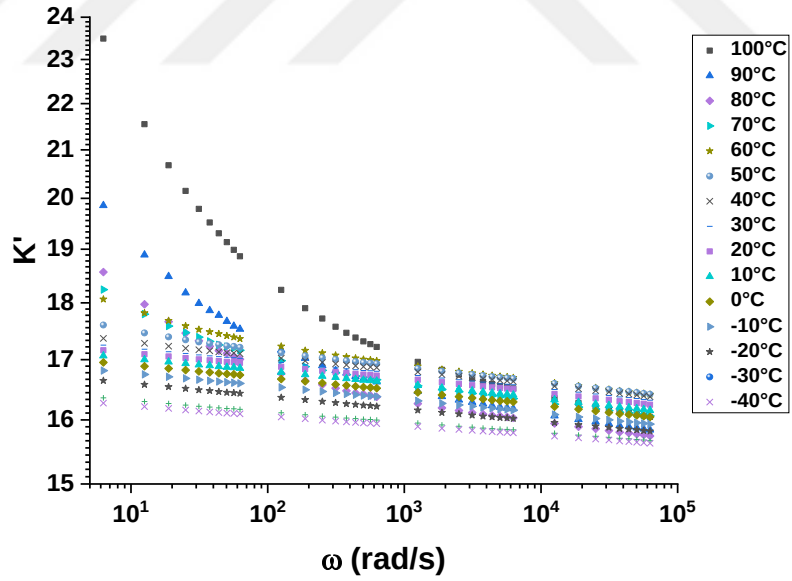
Şekil 4.1: 20nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



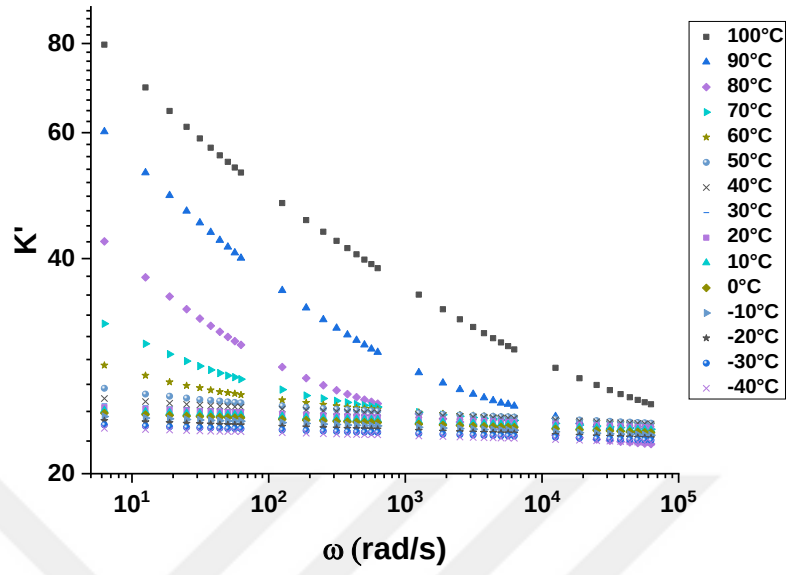
Şekil 4.2: 100nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



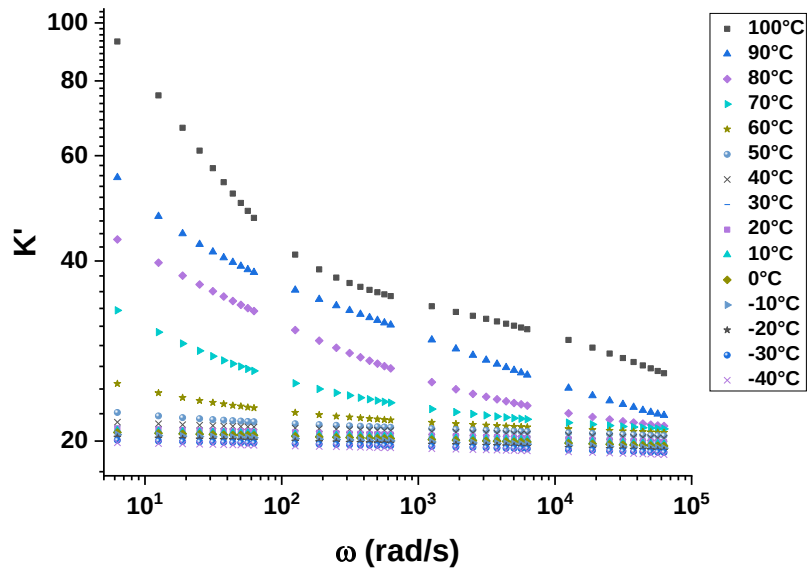
Şekil 4.3: 250nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



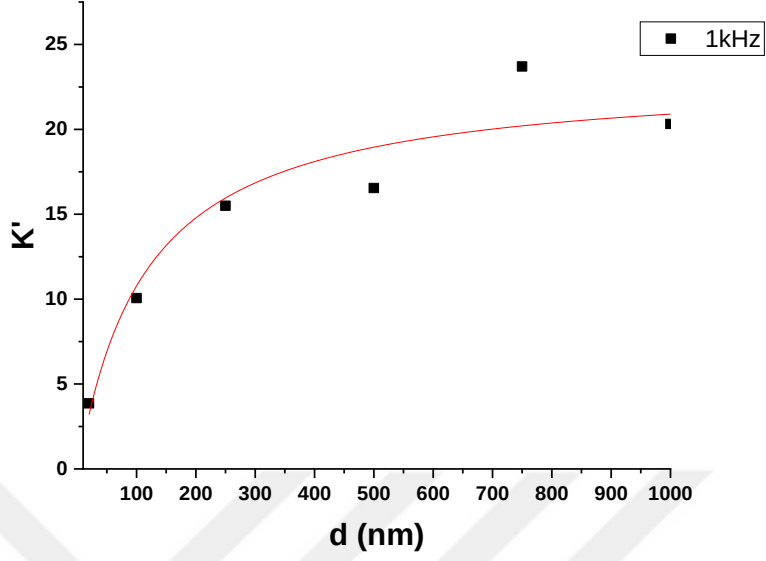
Şekil 4.4: 500nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.5: 750nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.6: 1000nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik sabitinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.

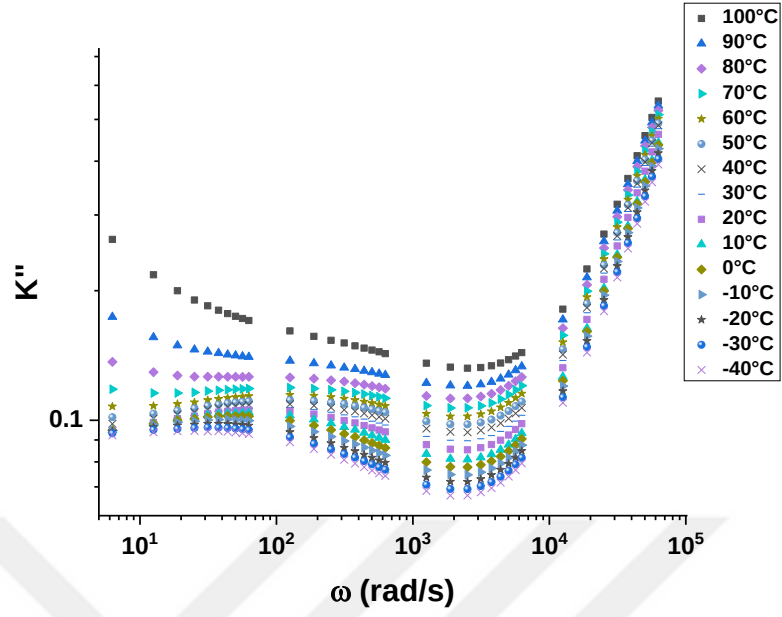


Şekil 4.7: Oda sıcaklığında 1 kHz frekansta dielektrik sabitinin kalınlığa bağlı grafiği.

