

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BENZOİN-PSt-Br ve BENZOİN-PSt-N<sub>3</sub> İNCE FİLM POLİMER YAPININ  
DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ahmet TUMBUL**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2012**

## İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Polimerlerin Tarihçesi ve Literatür Taraması.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER .....	14
2.1. Polimerlerin Genel Özellikleri.....	14
2.2. Polimer Çeşitleri.....	15
2.2.1. Polietilen .....	15
2.2.2. Polipropilen .....	15
2.2.3. Poli(Vinil Klorür), PVC .....	16
2.2.4. Polistiren .....	16
2.3. Polimerlerin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri .....	16
2.4. Polimer İnce filmlerin oluşturma yöntemi .....	18
2.4.1. Fiziksel kaplama yöntemleri.....	18
2.4.1.1. Vakum içinde buharlaştırma.....	18
2.4.1.2. Reaktif buharlaştırma .....	18

2.4.1.3. Sputtering .....	18
2.4.2. Kimyasal kaplama yöntemleri .....	19
2.4.2.1. Sol-jel yöntemi.....	19
2.4.2.2. Anadizasyon.....	19
2.4.2.3. Kimyasal buhar birikimi .....	19
2.4.2.4. Elektro kaplama .....	20
2.5. İnce Film oluşum fiziği .....	20
2.5.1. Daldırma yöntemi .....	20
2.5.2. Döndürme yöntemi .....	21
2.6. Polimerlerin elektriksel özellikleri .....	21
2.7. Dielektrik maddelerin moleküler davranışı.....	23
2.7.1. Dielektrik sabiti, Dipol ve Dipol moment kavramları .....	24
2.7.1.1. Dielektrik sabiti .....	24
2.7.1.2. Kompleks dielektrik sabiti (permitivite).....	24
2.7.1.3. Dipol ve dipol moment.....	29
2.8. Kutuplanma (polarizasyon) ve çeşitleri .....	30
2.8.1. Elektriksel kutuplanma.....	31
2.8.2. Elektronik kutuplanma.....	35
2.8.3. Atomik kutuplanma .....	36
2.8.4. Dipol (yönelme) kutuplanması .....	37
2.8.5. Yüzey (serbest) yük kutuplanması.....	38
2.9. Dielektriklerin sınıflandırılması .....	39
2.10. Dielektrik relaksasyon (durulma) ve dielektrik kayıplar .....	40
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	43

3.1. Giriş.....	43
3.2. Materyal.....	43
3.2.1. Manyetik karıştırıcı.....	43
3.2.2. Çeker ocak.....	44
3.2.3. Spin kaplama cihazı.....	44
3.2.4. Ultrasonik banyo.....	45
3.2.5. Fırın.....	46
3.2.6. Hassas terazi.....	46
3.3. Ölçümler.....	46
3.3.1. Empedans analizörü.....	47
3.3.2. Dielektrik spektrometre.....	50
3.3.3. X-ışınları cihazı.....	51
3.4. İnce Filmlerin Hazırlanışı.....	52
3.4.1. Cam.....	52
3.4.2. Polimerik materyal.....	52
3.5. Kaplama yöntemleri.....	53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	57
4.1. Giriş.....	57
4.2. X-ışını spektrum ölçümü.....	57
4.3. Empedans ölçümleri.....	59
4.4. Dielektrik ölçümler.....	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
5.1. Sonuçlar.....	70
5.2. Öneriler.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73
KAYNAKLAR.....	74
ÖZET.....	76
SUMMARY.....	77

## **ÖZ**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BEZOİN-PS<sub>t</sub>-Br ve BENZOİN-PS<sub>t</sub>-N<sub>3</sub> İNCE FİLM POLİMER YAPININ DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ahmet TUMBUL**

**Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Yunus BABUR**

**Yıl:2012, Sayı: 77**

Bu çalışmada spin-coating metoduyla PI-PS<sub>t</sub>-N<sub>3</sub> ve PI-PS<sub>t</sub>-Br polimerik malzemesi cam yüzey üzerine ince film şeklinde kaplandı. Oda sıcaklığında elde edilen bu filmler uygun sıcaklıkta tavlandıktan sonra bu filmlerin polarizasyonun mikroskopunda ve X-ışını kırınım analizinden yapısal özellikleri incelendi. Oluşturulan bu numunelerin daha sonra elektriksel özelliklerini incelemek için empedans analizörü ve dielektrik spektrometre cihazlarından faydalandı. Ölçümler sonunda malzemenin amorf yapıda olduğu, büyük dielektrik sabitine sahip olduğu gözlemlendi.

**ANAHTAR KELİMELER:** Spin kaplama yöntemi, polimer, ince filmler

**ABSTRACT**

**Msc. Thesis**

**INVESTIGATION DIELECTRIC PROPERTIES OF  
BENZOIN-PSt-Br and BENZOIN-PSt-N<sub>3</sub>  
POLYMER THIN FILMS**

**Ahmet TUMBUL**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yunus BABUR**

**Year: 2012, Page: 77**

In this study, PI-PSt-N<sub>3</sub> and PI-PSt-Br polymers thin film were prepared by spin-coating method on to the glass substrate. This films were annelied suitable temperature and investigated by polarization microscope and X-ray diffraction analysis (XRD) for determination of morphological properties at room temperature. Then, we used impedance analyzer and dielectric spectrometer in order to determination electrical properties of this films. At the and of measurements result, we showed that this films had amorphous structure end high dielectric constant.

**KEYWORDS:** Spin- coating method, Polymer, Thin films.

## TEŞEKKÜR

Bu alıŐmanın ynlendirmesinde bana yardımcı olan daniŐmanım Do. Dr. Yunus BABUR'a teşekkür ederim.

Ölçümlerde bana yardımcı olan Dokuz Eylül niversitesi ğretim yesi Prof. Dr. Erdal ÇELİK , İnönü niversitesi ğretim yesi Prof. Dr. Selçuk ATALAY ve Harran Üniversitesi Fizik Bölümü ğreti yesi Yrd. Doç. Dr. Ferhat ASLAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca Yüksek Lisans Tez çalışmamda bize sağladığı kaynaklardan dolayı Kimya Bölümü ğretim yesi Prof. Dr. Mustafa DEğİRMENCI'ye teşekkür ederim.

Ayrıca Yüksek Lisans ve Tez çalıŐmalarım süresince benden yardımlarını ve manevi desteklerini esirgemeyen bütün Fizik Bölümü çalıŐanlarına teşekkür ederim.

Bu tez alıŐması Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (HÜBAK) tarafından 1071 nolu proje ile desteklenmiŐtir.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Empedans spektroskopisinin şematik gösterimi.....	2
Şekil 1.2. Poli(iBuMA)'nın reel dielektrik sabiti ve iletkenliğine frekansın etkisi.....	5
Şekil 1.3. Poli(St)'nin reel dielektrik sabiti ve iletkenliği üzerine frekansın etkisi.....	5
Şekil 1.4. Poli(St-b-İBuMA)'nın dielektrik sabiti ve iletkenliği üzerine frekansın etkisi.....	6
Şekil 1.5. TCA-DDM polimit maddesinin kimyasal yapısı.....	7
Şekil 1.6. Farklı kalınlıktaki polimit filmlerin dielektrik sabitinin frekansla değişimi.....	8
Şekil 1.7. Farklı altlıklar kullanılarak oluşturulan ince film yapıların dielektrik sabitinin frekansla değişimi.....	8
Şekil 1.8. Farklı altlıklara kaplanmış filmlerin UV-vis grafiği.....	9
Şekil 1.9. PAZ ince filmlerin soğurma katsayıları.....	9
Şekil 1.10. Cam(a), Quartz(b) altlıklara kaplanmış filmlerin X-ray difraksiyonu.....	10
Şekil 1.11. (a) $\epsilon$ ve $\tan\delta$ 'nın oda sıcaklığında frekans ile değişimi, (b) $\epsilon$ ve $\tan\delta$ 'nın 10 kHz de sıcaklık ile değişimi.....	11
Şekil 1.12. Dielektrik sabitinin reel ve imajiner kısmının frekans ile değişimi.....	11
Şekil 1.13. Resistans ve reactansın frekansa göre değişimi.....	12
Şekil 1.14. Kapasitans ve dağınım faktörünün frekansa bağlı değişimi.....	12
Şekil 2.1. Polimerlerin genel gösterimi.....	15
Şekil 2.2. Daldırma yöntemi aşamalarının şematik gösterimi.....	20
Şekil 2.3. Bir monomerin yapısı.....	22
Şekil 2.4. Paralel plakalı kondansatörün arasına yerleştirilmiş dielektrik malzeme.....	25
Şekil 2.5. İdeal bir kondansatörde akım-voltaj ilişkisi.....	25
Şekil 2.6. Kayıplı bir dielektrikte akımların gösterimi.....	27
Şekil 2.7. Kompleks dielektrik sabitinin vektör diagramı.....	28
Şekil 2.8. Elektrik dipol momentinin gösterimi.....	29
Şekil 2.9. (a) Elektrik alan olmadığı durumdaki atom, (b) Elektrik alanın altındaki atom.....	30
Şekil 2.10. Yüklü kondansatörün plakaları arasındaki dielektrik polarizasyonu.....	31
Şekil 2.11. l uzunluğunda, S alanına sahip kondansatör.....	34
Şekil 2.12. Elektronik kutuplanma.....	36
Şekil 2.13. Atomik kutuplanma.....	36
Şekil 2.14. Dipol kutuplanması.....	37
Şekil 2.15. Yüzey yük kutuplanması.....	38
Şekil 2.16. Polar bir dielektriğin, dielektrik relaksasyonu.....	41
Şekil 3.1. Manyetik karıştırıcı.....	43
Şekil 3.2. Çekerocak.....	44
Şekil 3.3. Spin kaplama cihazı.....	45
Şekil 3.4. Ultrasonik banyo.....	45
Şekil 3.5. Fırın.....	46
Şekil 3.6. Hassas terazi.....	47
Şekil 3.7. Hewlett Packard 4294A Empedans Analizörü.....	48
Şekil 3.8. Kompleks empedansın reel(R) ve imajiner(X) kısımları.....	49
Şekil 3.9. Köprü tekniği örnek devresi.....	49
Şekil 3.10. Alpha-A Dielektrik Spectrometresi.....	51
Şekil 3.11. Alpha-A Dielektrik Spektrometresi Numune Ölçüm Aparatı.....	51
Şekil 3.12. Rigaku ultima III difraktometresi.....	52
Şekil 3.13. B-PSt-N <sub>3</sub> ve B-PSt-Br polimerlerinin sentezi.....	53
Şekil 3.14. Döndürme kaplama işlemi.....	53
Şekil 3.15. Film kalınlığının altlığın hızına bağlılığı.....	54
Şekil 3.16. Film kalınlığının altlığın dönme süresine bağlılığı.....	54
Şekil 3.17. Polarizasyon mikroskopunda çekilen film görüntüleri.....	56
Şekil 4.1. Spin-coater metoduyla üretilen filmin 100 °C'deki X-ışını spekturumu.....	57
Şekil 4.2. Spin-coater metoduyla üretilen filmin 75 °C'deki X-ışını spekturumu.....	58



Şekil 4.3. Spin-coater metoduyla üretilen filmin 50 <sup>0</sup> C'deki X-ışını spektrumu.....	58
Şekil 4.4. 1. numunenin frekansa bağlı kompleks empedans eğrisi.....	59
Şekil 4.5. 1. numunenin frekansa bağlı reel direnç eğrisi.....	60
Şekil 4.6. 1. numunenin frekansa bağlı reaktans eğrisi.....	60
Şekil 4.7. 2. numunenin frekansa bağlı kompleks empedans eğrisi.....	61
Şekil 4.8. 2. numunenin frekansa bağlı reel direnç eğrisi.....	61
Şekil 4.9. 2. numunenin frekansa bağlı reaktans eğrisi.....	62
Şekil 4.10. 3. numunenin frekansa bağlı kompleks empedans eğrisi.....	62
Şekil 4.11. 3. numunenin frekansa bağlı reel direnç eğrisi.....	63
Şekil 4.12. 3. numunenin frekansa bağlı reaktans eğrisi.....	63
Şekil 4.13. 50 <sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin dielektrik sabitinin reel kısmının frekansa göre değişimi..	64
Şekil 4.14. 50 <sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin dielektrik sabitinin imajiner kısmının frekansa göre değişimi.....	65
Şekil 4.15. 75 <sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin dielektrik sabitinin reel kısmının frekansa göre değişimi...	65
Şekil 4.16. 75 <sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin dielektrik sabitinin imajiner kısmının frekansa göre değişimi.....	66
Şekil 4.17. 50 <sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin kayıp tanjantının frekansa göre değişimi.....	67
Şekil 4.18. 75 <sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin kayıp tanjantının frekansa göre değişimi.....	67
Şekil 4.19. 50 <sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin kapasitansının frekansa göre değişimi.....	68
Şekil 4.20. 75 <sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin kapasitansının frekansa göre değişimi.....	69

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 2.1. Bazı polimerlerin termodinamik değerleri .....	17

## SİMGELER DİZİNİ

- $C_x$ : Ölçülen kapasitans  
 $C_r$ : Kalibrasyon kapasitansı  
 $t$ : Numune kalınlığı  
 $d$ : Elektrot çapı  
 $\epsilon$ : Kompleks dielektrik sabiti  
 $\epsilon'$ : Dielektrik sabitinin reel bileşeni  
 $\epsilon''$ : Dielektrik sabitinin imajiner bileşeni  
 $\epsilon_0$ : Serbest uzayın elektriksel geçirgenliği  
 $Z$ : Kompleks empedans  
 $R$ : Reel direnç  
 $X$ : İmajiner direnç  
 $C$ : Kapasitans  
 $\delta$ : Kayıp açısı  
 $F$ : Kapasitenin birimi (farad)  
PLED: Işık yayan polimerik diyotlar  
PMMA: Polymethymethacrylate  
PS: Polistiren  
PVC: Poli vinil klorür  
 $T_e$ : Erime noktası  
 $T_g$ : Camsı geçiş sıcaklığı  
 $\Delta S$ : Entropi  
 $\Delta H$ : Entalpi  
 $\mu$ : Manyetik geçirgenlik

$\sigma$ : Elektriksel iletkenlik  
 $\omega$ : Açısal frekans  
Q: Yük  
V: Uygulama voltajı  
f: Frekans  
 $I_c$ : Kapasitör akımı  
 $I_l$ : Kayıp akımı  
G: Konduktans  
 $\Phi$ : Faz farkı  
E: Elektrik alan  
 $\mu$ : Dipol momenti  
 $\chi$ : Suseptibilite (Elektriksel duyunluk)  
D: Elektriksel yerdeğiştirme  
P: Polarizebilite  
M: Toplam dipol moment  
N: Birim hacimdeki dipol sayısı  
T: Kuvvet momenti  
 $\alpha_e$ : Elektronik kutuplanma  
 $\alpha_a$ : Atomik kutuplanma  
 $\alpha_o$ : Dipol kutuplanması  
 $\alpha_s$ : Yüzey kutuplanması  
 $k_0$ : Dipol hareketinin oran sabiti  
 $f_r$ : Relaksasyon frekansı  
C: Sıcaklık

g: Ağırlık

L: İndüktans

$\rho$ : Yođunluk

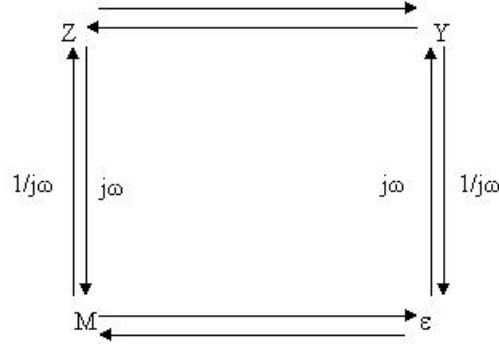
## 1. GİRİŞ

Günümüz bilim ve teknoloji alanında, doğada mevcut maddelerin yapısını anlamaya yönelik araştırmalar yanında, doğal olarak bulunmayan yeni maddelerin tasarlanması ve üretilmesi üzerine çalışmalar hızlı bir şekilde sürmektedir. Bu çalışmalar, farklı bilim dallarını bir araya getirmekte ve özellikle küçük boyutlu(mikro ve nano) yapılar ile kendine özgü moleküler yapıya sahip poli yapılardan oluşan malzemelerin pek çok uygulama alanını kapsamaktadır.

Günümüzde elektrik enerji tüketiminin artması, bir bölgeden diğer bölgeye yüksek gerilim hatlarının önemini arttırmaktadır. Ancak yüksek gerilimin yükseltilmesini sınırlayıcı çeşitli etkenler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları yalıtım problemi(dielektrik malzeme) ve buna bağlı deşarj olayları ile birlikte çevresel etkiler ve güvenlik problemleridir. Bu enerji taşınması sırasında kullanılan yalıtım malzemelerinin ortalama ömrünün 20-40 yıl arası olduğu bilinmektedir. Bütün bu parametreler göz önüne alınarak, kullanılacak olan izolasyon malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bir dielektrik malzeme seçilirken AC (alternatif akım) iletkenliği, dielektrik sabiti, kayıp açısı, kayıp faktörü, polarizebilitesi ve dielektrik dayanımı çok iyi bilinmelidir ( Güneş, 2005).

Elektrik yük kayıplarının önlenmesi için polimer ve seramik malzemelerden faydalanılır. Günümüzde polimerler yapıların yalıtkanlıkları üzerine çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu maddelerin yük iletim mekanizması hakkında daha ayrıntılı bilgi edinmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi dielektrik spektroskopisidir. Dielektrik spektroskopisinin çalışma alanı geniş bir frekans bölgesini kapsar ve oldukça pahalı bir cihazdır. Bunun yerine benzer parametrelerin elde edildiği daha kısa menzilli frekansların kullanıldığı Empedans Spektroskopisi den faydalanılır. Empedans Spektroskopisi a.c. ölçümleri, alternatif akıma bağlı özelliklerden olan, maddenin elektrik karakterizasyon özelliklerini ortaya çıkartır. Empedans spektroskopisinin temeli, geniş bir frekans aralığında malzemenin empedansının , iletkenliğinin, kapasitenin, admitansının, modülünün, empedansın gerçek ve sanal kısımlarının, vb. parametreleri ölçümü ve hesaplanabilirliği esasına dayanmaktadır. Bunların hepsine birden **immitans spektroskopisi** de denilmektedir.

Bu yöntemle, polimer malzemenin yük iletim mekanizması, kimyasal reaksiyon mekanizması, dipol davranışları ve dielektrik sabiti hakkında bilgi edinmek mümkündür. Küçük genlikli bir a.c. gerilimi uygulanıp hesaplanabilen empedans parametreleri arasındaki ilişki aşağıda şekil 1.1 deki gibidir.



Şekil 1.1. Empedans spektroskopisinin şematik gösterimi

Polimerler, uzun zincirli moleküllerdir. Bu moleküllere makromolekül de denmektedir. Polimerler monomer denilen çok sayıda daha basit birimlerin birbirine eklenmesiyle yapılırlar. Çok sayıda molekülün kimyasal bağlarla düzenli bir şekilde bir araya gelerek oluşturdukları büyük molekül ağırlıklı bileşiklere polimer adı verilir. Polimerler fiziksel, kimyasal ve optik özelliklerinden dolayı araştırmalarda çok sık kullanılan maddelerdir. Tekrarlanan yapısal kümelerin oluşturduğu yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polimerler kristal veya amorf yapıda bulunabilirler.

Korozyona dayanıklı oldukları için ince polimer filmler koruyucu yüzey yapımında kullanılırlar. Optik fiber iletiminde, bataryalarda, elektrik malzemelerinde yalıtkan oldukları için tercih edilirler. Işık yayan polimer diyotlar (PLED) görüntüleme sistemlerinde kullanılır. Sert ve sağlam molekül yapılarından dolayı inşaat sektöründe kullanılırlar. Çözünürlükleri sınırlandırılabilirdikleri için metal katkılı polimerler (PMMA-polymethymethacrylate) katı boya lazerlerinde kullanılabilir(Çoban, 2007).