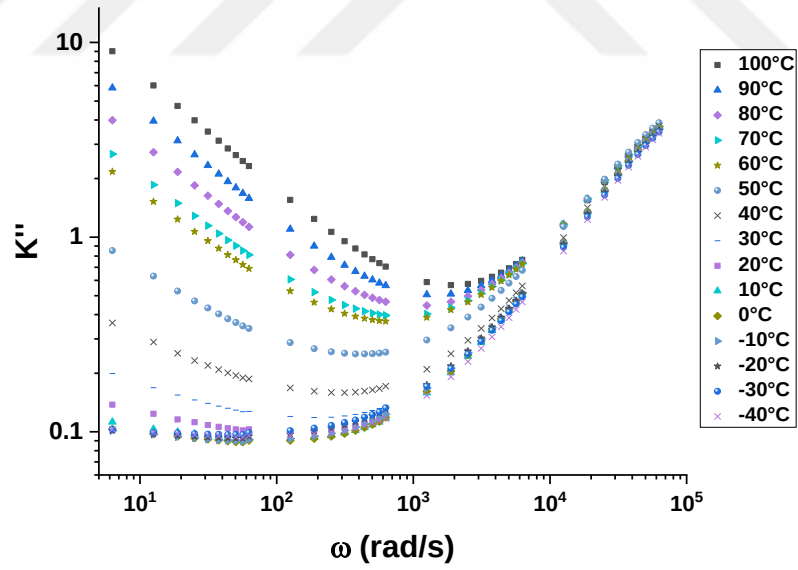
4.2. FARKLI KALINLIKLARDA HAZIRLAN POLİETİLEN İNCE FİLM DİELEKTRİK KAYIPLARININ AÇISAL FREKANS VE SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞİMİ

20nm, 100nm, 250nm, 500nm, 750nm ve 1000nm kalınlığındaki 4000g/mol PE ince filmlerin dielektrik kaybını frekansa ve sıcaklığa bağlı grafikleri verilmiştir.

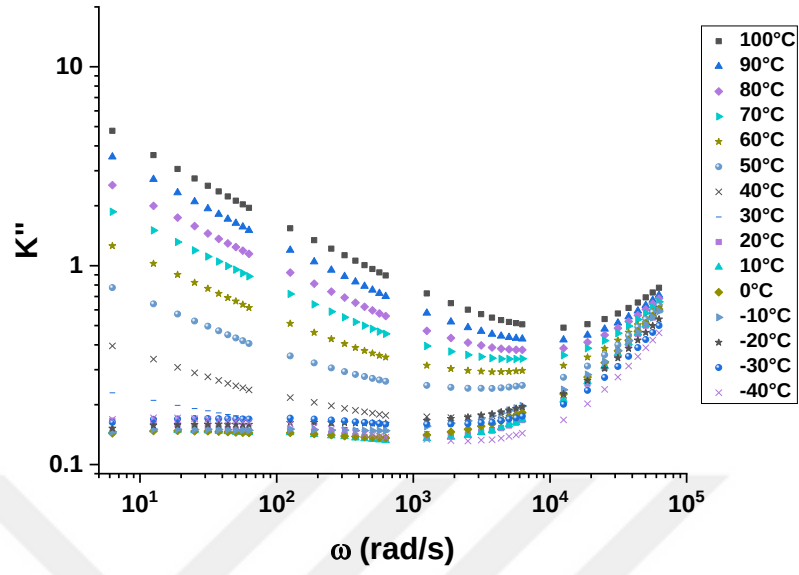
- Bütün kalınlıklarda dielektrik kaybı sıcaklığın artmasına bağlı olarak artış göstermektedir.
- Bütün kalınlıklarda dielektrik kaybın, frekansı arttırıldığında ilk olarak azalmasının ardından yüksek frekans bölgesine doğru bir maksimuma ulaştığı izlenmiştir.
- Bütün kalınlıklarda iki polarizasyon mekanizması gözlemlenmektedir.
- Kalınlık değerler arttıkça kayıp piklerin yüksek frekansa doğru ilerlediği görülmektedir.



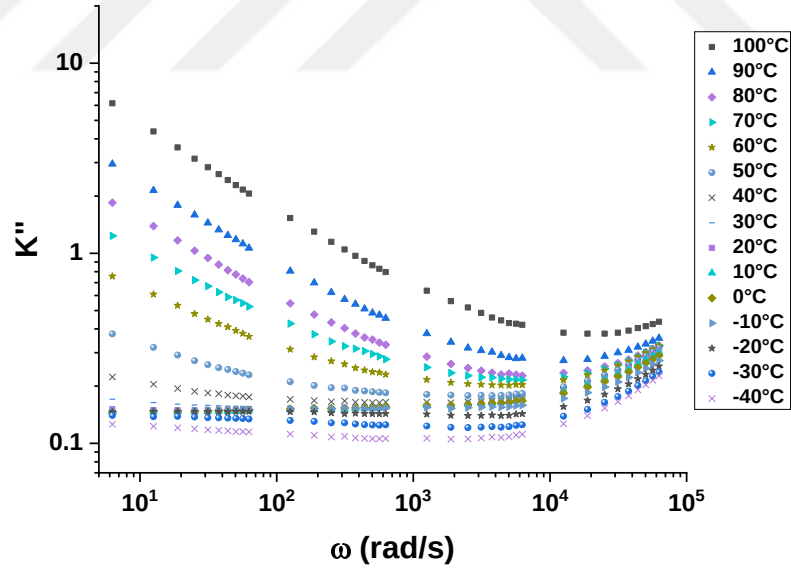
Şekil 4.8: 20nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



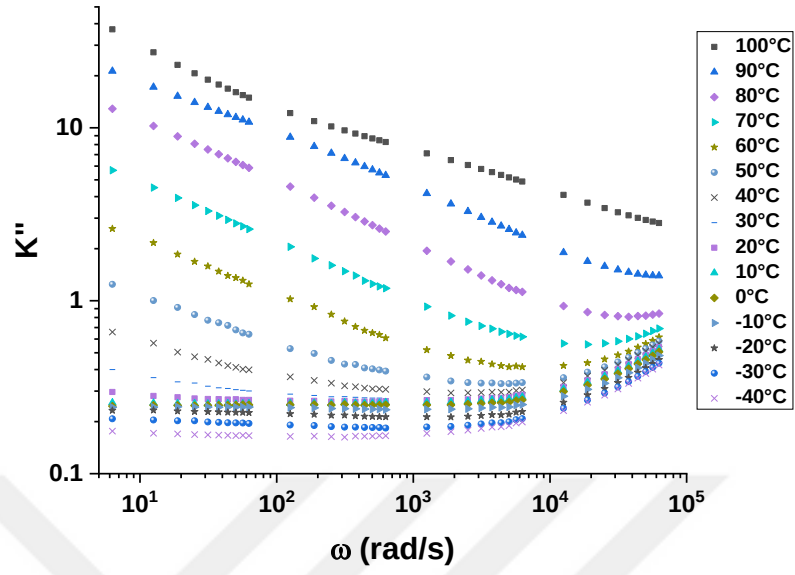
Şekil 4.9: 100nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



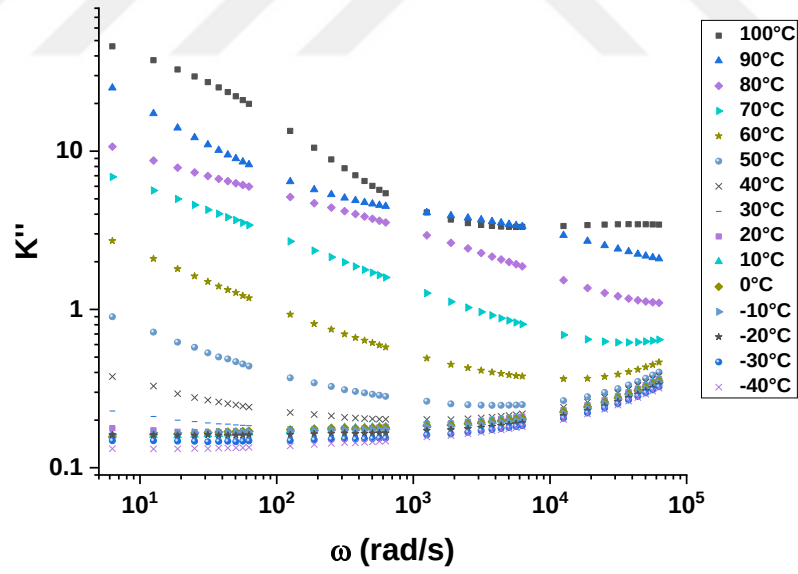
Şekil 4.10: 250nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



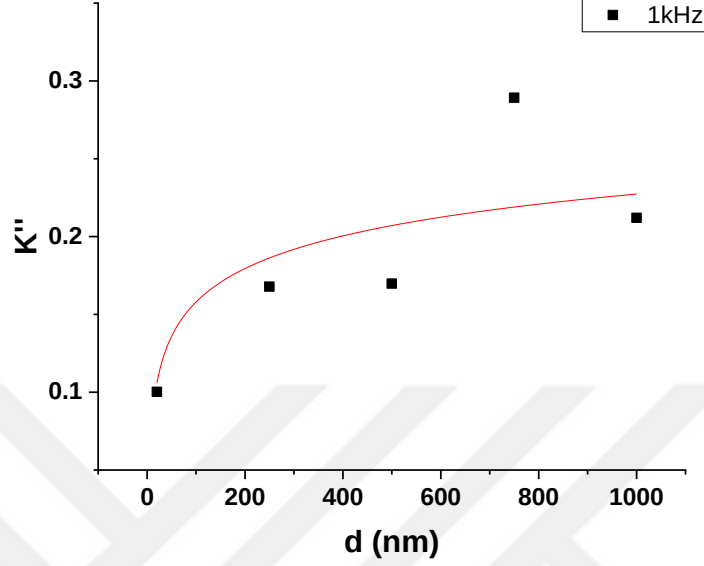
Şekil 4.11: 500nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.12: 750nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.13: 1000nm kalınlığı olan PE ince filmin dielektrik kaybının frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.

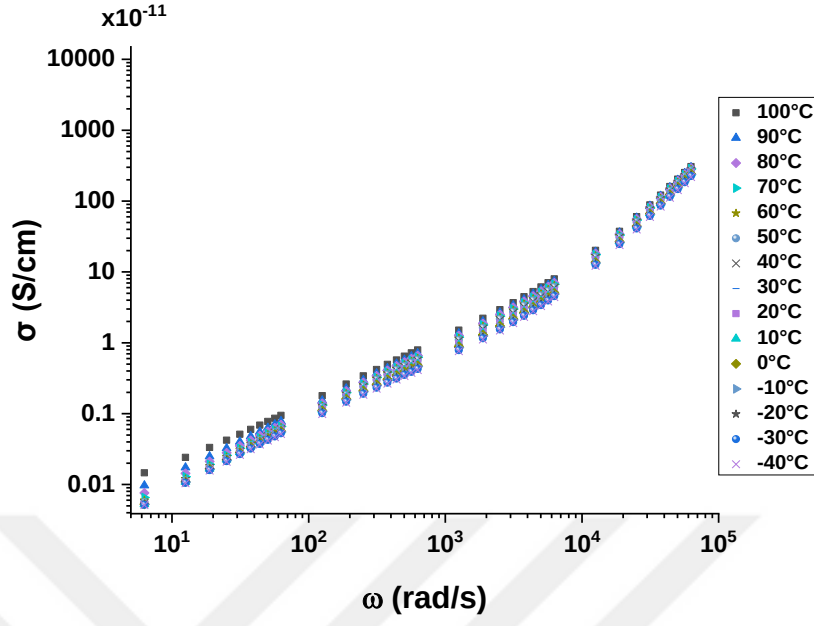


Şekil 4.14: Oda sıcaklığında 1 kHz frekansta dielektrik kaybın kalınlığa bağlı grafiği.

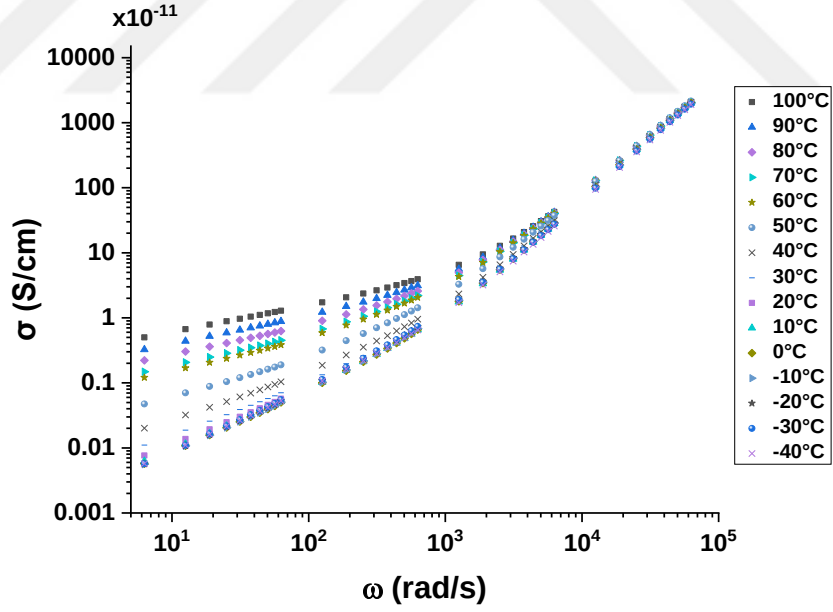
4.3. FARKLI KALINLIKLARDA HAZIRLANAN POLİETİLEN İNCE FİLMLEİN ALTERNATİF İLETKENLİĞİNİN AÇISAL FREKANS VE SICAKLIĞA GÖRE DEĞİŞİMİ

20nm, 100nm, 250nm, 500nm, 750nm ve 1000nm kalınlığındaki 4000g/mol moleküler kütleye sahip Polietilen (PE) ince filmleri ait alternatif iletkenlik değerlerinin frekansa ve sıcaklığa bağlı davranışı Şekil 4.15 ile 4.20 arasında verilmiştir.

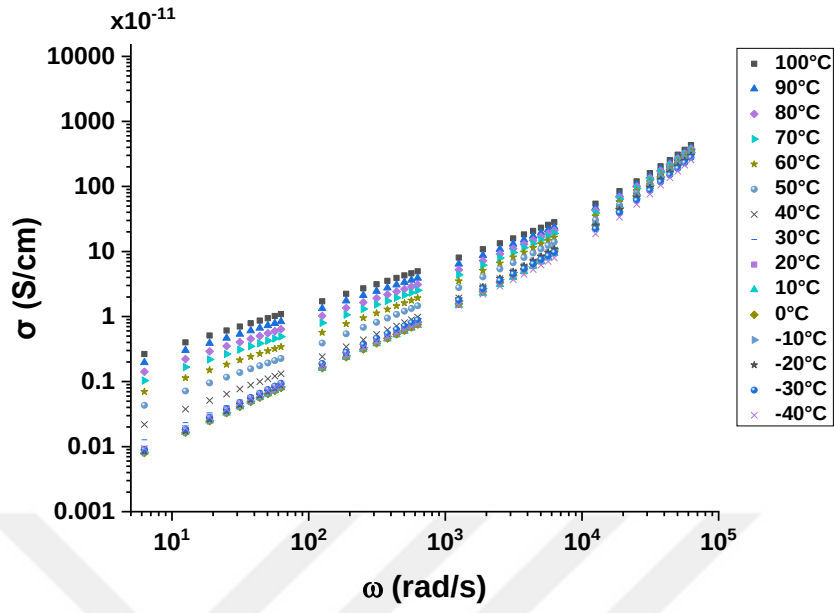
- AC iletkenliği; sıcaklık arttıkça arttığını gözlenmektedir.
- AC iletkenliğinin değişen kalınlıkla beraber neredeyse tüm frekans aralıklarında arttığını gözlenmektedir.