Organik ve inorganik polimerlerin endüstriyel alanda son derece geniş bir yayılım alanı vardır. Selüloz, linyit, proteinler veya nükleik asitler organik polimerlerin tipik örneklerindedir. Elmas, kuartz, feldispat gibi bazı maddelerde inorganik polimerlere birer örnek teşkil eder. Bu maddeler ilavetten, çok kullanılan polyethylene,

polyurethane, polycarbonate, polystyrene, vb. gibi çok sayıda birçok sentetik polimerler de vardır.

Tez çalışmamda amaç, yalıtkan polystyrene ince film polimer malzemenin yapısının elektriksel özelliklerini araştırmaktır. Bulunan sonuçlara göre bu malzemeninin, endüstriyel alanda izolasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği yanında; elektronik aygıtlarda dielektrik kapasitörü olarak kullanılabilirliği araştırılmış olacaktır.

Bu Tez 5 bölümden meydana gelmiştir. Birinci bölüm giriş, ikinci bölüm Polimerlerin genel yapısı, elektrik özellikleri ve dielektrik teorisi üzerinde durulmuştur. Üçüncü Bölüm, materyal ve yöntem bölümü olup, deneylerde kullandığımız cihazların temel özellikleri ve çalışma ilkeleri ve polimer ince film yapımı üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde çalışmamızın ana unsuru deneysel bulgular ve tartışma verilmiştir. Beşinci ve son bölümde bulgular üzerinde bilimsel sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

### **1.1. Polimerlerin Tarihçesi ve Literatür Taraması**

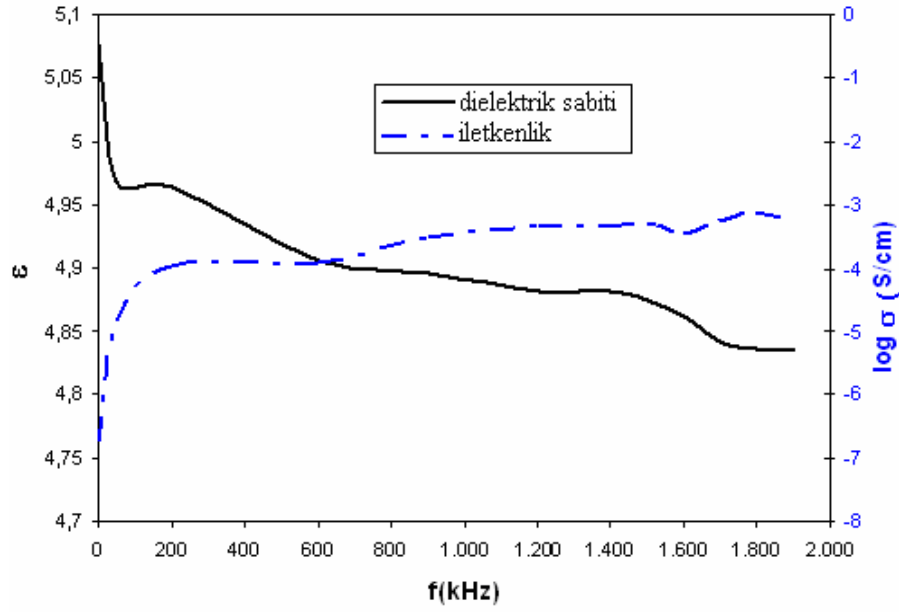
Kızılderililer başlangıçta sıvı olan kauçuğun özsuyla ile ayaklarını kaplar, doğal kauçuktan ayakkabı yaparlardı. Başlangıçta sıvı olan kauçuğun özsuyla havadaki oksijenin etkisi ile moleküller birbirine bağlanırdı. Bu bağlanmalar nedeniyle artık moleküller birbirinden kolayca ayrılmaz , sıvı halden katı hale geçiş gözlemlenirdi. Bu katı içerisinde küçük moleküller hareket edebilir; sonuçta tüm yapı esnek bir hareketlidir. Yapının bir balık ağı gibi esnek davrandığı düşünülürse, yapı kısmen katı kısmen sıvı gibi davranır. Bu madde kauçuk olarak adlandırılmıştır. Bu malzemenin elde edildiği ağaçlara da Kauçuk ağacı denmiştir. Kızılderililerin yaptıkları ayakkabı zor şartlarda bir gün de parçalanırdı. Çünkü havadaki oksijen ilk olarak molekülleri birbirine bağlamasına karşın, bir süre sonra, havadaki oksijen polimer yapıdaki bağları tahrip edip yapının dağılmasına sebep olurdu. Çinliler'in 1400'lü yıllarda yaptıkları, balmumuna daldırılmış kumaştan şemsiye, daha sonra "Direkt Kaplama" olarak isimlendirdikleri işlem polimerlerin tarihte ilk uygulamasıydı. Bugün kullandığımız PVC ve PS gibi polimerlerin atası 1839 yılında



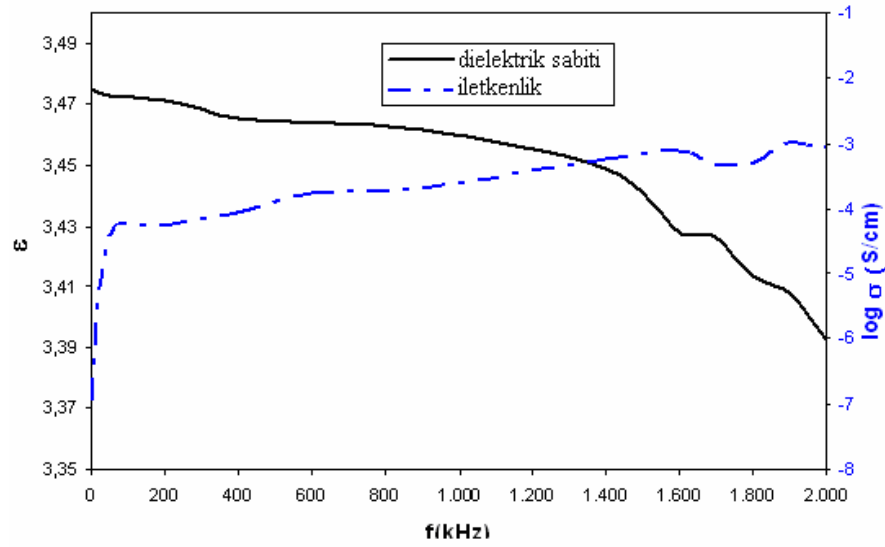
Goodyear tarafından üretildi. Goodyear, kükürtle püskürtülmüş kauçuk olan Libonit'i üretti. 1849 yılında Charles Goodyear kauçuk ağacının öz suyunu kükürt ile kaynattığında esnek, sağlam siyaha yakın bir madde elde etti. Goodyear'ın bu buluşu ile otomobil endüstrisinin büyümesi, bugünkü polimer uygulamaları düşünüldüğünde, bir çığır niteliğindedir. Polimerlerin ikinci büyük grubu olan plastiklerin ilk ürünü, 1868 yılında Amerika'da John Wesley Hyatt tarafından pamuk selülozunu nitrik asit ve kamfor ile etkileştirerek hazırlanan yarı sentetik polimerlerdi. 1900'lü yıllarda İtalya'da Direkt Kaplama yöntemiyle mezure üretildi. Takip eden yıllarda 1. Dünya Savaşı esnasında Almanlar ilk U-Boat modelini ürettiler. Ancak üretilen bu maddeler dış etkenlere karşı son derece dayanıksızdı. 1924 yılında Hermann Staudinger'in makromolekül hipoteziyle polimer teknolojisi önemli bir ufuk kazanmış ve deneysel olarak ispatlamıştır. Staudinger bu hipoteziyle 1954 yılında Nobel ödülünü kazanmıştır. İşte bu tarihten sonra polimer kimyası ve uygulamaları dünyada bir devrim yarattı(Genbilim,2010).

Tüm bu gelişmelerden sonra polimerlerin dielektrik özelliklerinin incelenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar farklı frekanslar ve sıcaklıklar altında, farklı dielektrik ölçüm yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmalar ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

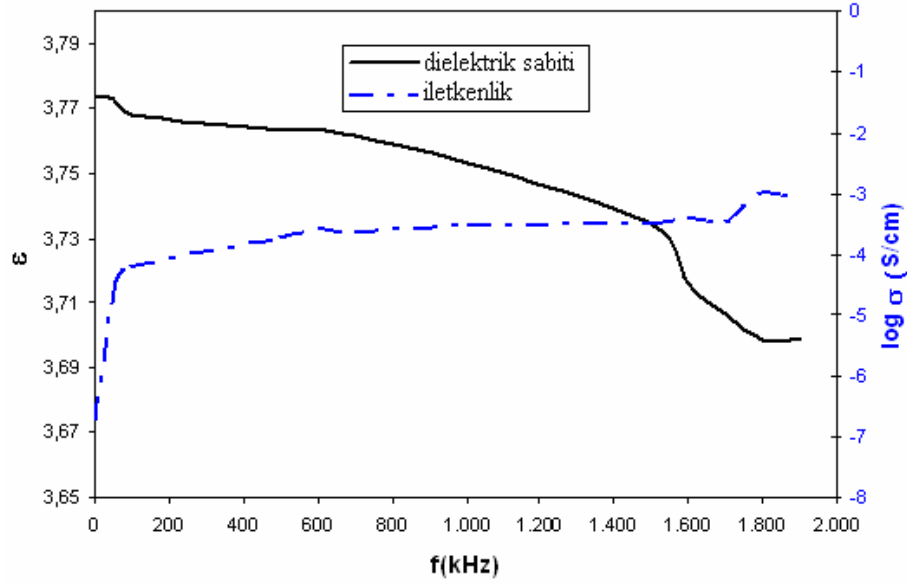
A. Kurt (2009), yılında atomik transfer radikal polimerizasyonu (ATRP) yöntemini kullanarak metil metakrilat (MMA), izo bütil metakrilat (iBuMA) ve stiren (St) monomerlerinden elde ettiği üç kollu polimerlerin dielektrik ve iletkenlik özelliklerini frekansın bir fonksiyonu olarak incelemiştir. Quadtech 7600 LCR meter empedans analizörü kullanılarak plakalar halinde hazırlanan polimer numunelerin dielektrik özellikleri oda sıcaklığında 1 kHz ile 2 MHz frekans aralığında ölçülüp, birbirleriyle olan etkileşimleri incelenmiştir. Uygulanan frekans aralığında artan frekans ile düştüğü gözlemlenmiştir(Şekil 1.2, Şekil 1.3 ve Şekil 1.4).



Şekil 1.2. Poli(iBuMA)'nın reel dielektrik sabiti(permittivite) ve iletkenliği üzerine frekansın etkisi



Şekil 1.3. Poli(St) 'in reel dielektrik sabiti ve iletkenliği üzerine frekansın etkisi



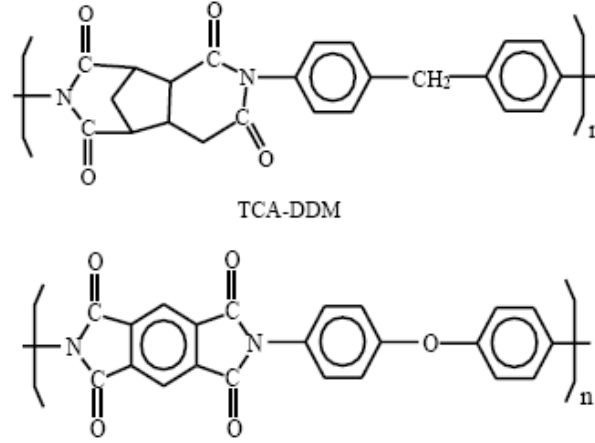
Şekil 1.4. Poli(St-b-iBuMA)'nın dielektrik sabiti ve iletkenliği üzerine frekansın etkisi

A. Kurt 'un 2009 yılı makalesinde, bütün polimerlerin dielektrik sabiti, artan frekans ile bir düşüş eğilimi sergilediği görülür. Dielektrik sabitindeki bu azalmanın sebebi uygulanan elektrik alan yönünde, makro moleküllerde yer alan yüklü dipollerin kendi eksenleri etrafında ve alan yönünde hareket etme eğilimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

T. Liang ve ark. (2001), yılında yaptığı çalışmada kimyasal yapısı aşağıdaki gibi olan Poly(diphenylmethane-2,3,5-tricarboxyclopentyl)(TCA-DDM) polimit maddesini kullanmışlardır(Şekil 1.5). Silisyum katkılı altlığa spin-coating metodu kullanılarak kaplanan ince filmlerin 180 °C de tavlandıktan sonra elipsometrede kalınlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numunenin elektriksel özelliklerinin incelenmesi için HP 4284A LCR meter cihazıyla 1 kHz ile 1 MHz aralığında 10-100 mV AC gerilimi altında ölçümler yapılmıştır. LCR metreden elde edilen kapasitans değerleri  $\epsilon$  dielektrik sabitini tanımlayan denklemde yerine yazılarak;

$$\epsilon = \frac{(C_x - C_r)l}{\epsilon_0 \pi d^2 / 4} \quad (1.1)$$

polimerin dielektrik sabiti belirlenmiştir. Burada  $C_x$  ölçülen kapasitans,  $C_r$  kalibrasyon kapasitansı,  $t$  numunenin kalınlığı ve  $d$  ise elektrodun çapıdır.

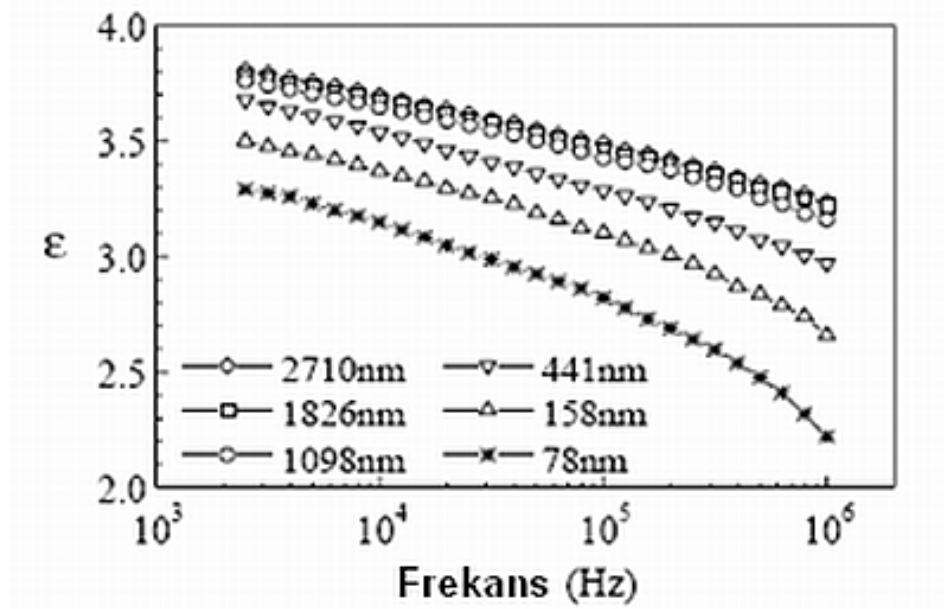


Şekil 1.5. TCA-DDM polimerin kimyasal yapısı

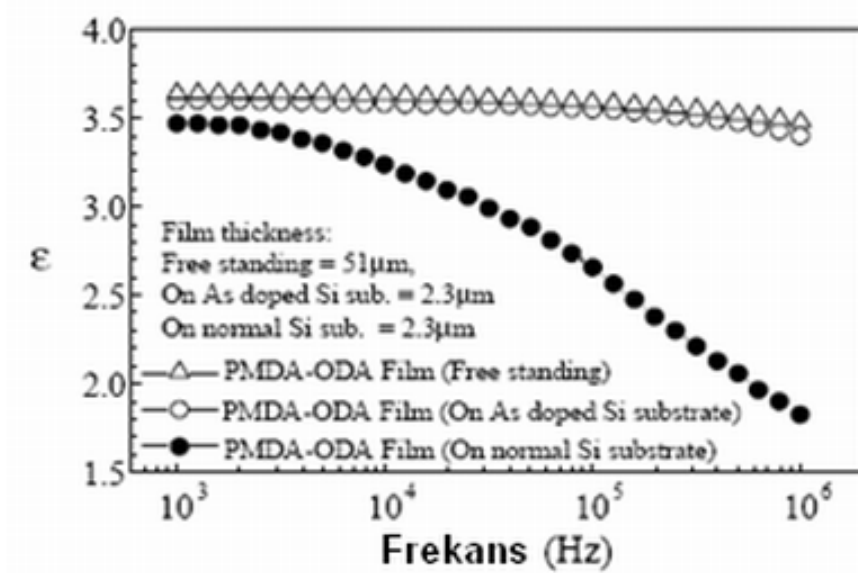
Aşağıda şekil 1.6’da TCA-DDM filmlerinin farklı kalınlıklardaki (78, 158, 441, 1098, 1826 ve 2710 nm ) dielektrik sabitinin frekansla değişimi gösterilmiştir. Dielektrik sabitinin frekans arttıkça azalmasının nedeni molekül zincirlerinin polarizasyonudur. Film kalınlığı 1000 nm den daha büyük olduğu durumlarda, dielektrik sabiti kalınlığa bağlı olarak değişmediği görülmüştür. Şekil 1.7’de ise dielektrik sabitinin farklı altlıklar kullanılarak değişimi incelenmiştir. Yüzey pürüzlenmesi en düşük olduğu için silisyum katkılı altlıklar polimer ince filmler için uygundur. Ancak normal silisyum altlığın iletkenliği yeteri kadar iyi olmadığı için ( $10^{-3}$  S) bu durum numunenin kapasitansında yüksek frekanslarda normal olmayan bir düşüşe neden olur.

M. Palewicz ve ark. (2010), yılında yaptıkları çalışmada aromatik poliazomethine (PAZ) ve triphenylamine (TPA) kimyasallarını yüksek sıcaklıkta karıştırarak homojen polimer çözeltisi oluşturur. Spin- coating metoduyla hazırlanan ince film numunelerin optik ve yapısal özelliklerinin incelenmesi için FTIR spektroskopisi, UV-vis reflektometresi, X-ray difraktometresi ve AFM (Atomik Force Mikroskobe) cihazlarıyla ölçümler yapılmıştır. Farklı altlıklar kullanılarak

(glass ve quartz) elde edilen ince film yapıların kalınlıkları elipsometre yardımıyla 150-220 nm aralığında ölçülmüştür.

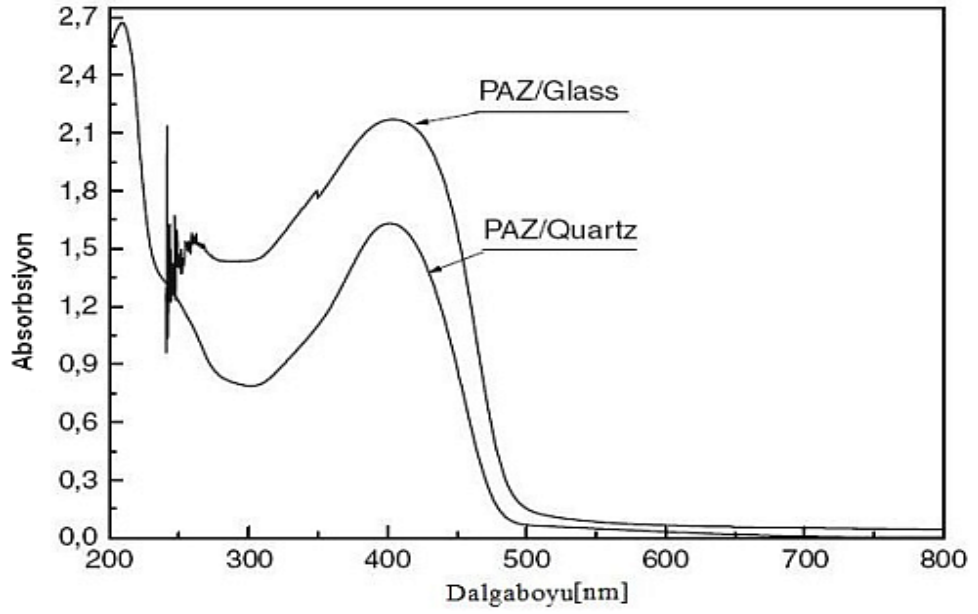


Şekil 1.6. Farklı kalınlıktaki Polimit filmlerin dielektrik sabitinin frekansla değişimi