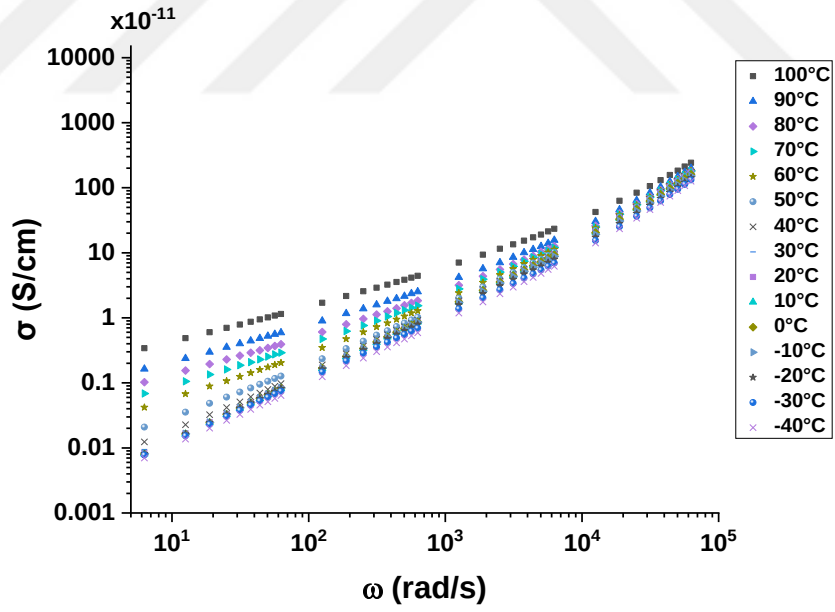
Şekil 4.15: 20nm kalınlığı olan PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



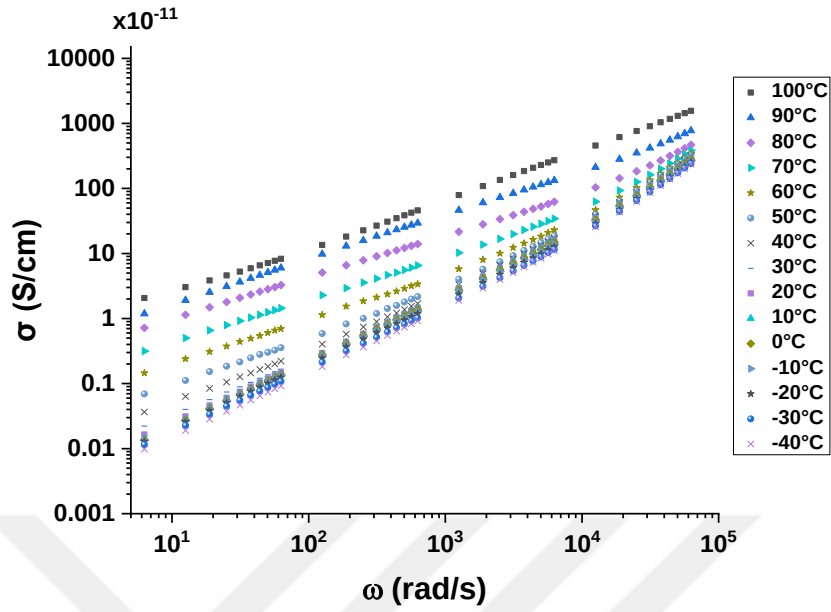
Şekil 4.16: 100nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



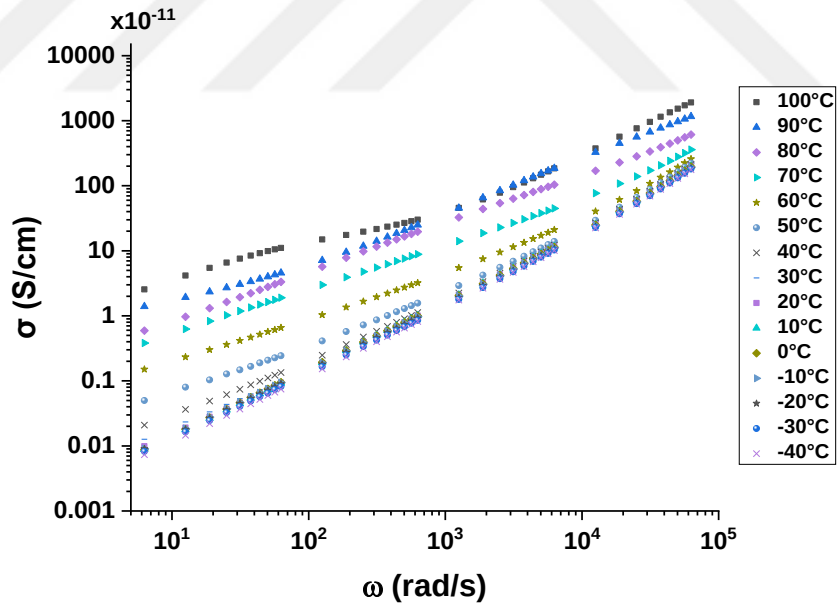
Şekil 4.17: 250nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



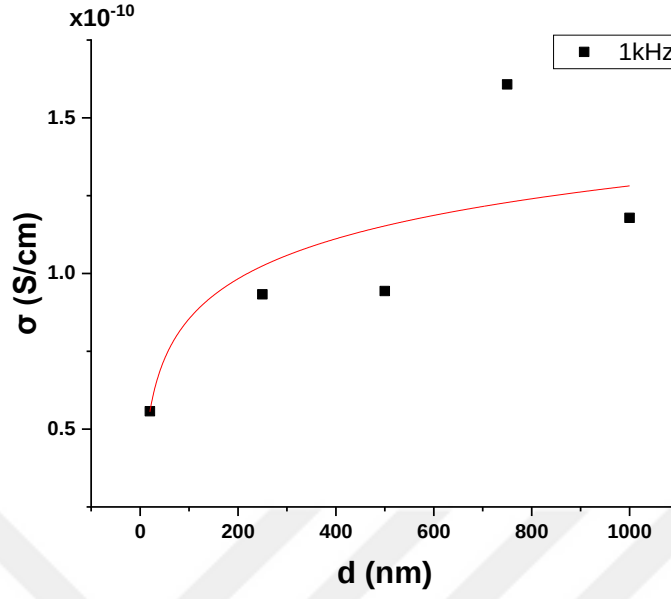
Şekil 4.18: 500nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.19: 750nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.20: 1000nm kalınlığı olan 4000 g/mol PE ince filmin alternatif iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



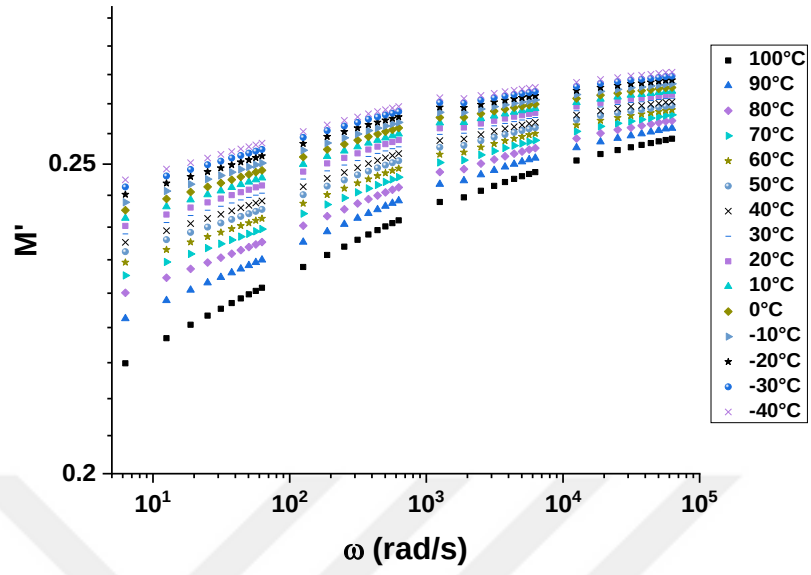
Şekil 4.21: Oda sıcaklığında 1 kHz frekansta alternatif iletkenliğinin kalınlığa bağlı grafiği

4.4. FARKLI KALINLIKLARDA HAZIRLANMIŞ POLİETİLEN İNCE FİMLERİN ELEKTRİK MODÜLÜN AÇISAL FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI

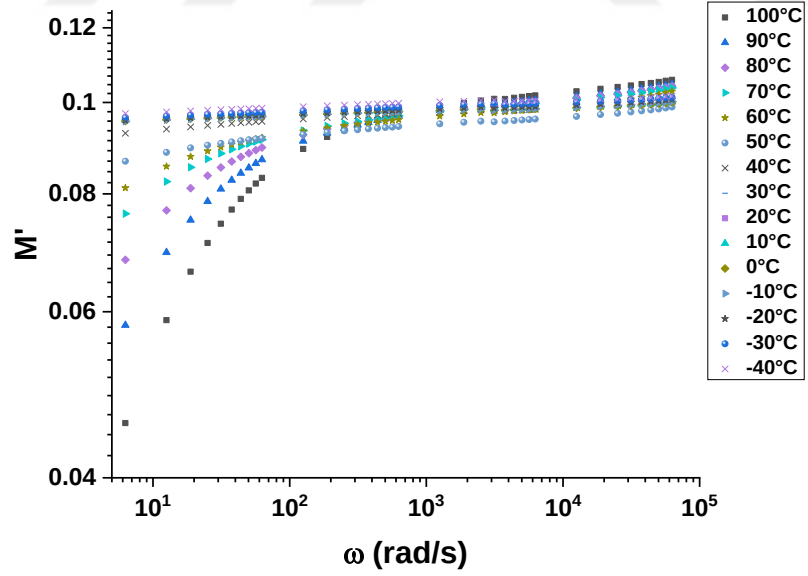
Elektrik modülü yapının uygulanan dış elektrik alana karşı dayanımının bir ölçüsüdür.

Uygulanan dış alana karşılık elektrik modül 100 °C ile -40 °C sıcaklıkta frekansa bağlı olarak incelendiğinde (Şekil 4.22 – 4.28):

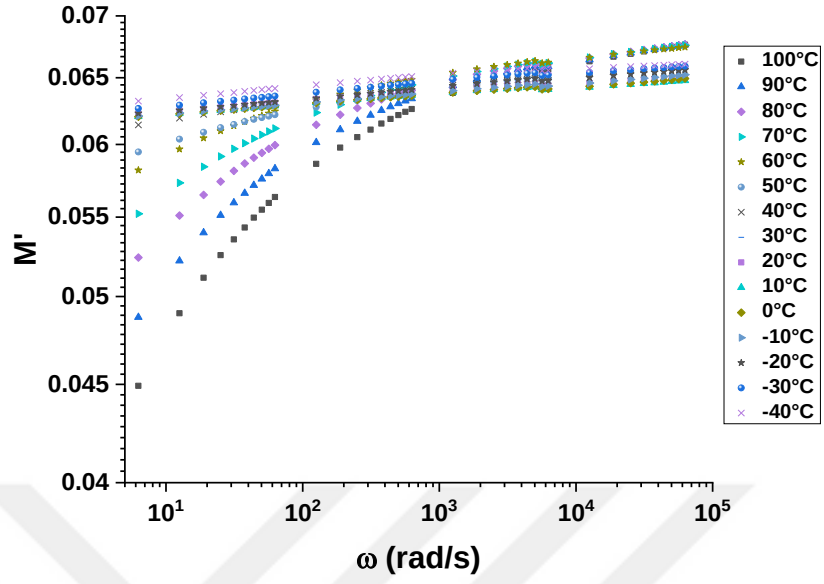
- Dielektrik sabitinin tersine artan frekans ile elektrik modül artmaktadır.
- Elektrik modülü artan sıcaklıkla azalmaktadır.
- 1kHz frekans bölgede artan film kalınlığıyla birlikte elektrik modül azalmaktadır.



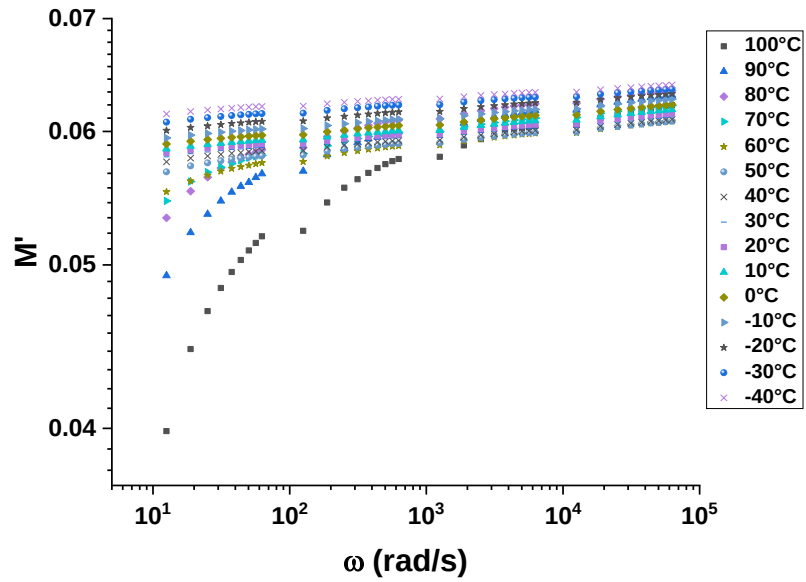
Şekil 4.22: 20nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



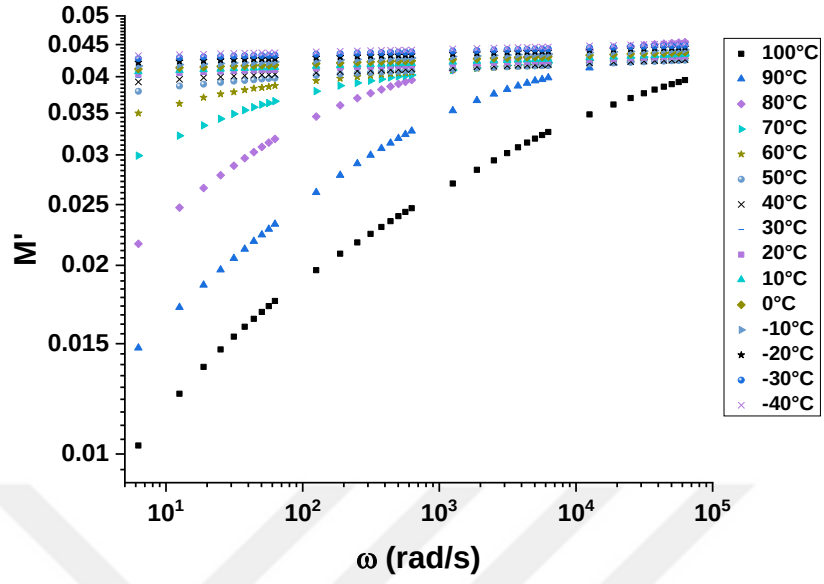
Şekil 4.23: 100nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



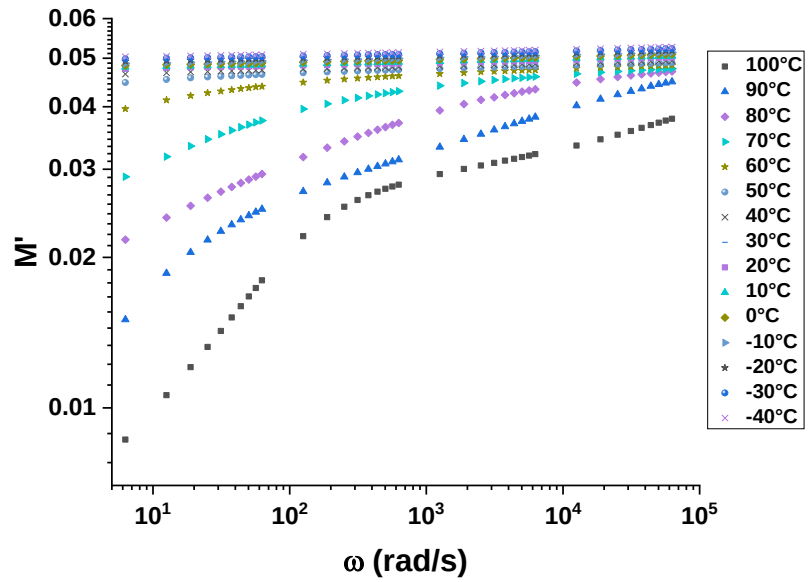
Şekil 4.24: 250nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