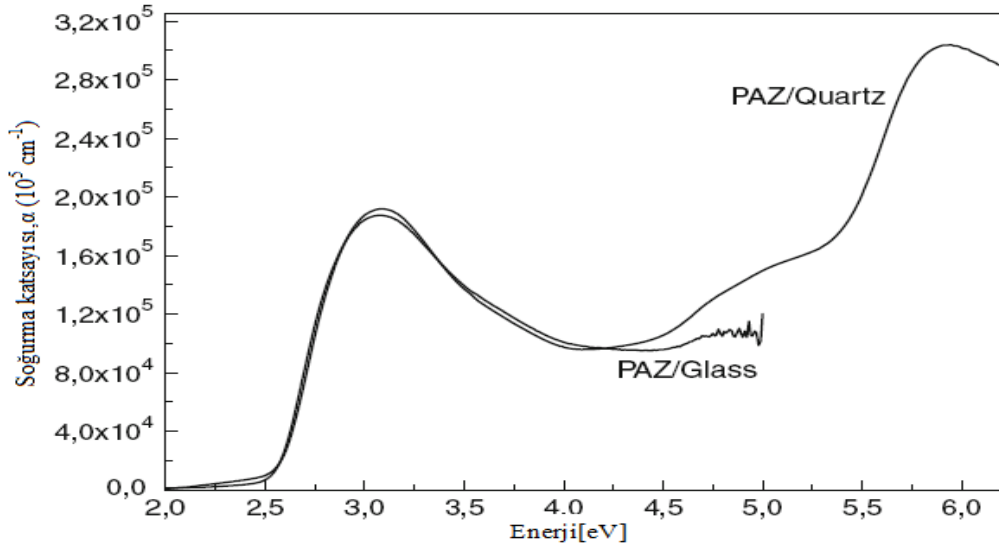
Şekil 1.7. Farklı altlık kullanılarak oluşturulan filmlerin dielektrik sabitinin frekansla değişimi

Optik band aralığı değeri ( $E_p$ ) 2.45 eV olarak bulunan ince film polimer yapıların yarıiletken özellik gösterdiği ve organik güneş pilleri yapımında kullanılabileceği gösterilmiştir.



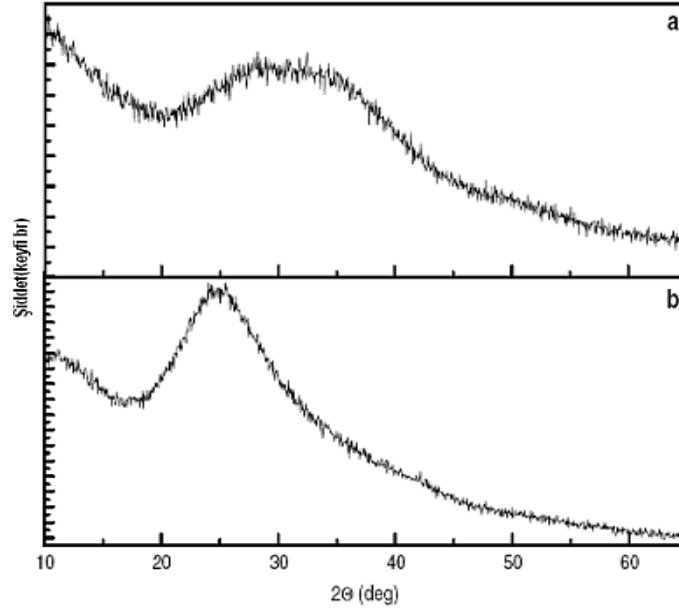
Şekil 1.8. Farklı altlıklara kaplanmış ince Polimit film yapılarının UV-vis grafiği

Şekil 1.8. deki grafikte, M. Palewicz ve arkadaşlarının 2010 yılı çalışmalarına ait PAZ filmlerin quartz ve cam altlıklardaki absorpsiyon eğrileri verilmiştir. Altlıklardan bağımsız olarak filmler 405 nm de maksimum soğurma göstermiştir. Bu filmlerin optik özellikleri göz önüne alınacak olursa enerji band yapısı bu grafiklerden faydalanarak anlaşılabilir.



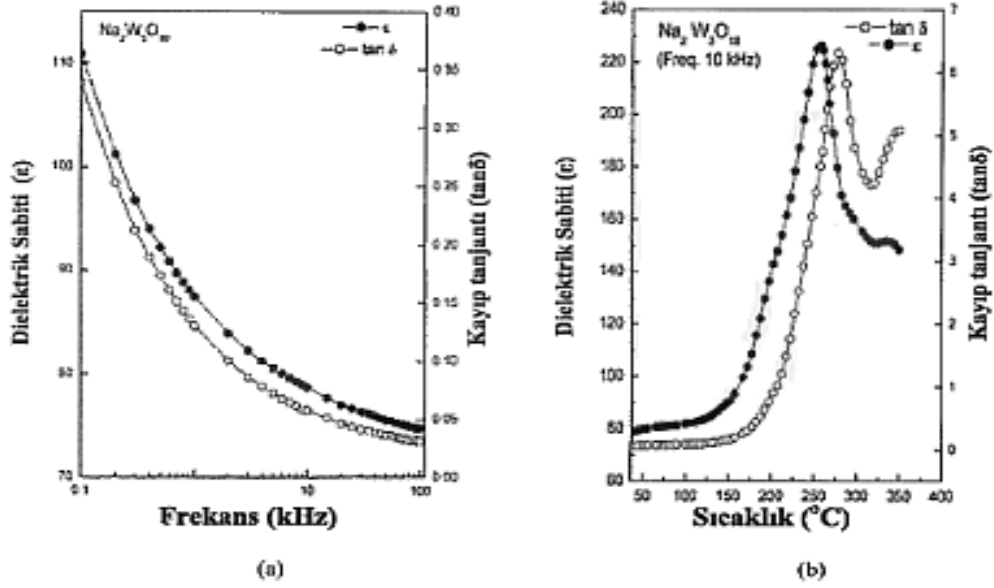
Şekil 1.9. PAZ ince filmlerin soğurma katsayıları

Aşağıdaki şekil 1.10.'daki grafikte quartz ve cam altlıklara kaplı PAZ ince filmlerin geniş açı X-ray difraksiyon grafikleri verilmiştir. Bu grafikte bu maddenin amorf yapıda olduğu anlaşılmaktadır.



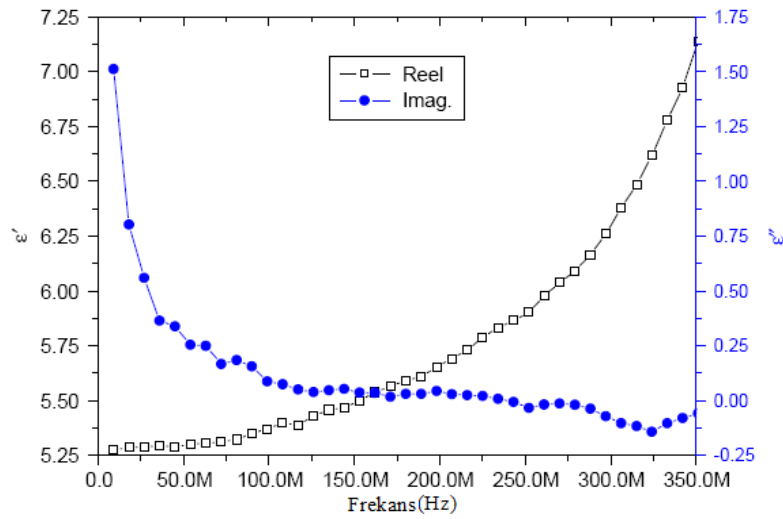
Şekil 1.10. Cam(a) ve quartz(b) altlıklara kaplanmış PAZ filmlerin X-ray difraksiyonu

$\text{Na}_2\text{W}_3\text{O}_{10}$  seramiğinin dielektrik özellikleri üzerinde yapılan çalışmalarda, ölçümler Hioki 3532 LCR Hitester kullanılarak yapılmıştır. Bileşimin dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı; oda sıcaklığında frekansın fonksiyonu, sabit bir frekansta (10kHz) sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar Şekil 1.11'da verilmiştir. Şekil 1.11. (a)'da, oda sıcaklığındaki dielektrik sabitin ve kayıp tanjantının frekansla değişimi görülmektedir. İki parametrede, yükselen frekansla azalmaktadır. Bu durum dielektriğin normal bir davranışdır ve polarizasyonların varlığından kaynaklanmaktadır. Yüksek frekanslarda bütün polarizasyon tipleri (elektronik, dipolar, yüzeysel ve yönelme) mevcuttur. Frekansla ilgili benzer dielektrik davranışlar diğer ferroelektrik seramikler içinde bulunmuştur. Şekil 2.10. (b)'de sabit frekansta, dielektrik sabitin ve kayıp tanjantının sıcaklıkla değişimi görülmektedir.  $T=258^\circ\text{C}$ 'de dielektrik sabiti maksimum değerine ulaşmıştır ( $\epsilon_{\text{max}}=230$ ).  $\text{Tan}\delta$ 'da da bu sıcaklığa kadar bir artış gözlemlenmiştir(Chatterje, 2003).



Şekil 1.11. (a)  $\epsilon$  ve  $\tan \delta$ 'nın oda sıcaklığında frekans ile değişimi. (b)  $\epsilon$  ve  $\tan \delta$ 'nın 10kHz'de sıcaklık ile değişimi.