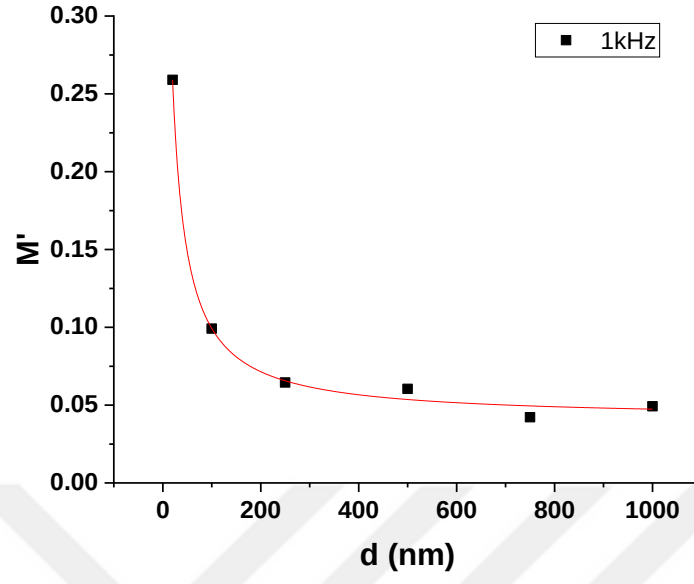
Şekil 4.25: 500nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.26: 750nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.27: 1000nm kalınlığı olan PE ince filmin Elektrik modülün frekansa ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 4.28: Oda sıcaklığında 1 kHz frekansta Elektrik modülün kalınlığa bağlı grafiği.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmada termal buharlaştırma kullanılarak 4000 g/mol polietilen(PE) ince filmler hazırlanmıştır. Film kalınlıkları 50, 100, 250, 500, 750, 1000 nanometre olarak belirlenmiştir. Birbirinden farklı olan filmlerin frekansına, kalınlığına ve sıcaklığına göre dielektrik sabiti (K'), dielektrik enerji kaybı (K''), AC iletkenlik (σ_{ac}) ve elektrik modülü (M') değerleri ölçülmüştür. Frekans aralığı olarak 1Hz-20MHz arası ve sıcaklık olarak 100 °C ile -40 °C arası belirlenmiştir. Sonuçlara dayanarak yapı içinde AC iletkenlik ve mümkün polarizasyon mekanizmaları tespit edilmiştir. Bulgular kısmında incelenen grafiklerde gözlenen davranışların değerlendirmesi her grafik grubu için ayrı ayrı verilmektedir.

Şekil 4.1-4.6 arasındaki grafikler yorumlandığında, arttırılan frekans ile dielektrik sabitin düştüğü, arttırılan sıcaklıkla dielektrik sabitin yükseldiği ve artan kalınlık ile yükseldiği gözlenmektedir. Dielektrik sabiti yapının polarize olabilmesinin bir ölçüsüdür. Polietilen yapı itibariyle ana zincirinde kovalent bağlı C-C bağlarından ve yan dallar olarak da C-H bağları içeren molekülerden oluşmaktadır. Gözlemlenen frekans bandında polietilen temel örgüsünün polarizasyonuna ilişkin yanıtlar aranacaktır [26-29]. Düşük frekanslarda moleküler zincirin uygulanan dış elektrik alanın değişimine uyum sağlayabilmesi ve alanın değişimini takip edebilmesi mümkün olacağından, dielektrik sabiti düşük frekanslarda büyüktür. Frekans arttıkça polimer zincir uygulanan elektrik alanın değişimini takip edemez ve polarize olabilme kabiliyeti azalır. Bu azalma dielektrik sabitinin artan frekans ile azalması şeklinde gözlenir [20, 24, 33, 35, 37]. Tüm örneklerde artan sıcaklıkla birlikte dielektrik sabiti de artmaktadır [50, 51]. Bu davranış yapıdaki polarlanmanın sıcaklığa bağlı olduğunu göstermektedir. Sıcaklık etkisi ile yapıda bulunan yüklerin kazanacakları termal aktivasyon enerjilerinin etkisi ile daha kolay polarize olabilmesi beklenebilir. Ayrıca, termal etki ile yapıda gözlenmesi olası genişlemeler ile birlikte yapı daha kolay polarize olunabilen bir şekle dönebilir. Bu da artan sıcaklıkla artan dielektrik sabitini açıklamakta kullanılabilecek bir değerlendirme olabilir. Şekil 4.7' deki dielektrik sabitine film kalınlığının etkisi incelendiğinde, film kalınlığı arttıkça dielektrik sabitinin de arttığı gözlenmektedir. Literatürden bilindiği üzere polimer ve polimerimsi ince filmlerin yükçü yüzey bölgelerine sıkı tutunacak olmaları göz önünde tutulabilir. Polimer ince filmin yükçüye dayanan alanı polarlanma kabiliyeti kötü olan tabakalar hatta literatürde geçen adı ile ölü tabaka olarak adlandırılırlar. [39, 40]. Bu alanların düşük kalınlık değerlerine sahip ince filmlerde polarlanmanın toplamına ciddi bir etkisi olacağı için, bu filmlerde dielektrik

sabitlerinin düşük olması muhtemeldir. Film kalınlıklarını arttırdıkça dielektrik sabitinin de yükselmesi beklenecektir. Ayrıca daha kalın örneklerde boşluk yoğunluğunun ince örneklerle kıyasla daha az olması olası ve literatürde bahsedilmiş bir durumdur. Bu da kalınlığın dielektrik sabit üzerinde etkili olmasına neden olabilir. Bu yorumlara ilave olarak daha kalın ince filmde daha fazla yükün bulunması da dielektrik sabitin daha kalın örneklerde daha yüksek değerlerde olmasını destekleyebilir [51-55]. Şekil 4.7’ de dikkat çeken bir başka davranış da dielektrik sabitin kalınlığa bağlı davranışında yüksek kalınlıklara gidildikçe frekanstan bağımsız bir davranışın gözlenmeye başlanmasıdır. Grafikte seçilmiş olan 1kHz frekans değerinde kalınlığa bağlı olarak yapıda bulunan yüklerin polarizasyonu daha önce sıralanan ölü tabaka, boşluk yoğunluğu ve yük miktarı gibi parametrelerden etkilenecek artan kalınlık ile birlikte kolaylaşmış ya da daha fazla meydana gelmiştir. Fakat belirli bir kalınlık değerinden sonra (Bu kalınlık 1000 nm’ biraz altında ya da biraz üzerinde olabilir) yapıda meydana gelebilecek daha düşük boşluk yoğunluğunun, etkisi oldukça azalmış ölü tabakanın ya da artan yük miktarının artışa neden olamayacağı bir polarizasyon doygunluğu oluşacaktır. Bundan dolayı da kalınlığın daha fazla artışı dielektrik sabitini etkileyemeyecektir. Frekanstan bağımsız dielektrik sabiti davranışının gözlenmeye başladığı bu kalınlıktan itibaren ince film yapının hacimsel (bulk) özellikler göstermeye başladığı söylenebilir.

Şekil 4.8-4.13 arasındaki grafiklerde, 4000 g/mol PE ince filmlerin her bir kalınlık değeri için, sıcaklık arttıkça dielektrik kaybı artmaktadır. Yapıya uygulanan elektrik alana karşı direnç ile oluşan, polarize olan ve olmaya çalışan yüklerin bu sırada uğradıkları dielektrik enerji kaybı olarak tanımlanır. Sıcaklık artışı ile dielektrik sabitin artışını destekler bir şekilde gözlenen dielektrik kayıptaki bu artış artan polarize olma eğiliminin bir sonucu olarak yüklerin birbirleri ve ortam ile daha fazla etkileşerek daha fazla enerji kaybetmesi olarak değerlendirilebilir. Dielektrik kaybın frekansa bağlılığı incelendiğinde, iki farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı gözlenebilmektedir [42]. Gözlenen yüksek frekanslarda gözlemlenen polarizasyon PE yan dallarının polarlanmasına ve alçak frekanslarda oluşan polarizasyon PE temel örgüsünün polarlanmasına sebep olabilir. Ayrıca Şekil 4.14’ te incelenen dielektrik kaybın kalınlığa bağlılığı da dielektrik sabitin kalınlığa bağlılığına benzer bir davranış ortaya koymaktadır [21]. Artan kalınlıkla birlikte artan dielektrik sabiti yani polarizasyon enerji kaybının da artmasına neden olacaktır. Belirli bir kalınlık değerine kadar kayıp artış gösterdikten sonra aynı dielektrik sabitin sergilediği gibi bulk sınır olarak adlandırılacak bir sınır kalınlık değerinden sonra kalınlıktan bağımsız olarak sabit bir değer alacaktır.

Şekil 4.15-4.20 arasındaki grafiklerde, 4000g/mol PE ince filmlerin alternatif iletkenliği her bir kalınlık değeri için, frekansın ve sıcaklığın artmasıyla, artış göstermektedir [47]. Artan frekans ile $\sigma_{toplaml} = \sigma_{DC} + A\omega^s$ bağıntısına uygun bir davranış göstermektedir. Bu davranış literatür ile uyumludur [49]. Dielektrik kaybın frekansa bağlı davranışını destekler nitelikte AC iletkenliğin frekansa bağlı davranışında da belirli sıcaklık değerlerinde iki farklı polarizasyon mekanizmasının varlığı gözlenmektedir. Bu polarizasyon mekanizmaları düşük frekanslarda ana zincirin polarizasyonuna, yüksek frekanslarda ise yan dalların polarizasyonuna atfedilebilir. Sıcaklığın AC iletkenliğe etkisi incelendiğinde kalınlık arttıkça sıcaklığın AC iletkenlik üzerinde daha belirgin etkisinin ortaya çıktığı ve artan sıcaklıkla iletkenliğin arttığı gözlenmektedir. Bu davranış boşluk yoğunluğunun ve ölü tabaka olarak adlandırılan taşıyıcı yüzeye oldukça iyi tutunan tabakaların kalınlığa bağlı olarak genel polarlanma üzerine etkisinin bir sonucu olarak düşünülebilir. Düşük kalınlıkla ince film örneklerde boşluk yoğunluğu ve ölü tabaka toplan polarizasyonu ve AC iletkenliği belirgin bir şekilde etkileyebilecek etkiye sahiptir. Bundan dolayı sıcaklık ile yapıya kazandırılmak istenen termal aktivasyon katkısının sıcaklığa bağlı olarak AC iletkenlikte belirgin bir farklılık ortaya çıkaramamasına neden olabilir. Bu değerlendirmenin tam tersi olacak şekilde film kalınlığı arttıkça boşlukların ve ölü tabakanın etkinliği azalacağından termal olarak yapıya verilen enerjinin polarlanmaya daha belirgin bir şekilde etkisi sıcaklık ile belirgin şekilde değişen AC iletkenlik değerleri ile gözlenebilecektir. Şekil 4.21' deki, AC iletkenliğin film kalınlığına bağlı davranışı incelendiğinde dielektrik sabit ve dielektrik kayıp verilerini destekleyecek şekilde AC iletkenliğin belirli bir kalınlığa kadar arttığı ve sonrasında kalınlıktan bağımsız hale geldiği görülmektedir. Daha kalın örneklerle gidildikçe AC iletkenliğin yaklaşık $1,5 \times 10^{-10}$ S/cm değerinde kalınlıktan bağımsız hale ulaştığı görülmektedir. Bu değer PE ince filmler için bulk AC iletkenlik değeri olarak adlandırılabilir.

Dielektrik sabiti uygulanan dış elektrik alanın etki altında yapıdaki yüklü varlıkların polarlanabilmelerinin ve gösteren rölaksasyon davranışının bir ölçüsü iken bunun tam tersi olarak yapının yüklü varlıkların polarize olmalarına karşı davranışı bir diğer deyişle gözlenen gecikmeler (retardation) ise elektrik modül olarak tanımlanır [32]. Şekil 4.22-4.27 arasındaki grafiklerinde, 4000g/mol molekül ağırlığına sahip polietilen (PE) ince filmlerin elektrik modülü her bir kalınlık değeri için, artan frekans ile birlikte artmaktadır. Elektrik modül (M') tanımı itibariyle yüklerin polarizasyonları sırasında uğrayacakları enerji kayıplarını da göz önüne aldığımızda elektrik alanine değişimine cevap vermelerinde meydana gelebilecek gecikmelerin

ölçüsüdür [31]. Bu da elektrik modülün frekansa bağlı olarak dielektrik sabitin davranışının tersi bir davranış sergilemesine neden olacaktır. Frekans arttıkça yapıda arttığı gözlenen polarlanmadan kaynaklanan gecikmeler elektrik modülün artışı şeklinde gözlenmektedir. Şekil 4.28’ deki görüldüğü gibi, film kalınlığına bağlı olarak elektrik modülün kalınlık arttıkça azaldığı görülmektedir. En düşük kalınlıktaki filmin elektrik modülü en yüksektir. Burada da yine boşluklara ve ölü tabakaya atıfta bulunmak yanlış olmayacaktır. Bahsedildiği üzere bu iki etken polarizasyonun azalmasına ve gecikmesine neden olabilecek faktörlerdir. Daha ince olan örneklerde boşluk ve ölü tabaka etkilerinin daha baskın olabileceği göz önüne alındığında yapıda belirgin bir gecikme etkisinin gözlenmesi beklenecektir. Bu da en ince örnek olan 20 nm örneğinde dielektrik gecikmelerin yani elektrik modülün en yüksek değerlerde olmasını gerektirmektedir.

Polietilen (PE) ince filmlerin dielektrik özelliklerinin incelendiği bu tez çalışmasında yapılan değerlendirmeler neticesinde, incelenen frekans ve sıcaklık aralığı göz önüne alındığında yapıda gözlenmesi mümkün olan iki polarizasyon mekanizmasının varlığı tespit edilmiştir. Bu mekanizmalardan düşük frekanslarda gözlenen PE ana zincirinin ya da büyük zincir parçalarının polarizasyonuna atfedilebilir. Yüksek frekanslarda belirli sıcaklıklarda gözlenebilen mekanizma ise PE zincirinin yan dallarının polarizasyonuna atfedilebilir. Bu değerlendirmeyi dielektrik kayıp, AC iletkenlik ve elektrik modülül frekans ve sıcaklığa bağlı davranışları da desteklemektedir. Sıcaklığın etkisinin yapıda gözlenen toplam polarizasyonu destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Bir diğer önemli parameter olan kalınlığın dielektrik cevaplara etkisi literatürden de bilinen boşluk yoğunluğu ve ölü tabaka etkilerinin PE ince filmler üzerinde de etkinliklerinin önemli boyutlarda olabileceğini göstermektedir. Bu etkilerin ışığında PE ince filmlerin kalınlıklarının artışının dielektrik sabit, dielektrik kayıp ve AC iletkenlik değerlerinde belirli bir kalınlık değerine kadar artışın gözlenmesi, tanımı itibarıyla elektrik modül için ise belirli bir kalınlık değerine kadar artan kalınlık ile azalma göstermesi söz konusu olmaktadır. tam değer olarak görülememekle birlikte 1000 nm kalınlık değerinin biraz altında ya da biraz üstünde bir değerde incelenen dielektrik parametrelerin kalınlıktan bağımsız bir değere ulaştıkları gözlenmektedir. Bu kalınlık değeri yapının dielektrik açıdan hacimsel (bulk) davranışlar sergilemeye başladığı kalınlık olarak adlandırılmaktadır. 4000 g/mol moleküler kütleye sahip PE ince filmler için yapılan bu dielektrik inceleme ile ve bu sonuçlardan üretilen yayın çalışmaları ile literature ilgili moleküler ağırlıktaki PE örneğinin sahip olduğu dielektrik özelliklerin incelenmesi ile katkı yapılması sağlanacaktır. Ayrıca bir

yalıtım malzemesi olarak da kullanılan bu polimerin ince film halinde kullanılabilirliğine ait fiziksel ölçüler ve değerlendirmelerle de kullanım alanına yönelik katkı sağlanacaktır. İlerleyen süreçte fiziksel kaplama tekniklerinden en basit olanı olarak adlandırılabilcek termal kaplama yöntemi ile kolayca üretilebilmiş olan bu polimerin, benzer teknik kullanılarak katkılanması ile iletkenliği yüksek, dielektrik sabiti yüksek, dielektrik kaybı düşük gibi ekstra özellikler kazandırılarak literature daha farklı boyutlarda bir katkının yapılması da hedeflenmektedir.



KAYNAKLAR

- [1]. Flory, P.J., 1953, Principles of Polymer Chemistry, Cornell University Press, Ithaca, New York, 3-68
- [2]. Şen, F., Palancıoğlu, H., Aldaş, K., 2010, Polimerik nanokompozitler ve kullanım alanları, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (1), 111-118.
- [3]. Serway, R.A., Beichner, R.J., 2002, Fizik-2 Elektrik ve Manyetizma-Işık ve Optik, Palme Yayıncılık, Ankara, ISBN: 975-8624-07-5.
- [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]. Bower, D., I., 2002, An Introduction to Polymer Physics, Cambridge University Press, ISBN-13: 978-0-511-07757-9.
- [8]. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., 2008, Fundamental Physics, New York.
- [9]. Raju, G. G. 2017, Dielectrics in electric fields, CRC press, ISBN-13: 978-1-4822-3113- 7.
- [10]. Kao, K., C., 2004, Dielectric phenomena in solids, Elsevier, ISBN: 0-12-396561-6.
- [11]. Mark, J., E., (Ed.). 2009, Polymer data handbook, Oxford university press.
- [12]. Kremer, F., Schönhals, A., (Eds.), 2012, Broadband dielectric spectroscopy, Springer Science & Business Media, ISBN: 978-3-642-62809-2.
- [13]. Frohlich, H., 1958, Theory of Dielectric 2, Clarendon Press, Oxford
- [14]. Von, H., 1954, Dielectrics and Waves, New York, 54-11020.
- [15]. Moliton, A., 2007, Applied Electromagnetism and Materials, Springer Science & Business Media, ISBN-13: 978-0387-38062-9.
- [16]. Ay, B., 2007, Organik Polimerler ve kullanım alanları, Önlisans Bitirme Tezi, Pamukkale Üniversitesi.
- [17]. Keller, Frederick, J., Gettys, W. Edward, Skove, Malcolm, J., 2002, Fizik, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 975-7860-54-9.
- [18]. Moliton, A., 2007, Dielectric Under Varying Regimes: Phenomenological Study of Dielectric Relaxation, Applied Electromagnetism and Materials, New York, ISBN: 0-387-38062-0.