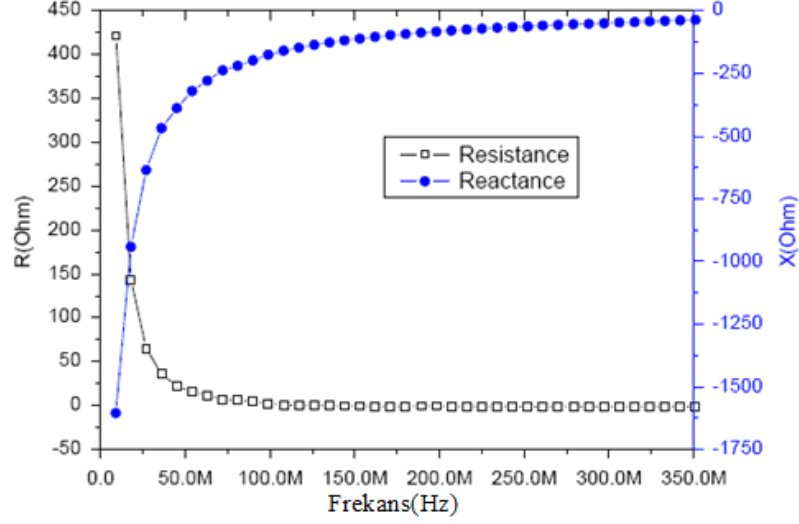
F.Yakuphanoğlu ve ark. (2005), poly(bezobisoxazole-2,6-diylvinylene) (POV) polimerini spin-coater metodunu kullanarak ince film haline getirip, bu polimerin yüzey morfolojisini ve dielektrik özelliklerini, atomik force mikroskobu(AFM) ve dielektrik spektroskopisi(DC) kullanarak araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda polimer yüzey morfolojisinin düzenli yapılardan meydana geldiğini, dielektrik sabitindeki artışın ise yüzeyler arası polarizasyondan kaynaklandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 1.12. Dielektrik sabitinin reel ve imajiner kısmının frekansla değişimi

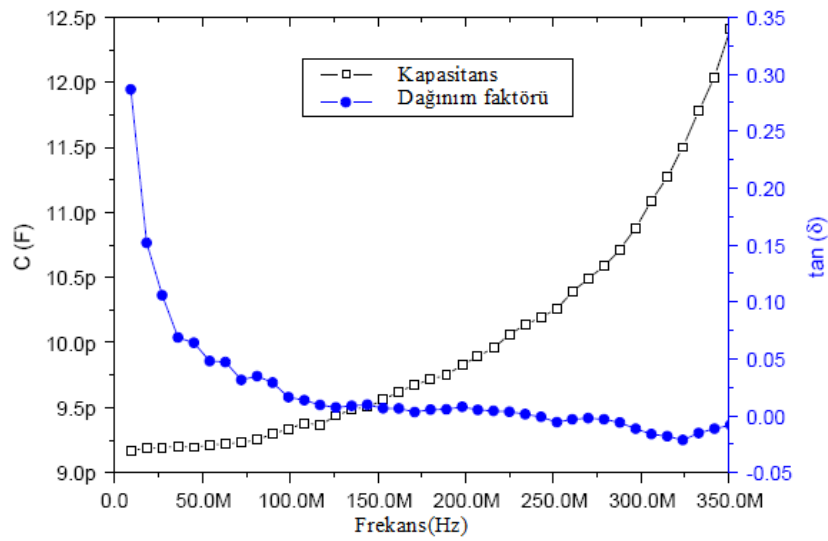


Ayrıca numunenin empedansı( $Z$ ), resistansı( $R$ ) ve reaktansı( $X$ );  $Z=R+iX$  formatına uygun biçimde irdelenmiş ve şekil 1.13.'teki grafiklere ulaşılmıştır.



Şekil 1.13. Resistans ve reaktansın frekansa karşı değişimi

Polimerler için complex empedans  $Z=R+iX$  şeklinde ifade edilir. Burada  $Z$  empedansı,  $R$  resistansı(reel kısım) ve  $X$  reaktansı(imajiner kısım) ifade etmektedir. Şekil(1.13)'te de görüldüğü gibi resistans değeri azalırken, reaktans değeri artmaktadır. Belirli bir frekans değerinden sonra iki parametrede sabit bir değeri göstermektedir.



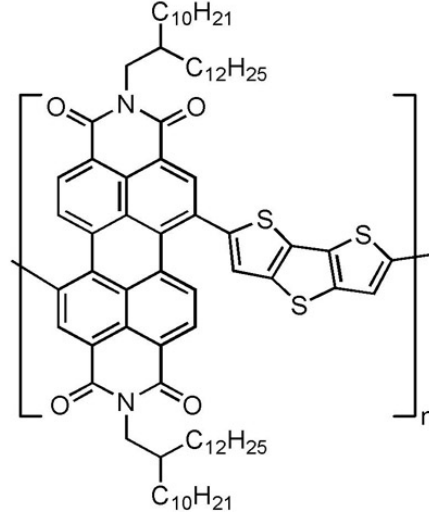
Şekil 1.14. Kapasitans ve dağılım faktörünün frekansa bağlı değişimi

Yine aynı çalışmada ince film polimer yapı için kapasitansın ve dağılım faktörünün frekansa karşı değişimi incelenmiştir(Şekil 1.14.). Frekans arttıkça kapasitansın arttığını, bu artışın sebebinin ise polimer yapıdaki yük merkezlerinin uygulanan dış alandan dolayı uyarılması olduğu gözlemlenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Polimerlerin Genel Özellikleri

Birçok sentetik maddede, küçük yapı birimleri ardı ardına tekrarlanarak birbirine bağlanmış ve böylece dev zincirler oluşmuştur. Böyle maddelere polimer denir. Polimerler monomer olarak adlandırılan küçük moleküllerin birbirine kovalent bağlarla bağlanmasıyla meydana gelen büyük moleküllerdir. Nişasta, selüloz, kauçuk ve proteinler doğal polimerlerdir. Polietilen, polistiren, teflon, PVC gibi yapay polimerler kimya endüstrisinin önemli ürünleridir. Polimerler elde edilmelerinde, özelliklerinin incelenmesinde, işlenmesinde önemli olan çeşitli kriterlere göre sınıflandırılarak belli gruplara ayrılırlar. Polimerler çok geniş bir molekül kütlesi aralığına sahiptir. Bu geniş aralık içinde, *polimerleşme derecesi* (polimer molekülünde yer alan zincir başına düşen tekrarlanan birim sayısı) genellikle  $10^2$  ile  $10^5$  arasındadır. Molekül büyüklüklerine göre polimerler üç gruba ayrılır. Ortamdaki monomerlerin kovalent bağlar ile birbirine bağlanmış birkaç tekrarlanan birim içeren küçük molekül kütleli,  $10^2$ 'ye kadar tekrarlanan birim içeren moleküllere oligamerler,  $10^2$ 'den büyük polimerleşme derecesine sahip olan moleküllere makromoleküller denir. Polimer zincirlerin çapraz bağlarla birbirine bağlanarak büyük bir kütle haline gelmesi durumunda molekül kütlesi sonsuz olarak alınır ve bunlar polimerik jel olarak adlandırılır. Oluşumuna göre polimerler üç gruba ayrılır. Doğal polimerler (selüloz, nişasta ve doğal kauçuk gibi), yarısentetik veya yapay polimerler (doğal kauçuğun vulkanizasyonu ile elde edilen vulkanize kauçuk gibi ) ve sentetik polimerler (polietilen, polivinil klorür gibi). Kaynağına göre polimerler iki gruba ayrılır. Organik monomerlerden oluşan polimerlere organik polimerler, inorganik monomerlerden oluşan polimerlere ise inorganik polimerler denir(İyibakanlar, 2003).



Şekil 2.1. Polimerlerin genel gösterimi

## 2.2. Polimer Çeşitleri

Bu kısımda endüstride kullanımı yaygın olan bazı polimerlerin genel özellikleri hakkında kısa bilgiler yer almaktadır.

### 2.2.1. Polietilen

Polietilen süt beyazı ve yarı şeffaf bir termoplastiktir; etilenin polimerizasyonu ile üretilir. Polimerizasyon işlemi, uygulanan prosese göre radikal, anyonik veya katyonik mekanizma üzerinden yürür; elde edilen polimerler birbirinden farklı özellik gösterir. Polietilenin mekanik özellikleri polimer zincirlerinin uzunluğuna ve dallanma derecelerine, kristal yapıya ve molekül ağırlığına göre değişir. Kısa zincirli ürünler kırılkan ve waks yapılıdır, uzun zincirli yapılar sert plastiklerdir. Poliolefin yoğunluğu arttıkça yumuşama noktası, bulanıklık ve yağlara dayanıklılık özellikleri de artar.

### 2.2.2. Polipropilen

Polipropilen propilenin polimerizasyonu ile elde edilen, yarı kristalin yapıya sahip bir polimerdir; sıkı, sert, dayanıklıdır, kimyasal maddelere karşı dirençlidir. Pek çok

uygulama alanları arasında ip, fiber, başaj, halı ve paketleme filmleri gibi ürünler sayılabilir.

### **2.2.3. Poli(Vinil Klorür), PVC**

PVC'nin vinil klorürden üretimi 1912 yılında başladı. Ancak elde edilen polimerler kararsız ve kolay parçalanan ürünlerdi.

Polimerin kararlılığını sağlayan katkı maddelerinin geliştirilerek kompaundlama yapılması 1930'lu yıllarda başarıldı. Poli(vinil klorür) vinil klorürden yapılan amorf bir termoplastiktir. Hafiftir, uzun ömürlüdür, sudan etkilenmez. Karbon atomlarına bağlı klor atomları bu polimerin sert ve yanmaya dayanıklı bir plastik olmasını sağlar.

### **2.2.4. Polistiren**

Polistiren bilinen en eski vinil polimerlerinden biridir. İlk olarak Fransız kimyacı M. Berthelot tarafından 1851'de benzen ve etilenin sıcak tüplerden geçirilmesiyle elde edilmiştir. Genel amaçlı ve kristalin homopolimerleri ile stiren-akrilikler gibi çeşitli kopolimerleri bulunur. Stiren ortam sıcaklığında bile çok kolay polimerleşebilen bir monomerdir. Ancak bu şartlarda polimerizasyonun tamamlanması aylarca sürer. Sıcaklığın artması polimerizasyonu hızlandır. Örneğin 150 derecede polimerizasyon süresi sadece birkaç saattir. Termoplastik bir polimerdir.

## **2.3. Polimerlerin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri**

Polimerik bir maddenin özellikleri kimyasal ve fiziksel yapılarına bağlıdır. Polimerler katı, yumuşak (elostomer) ve eriyik halde bulunabilirler. Bunun nedeni, polimerlerin uzun zincirler halinde farklı büyüklüklerde çok büyük molar kütleli moleküllere sahip olmalarındandır. Kristal oranı çok yüksek olan polimerlere kristalin, amorf oranı çok yüksek olan polimerlere de amorf polimerler denir. Polimerlerin çoğu bir kristal düzlemdeki katı ile vizkozitesi çok yüksek sıvı halin

karışımından oluşur. Kristal yapıda zincirler düzlemsel zikzak bir düzende (polietilen) bulunabilecekleri gibi, bir heliks düzeni düzeninde de (polipropilen) bulunabilirler. Polimerlerin kristallenme eğilimleri pratik uygulamalar için büyük önem taşır. Çünkü kristallenme derecesi polimerin termal, mekanik ve öteki özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Polietilen zincirinde tekrarlanan birimler küçük ve özdeş olduğundan bu polimer kolayca kristallenir. Polistiren, poli(metil metakrilat), poli(vinil klorür) gibi polimerlerde kristallenme eğilimi çok düşüktür. Doğrusal bir polimer, yeterince yüksek sıcaklıklarda amorf, kauçuksu bir eriyiktir. Yeterince düşük sıcaklıklarda ise sert bir katıdır. Bir polimer soğutulduğu zaman birbirinden ayrı iki mekanizma ile katılaştırabilir. Bunlardan biri kristallenme, diğeri ise camsılaşmadır. Bazı polimerlerde kristallenme önemli bir olay olduğu halde, bazılarında ise camsılaşma öne geçer. Bir polimerin ne tür pratik uygulamaya elverişli olduğu başlıca  $T_e$  (erime noktası) ve  $T_g$  (camsı geçiş sıcaklığı) ile belirlenebilir. Fiziksel olarak düz ve dallanmış zincir yapısına sahip olan polimerler ısıtıldıklarında önce yumuşarlar ve daha sonra kıvamlı akışkan hale gelirler. Bu tip ısısal davranış gösteren polimerlere ısı ile yumuşayan anlamına gelen *termoplastikler* denir. Termoplastik davranış gösteren bir polimerin yumuşamaya başladığı sıcaklığa camsı geçiş ( $T_g$ ), kıvamlı olarak akmaya başladığı sıcaklığa ise erime sıcaklığı ( $T_e$ ) denir. Termoplastik polimerlerin en önemli özelliği bir kere kaplandıktan sonra tekrar eritilerek defalarca kaplanabilmesidir. Bazı polimerlerin erime sıcaklıkları( $T_e$ ), entropi ( $\Delta S$ ) ve entalpi ( $\Delta H$ ) değerleri Çizelge 2.1. de verilmiştir(Çaban, 2007).

Çizelge 2.1. Bazı polimerlerin termodinamik değerleri

	$T_e(C^\circ)$	$\Delta H(J/mol)$	$\Delta S(J/mol.K)$
Polistiren	242	8370	16.23
Kauçuk	28	4400	14.48
Polietilen	144.5	4.02	8.66
Polipropilen	176	10880	24.18

### 2.3. Polimerler İnce Filmlerin Oluşturma Yöntemleri

Polimerler İnce Filmleri Oluşturma Yöntemleri iki kategoriye ayrılır; Fiziksel Kaplama Yöntemleri ve Kimyasal Kaplama Yöntemleri.

#### 2.3.1. Fiziksel Kaplama Yöntemleri

##### 2.3.1.1. Vakum içinde buharlaştırma

Sistem tamamen basınca ve ısıya dayanıklı kapalı bir kap içinde bulunur. Genel olarak camdan yapılmış kap kullanılır. Önce mekanik olarak sonrada turbo pompa kullanılarak basınç  $10^{-6}$  Torr'a kadar düşürülür. Kapalı kabın alt kısmına yerleştirilen film yapımında kullanılacak olan malzeme elektriksel yöntemlerle ısıtılır. Böylece malzemenin buharlaşması sağlanır. Buharlaşan malzeme taşıyıcıya yapışarak üzerinde birikir. Vakum içinde buharlaştırma yönteminde film kalınlığını etkileyen üç faktör vardır;

- Buharlaşma hızı,
- Buharlaşan malzemenin bulunduğu kap ile taşıyıcı arasındaki uzaklık,
- Buharlaşma basıncı.

##### 2.3.1.2 Reaktif buharlaştırma

Sistem yine kapalı bir kap içinde bulunur. Film yapımında kullanılacak malzeme ısı verilerek buharlaştırılırken ortama  $10^{-2}$  Torr basınç altında oksijen verilir. Böylece buharlaşan malzemenin oksitlenmesi sağlanır. Metal malzemelerin optiksel ölçümlerini yapabilmek için, saydam filmleri oluşturmada kullanılır.

##### 2.3.1.3 Sputtering

Yüksüz bir gazın bulunduğu ortamlarda uygulanabilen bir yöntemdir. Bu ortamın içine yerleştirilen yüzey, yüksek enerjili parçacıklarla bombardıman edilerek yüzeyden elektron sökülmesi sağlanır. Böylece ortamdaki yüksüz gazda pozitif

iyonlar oluşur. Elektrik devresinin katoduna yerleştirilen hedef metalin yüzeyine gönderilen pozitif iyonlar taşıyıcının malzeme ile kaplanmasını sağlar.

### **2.3.2. Kimyasal Kaplama Yöntemleri**

#### **2.3.2. 1 Sol-jel yöntemi**

Sol-jel yöntemi özellikle organik olmayan ince film kaplamalarında kullanılmaktadır. Bu yöntem, geleneksel yöntemlere nazaran 100-600° C gibi düşük sıcaklıklarda kullanılabilir. Geleneksel yöntemlerde ise sıcaklıklar 1500-1600° C'ye kadar çıkabilir. Bu kimyasal yöntemde başlangıçta kaplama yapılacak malzeme solüsyon şeklindedir. Bu solüsyon kullanılarak jel şeklinde bir madde elde edilir. Böylece çözelti katılaşmadan önce daldırma, döndürme ve püskürtme gibi yaygın yöntemlerle ince film kaplanır.

#### **2.3.2. 2. Anadizasyon**

Özellikle madeni kaplamalarda kullanılır. Madeni çözeltinin iyon iletkenliği kullanılır. Kaplanacak malzeme devrenin anoduna yerleştirilir ve devreye akım verildiğinde bir süre sonra iyon durumundaki malzeme anoda yapışarak kaplamayı oluşturur.

#### **2.3.2. 3. Kimyasal buhar birikimi**

Bu yöntemde vakum içine yerleştirilen malzemenin buharlaştırılarak taşıyıcı malzeme üzerine yoğunlaşması temel alınır. Kaplaması yapılacak malzemenin buharı kimyasal tepkimeler sonucu oluşturulur. Böylece çok benzediği fiziksel kaplama yönteminden ayrılır.



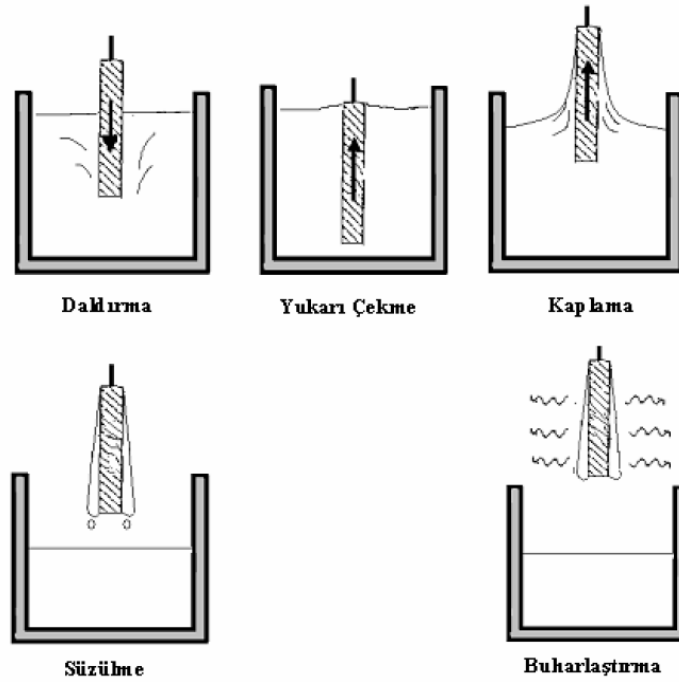
### 2.3.2. 4. Elektro kaplama

Bu yöntem metal taşıyıcının kaplanmasında kullanılır. Kaplanacak metal devrenin katoduna, kaplama malzemesi ise anoduna yerleştirilir. Devreye akım verildiğinde zamanla katottaki metal malzeme kaplanır. Kaplanan malzemenin kalınlığının kolay kontrol edilebilir olması ve kaplanacak taşıyıcının çözeltinin içine daldırıldığında şeklinin önemli olmaması nedeniyle sanayide ve araştırmalarda yaygın olarak kullanılır.

## 2.4. İnce Film Oluşum Fiziği

### 2.4.1. Daldırma Yöntemi

Taşıyıcının hazırlanan çözeltiliye belirli bir hızla daldırılması ve aynı hızla çıkarılması kuralına dayanır. Bu yöntem çoğunlukla saydam tabakalar üretmek için kullanılır. Scriven'e göre daldırma ile film kaplama yöntemi beş aşamada gerçekleşir(Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Daldırma yönteminin aşamalarının şematik gösterimi

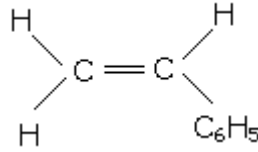
1. Daldırma
2. Çıkarma(yukarı çekme)
3. Kaplama
4. Akıtma(süzülme)
5. Buharlaştırma

#### 2.4.2. Döndürme Yöntemi

Döndürme kaplama (spin coating) tekniği ince film üretiminde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Tipik olarak işlem bir çözelti damlasının bir altlığın merkezine damlatılması ve daha sonra altlığın yüksek hızlarında döndürülmesi esasına dayanır. Konu, 3. Bölümde polisteren ince film yapımında detaylı olarak verilecektir.