- [19]. Afroze, T., Bhuiyan, A.H., 2014, Alternating Current Electrical Properties of Thin Films of Plasma Polymerized 1, 1, 3, 3-Tetramethoxypropane, *Advances in Polymer Technology*, 33 (2): 1-4.
- [20]. Wypych, G., 2016, *Handbook of polymers*, Chemtec Publishing, Toronto, ISBN: 978-1-895198-92-8.
- [21]. Ulutas K., Deger D., Yakut Ş., 2015, Thickness dependence of the dielectric properties of thermally evaporated Sb₂Te₃ thin films, *Journal of Physics: Conferences Series*, 417.
- [22]. Çeviri Editörü: Kemal, Ç., 1996, Serway, Beichner, *Fen ve Mühendislik için Fizik2*, Palme Yayıncılık, Ankara, 975-7477-18-4.
- [23]. Saravanan, S., Mathai, C.J., Venkatachalam, S., Anantharaman, M.R., 2004, Lowkthin films based on rf plasma-polymerized Aniline, *New Journal of Physics*, 6 (64): 1-12.
- [24]. 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.
- [25]. Kumar, D.S., Yoshida, Y., 2003, Dielectric properties of plasma polymerized pyrrole thin film capacitors, *Surface and Coatings Technology*, 169 –170: 600–603.
- [26]. Chowdhury, F.U.Z., Bhuiyan, A.H., 2000, Dielectric properties of plasmapolymerized diphenyl thin films, *Thin Solid Films*, 370: 78-84.
- [27]. Pissis, P., Fragiadakis, D., Kanapitsas, A. Delides, K., 2008, Broadband Dielectric Relaxation Spectroscopy in Polymer Nanocomposites, *Macromolecular Symposia*, 265:12–20.
- [28]. Yakut Ş., Ulutaş H.K., Ulutaş D., 2018, Plasma discharge power dependent AC conductivity of plasma poly (ethylene oxide) thin films, *Thin Solid Films*, 645, 269-277.
- [29]. Arvind, V., Sarode, A., Kumbharkhane, C., 2011, Dielectric relaxation study of poly (ethylene glycols) using TDR technique, *Journal of Molecular Liquids*, 164:226–232.
- [30]. Zhao, X.Y., Wang, M.Z., Wang, Z., 2007, Deposition of Plasma-Polymerized1-Cyanoisoquinoline Thin Films and Their Dielectric Properties, *Plasma Processes and Polymers*, 4:840–846.
- [31]. Labahn, D., Mix, R., and Schönhals, A., 2009, Dielectric relaxation of ultra thin films of supported polysulfone, *Physical Review E*, 79: 011801.
- [32]. DiahamS., Locatelli M.L., Lebey T, Dinculescu S, 2010, Dielectric measurements in large frequency and temperature ranges of an aromatic polymer, *The European Physical Journal Applied Physics*, 49: 1-7.
- [33]. Sahin, Y., 2011, İyonik Tuz İçeren Polimer Elektrolitlerde İyonik İletkenlik Davranışı, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [34]. Mathai, C.J., Saravanan, S., Anantharaman, M.R., Venkitachalam, S., Jayalekshmi.S., 2002, Characterization of low dielectric constant polyaniline thin film synthesized by ac plasma polymerization technique, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 35:240–245.
- [35]. Bonin, Keith D., Vitaly V., 1997, *Electric-Dipole Polarizabilities of Atoms, Molecules and Clusters Book Description*, World Scientific Publishing Company.
- [36]. Fanggao C, Saunders G A, Lambson E F, Hampton R N, Carin C, Di Marco C, Lanza M, 1996, Temperature and frequency dependencies of the complex dielectric constant of poly(ethylene oxide) under hydrostatic pressure, *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 34 (3): 425-433.
- [37]. 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.
- [38]. 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.
- [39]. 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.
- [40]. 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.
- [41]. Fabri, A., Fen-Cgong. T., Coussy, O., 2006, Dielectric capacity, liquid water content, and pore structure of thawing-freezing materials, *Cold regions science and technology* 44, 52-66.
- [42]. Yahşi, U., Deligöz, H., Tav, C., Ulutaş, K., Değer, D., Yılmaztürk, S., Erdemci, G., Çoşkun, B., Yılmazoğlu, M., Yakut, Ş., 2018, Ionic conductivity of PVdF-co-HFP/LiClO₄ in terms of free volume defects probed by positron annihilation lifetime spectroscopy, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 174(3-4).
- [43]. Deger D., Ulutas K., Yakut Ş., Kara H., 2015, Dielectric properties and ac conductivity of TlSbTe₂ thin films", *Materials Science In Semiconductor Processing*, 38, 1-7.
- [44]. Çeviri Editörü: Kemal, Ç., 1996, Serway, Beichner, *Fen ve Mühendislik için Fizik2*, Palme Yayıncılık, Ankara, 975-7477-18-4.
- [45]. Bozoğlu D., 2014, *Aerojel Katkılı Polimer Kompozitlerin Hazırlanışı Karakterizasyon ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [46]. Değer, D., Ulutas, K., 2003, Conduction and dielectric polarization in Se thin films, *Vacuum*, 72(3), 307-312

- [47]. Ulutas, K., Thickness Dependent Dielectric Loss of Plasma Poly (Ethylene Oxide) Films. Cumhuriyet Science Journal, 39(2), 366-374.
- [48]. Mustafaeva, S.N., 2004, High-Frequency Dielectric Measurements on TiGaS₂ Single Crystals, International Conference on Solid Dielectrics, 5-9.
- [49]. Chen, F., Taylor, N., Kringos, N., Birgisson, B., 2015, A study on dielectric response of bitumen in the low-frequency range. Road Materials and Pavement Design, 16(sup1), 153-169.
- [50]. Thomas, P., Satapathy, S., Dwarakanath, K., Varma, K. B. R., 2013, Dielectric properties of poly vinylidene fluoride/CaCu₃Ti₄O₁₂ nanocrystal composite thick films, arXiv preprint arXiv:1301.4056.
- [51]. Liang, T., Makita, Y., Kimura, S., 2001, Effect of film thickness on the electrical properties of polyimide thin films, Polymer, 42: 4867–4872.
- [52]. Napolitano, S., Prevosto, D., Lucchesi, M., Pingue, P., D'Acunto, M. and Rolla, P., 2007, Influence of a Reduced Mobility Layer on the Structural Relaxation Dynamics of Aluminum Capped Ultrathin Films of Poly(ethyleneterephthalate), Langmuir, 23:2103-2109.
- [53]. Keddie, J.L., Jones, R.A.L. and CORY, R.A., 1994, Size-Dependent Depression of the Glass Transition Temperature in Polymer Films, Europhysics Letters, 27 (1):59- 64.
- [54]. Wang, J., Kim, H.K., Shi, F.G., Zhao, B., Nieh, T.G., 2000, Thickness dependence of morphology and mechanical properties of on-wafer low-k PTFE dielectric films, Thin Solid Films, 377-378: 413-417.
- [55]. Prevosto, D., Napolitano, S., Pingue, P., Capaccioli, S., and Lucchesi, M., 2007, Investigation of structural relaxation and surface modification of ultrathin films of poly(ethylene terephthalate), European Physical Journal-Special Topics, 141: 193- 198.
- [56]. Hugh, D., Roger, A., 2008, Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics, Pearson Education, 978-0-321-50130-1.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Maria Naz
Doğum Yeri	Pakistan
Doğum Tarihi	
Uyruğu	☐ T.C. ☐ Diğer: Pakistan
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Marmara Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	22.06.2017

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

Makale ve Bildiriler