#### 2.5. Polimerlerin Elektriksel Özellikleri

Polimerler, *monomer* (şekil 2.3) denilen ufak moleküllerin birbirine kovalent bağlarla bağlanarak oluşturdukları büyük moleküllerdir. Polimerik maddeler endüstride ve çağdaş yaşamda çok önemli bir yere sahip olup, çok değişik yapılar ve özellikler gösterirler. Bazı polimerlerin yararlılığı bu maddelerin elektriksel özelliklerine dayanır. Bu tür polimerler elektriksel yalıtkanlık, dielektrik kapasitörü ya da mikrodalga aygıtların parçalarında kullanılır. Polimerik maddeler ısı yalıtkanı olarak ta kullanılabilir. Bu durumda polimerin termal özellikleri önem kazanır. Bazı polimerlerin üstün optik özellikleri vardır. Bu maddeler şeffaflığı, geçirgenliği, kolay boyanabilirliği ve işlenebilirliği sayesinde endüstride oldukça sık kullanılırlar. Poli(metil metakrilat) ve poli(izo bütül) gibi polimerler düşük maliyeti ve geniş kapsamlı üretiminden dolayı, özellikle iyi derecede elektriksel ve optiksel özellikler sergilediğinden opto-elektronik cihazların tasarımında ve üretiminde kullanılan en önemli ticari polimerlerin başında gelir. Polimerlerin elektrik endüstrisinde kullanımları, moleküler hareketlilik ve relaksasyon süreleri ile ilgili dielektrik özelliklerin incelenmesi alanında birçok çalışma yapılmıştır.



Şekil 2.3. Bir monomerin yapısı

Polietilenin değişik formları gibi (politetrafloretillen, polistiren) polar olmayan polimerler, en geniş frekans aralığında düşük kayıp değerlerinden dolayı önemlidirler. Kayda değer miktarda katkılar, polimerizasyon esnasında başlatıcı (initiator) olarak katılabilirler. Fakat bunlar minimumda tutulduklarında kayıp faktörü  $1 \times 10^4$  seviyesine, milimetre bölgesine düşebilir. Bu değer, bu tür malzemeler için bulunan değerlerle çok küçük farklar gösterir. Fakat bireysel değerler bileşen grupların değişen elektronik polarizebilitelelerini yansıtır. Polistiren için  $\epsilon_0 \approx 2.602$ , polietilen için  $\epsilon_0 \approx 2.30$  dur. Permittivite ve daha önemlisi kayıp faktörleri polar olmayan sistemlerde istisnai teknolojik ilgiye sahiptir. Geçmişte yapılan dielektrik çalışmalar polimerlerin davranışının önemli bir safhası olan amorf polimerlerin, camdan kauçuğa geçişini aydınlatmıştır. Özgül hacim ve özgül ısı gibi birçok basit fiziksel özellik, ergimiş polimer soğudukça sıcaklığa bağlı olarak sürekli bir değişim gösterir. Bu genelde akmanın durduğu sıcaklığın altına kadar sürer. Daha da soğutulursa (çoğunlukla  $5^\circ \text{C}$  ya da daha düşük sıcaklığa) fiziksel özelliklerinde daha yüksek sıcaklık aralıklarındaki değerlere nazaran hızlı değişimler (yoğunlukta artış, özgül ısıda düşüş vb.) oluşur. Bu da plastikten, çoğunlukla kauçuğa benzer durumdan sert, kırılğan camsı bir hale geçişe işaretler. Bu cam dönüşümü polimerin iç sürtünmesinde büyük bir artışa neden olur. Bu durum zincirdeki düzensizliğin (disorder) kilitlenmesi ve katı içinde sertleşmenin bir sonucudur. Polar polimerler için, dielektrik absorpsiyon ‘‘dinamik’’ cam-dönüşüm bölgelerini tanımlamada kullanılır ve frekansa bağlı bölge limitleri seçilir.  $\epsilon''$  de göze çarpan bir düşüş oluşur, oysa dönüşüm sıcaklığının altında çok daha yavaş bir düşüş olması beklenir. Bu tür değişimler ( $d\epsilon''/dt$ ) açısından ya da kısa sıcaklık aralıklarındaki aktivasyon enerji değeri açısından bile çok çarpıcıdır. Bu dielektrik özellikleri ile ilgili genlikler ve aktivasyon enerjileri üzerine yapılan detaylı çalışmalar katı polimerlerdeki moleküler davranışın kavranmasını sağlamıştır (İyibakanlar, 2003).

## 2.6. Dielektrik Maddelerin Moleküler Davranışı

Maddeler iletkenlikleri açısından iletken, yarıiletken ve dielektrikler olmak üzere üç grupta toplanabilir. İletken maddeler, bir elektrik alan altında elektrik akımını geçirirler. Bu maddelerin iletkenlikleri  $10^5 S/m$  den büyüktür (Altın, gümüş gibi). Dielektrik maddelerin iletkenlikleri ise  $10^{-8} S/m$  küçüktür. Yarıiletken maddelerin iletkenlikleri ise iletken ve dielektrikler arasındadır.

Çeşitli hallerde(katı, sıvı, gaz) bulunan maddeler, elektrik alan altında farklı davranışlar gösterirler. İletken maddelerin içinde serbestçe dolaşabilen sınırsız sayıda elektron vardır. Fiziksel olarak, metal atomlarından her birinin bir veya iki elektronu belli bir atoma bağlı olmayıp, ortamda serbestçe dolaşabilirler. Buna karşılık dielektriklerde tüm yükler belirli atom veya moleküllere bağlıdır, hareketleri molekül içinde sınırlıdır. Bu mikroskobik yer değiştirmeler dielektrik maddelerin karakteristik davranışlarını belirler. Dielektrikler, atomlar ve moleküllerdeki baskın yükleri atomik ve moleküler kuvvetler tarafından tutulan hareket halindeki pozitif ve negatif yükler olan malzemelerdir ve serbest hareket edemezler. Bunun için ideal dielektrikler, yalıtkanlarda olduğu gibi serbest yük içermezler ve makroskobik olarak nötdür. Dielektrikler elektriği iletmezler ancak uygulanan elektrik alandan etkilenirler. Elektrik alan etkisinde, elektron ve atomlar yer değiştirir. Bunun sonucu elektrik yük merkezleri kayar ve elektriksel kutuplanma oluşur. Oluşan elektriksel dipoller, dielektrik malzeme yüzeyinde elektriksel yük birikimi sağlar. Bunun için kondansatör yapımında kullanılır. Yalıtkan olarak kullanılmalılarının nedeni elektrik devresinde yük transferini engellemeleridir. Mikrodalga bölgesinde kullanılan malzemelerin kalitesinin ve özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ortamları belirleyen elektromagnetik özellikler manyetik geçirgenlik( $\mu$ ), elektriksel geçirgenlik( $\epsilon$ ) ve iletkenlik( $\sigma$ ) şeklinde sıralanabilir. Yüksek frekanslarda malzemelerin magnetik özellikleri serbest uzaydan çok az farklılık gösterir. Diğer yandan elektriksel özelliklerin, çalışılan frekans aralığına göre çok geniş bir değişim alanı vardır. Elektriksel olarak iletkenlik( $\sigma$ ), açısal frekans( $\omega$ ) ve dielektrik sabiti( $\epsilon$ )'nin bağlı değerleri malzemenin doğasını belirler. Bunlar frekans, sıcaklık, nem, basınç, konum ve malzemenin moleküler yapısı ile değişebilir. İletenlerde  $\sigma$

baskın olduğu halde dielektrik malzemelerde  $\omega$  ve  $\varepsilon$ 'nin baskınlığı öne çıkmaktadır. Yarıiletkenlerde ise bu iki parametre aynı oranda baskındır.

### 2.6.1. Dielektrik Sabiti, Dipol ve Dipol Moment Kavramları

#### 2.6.1.1. Dielektrik Sabiti

Materyal, dışarıdan bir elektrik alan uygulandığı zaman enerji depolama yeteneğine sahipse ‘‘*dielektrik*’’ olarak sınıflandırılır. Dielektrik sabiti (Permitivite-Elektriksel geçirgenlik) bir alanın etkisi altında dış elektrik bölgede ne kadar enerji sakladığı ve malzeme içerisinde ne kadar enerji kaybolduğunu gösterir. Materyalin dielektrik sabiti iki elektrik yükü arasındaki elektrostatik kuvveti azaltan miktardır.

Homojen sınırsız bir dielektrikte, aralarında  $r$  uzaklığı olan iki nokta yükü ( $e$  ve  $e'$ ) arasındaki kuvvet şu şekilde verilmektedir:

$$F = (e.e')/(\varepsilon.r^2) \quad (2.1)$$

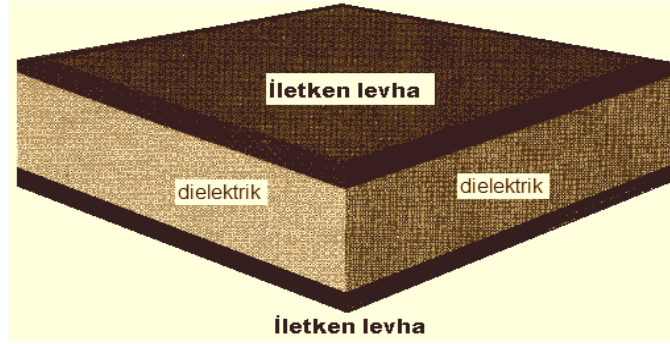
Burada  $\varepsilon$  dielektrik sabitidir. Yani iki yük arasındaki ortamın karakteristik sabitidir. MKS sisteminde boş uzayın dielektrik sabiti  $8.85.10^{-12} F/m$  dir.

#### 2.6.1.2. Kompleks Dielektrik Sabiti (Permitivite)

A alanına sahip, birbirinden  $d$  uzaklıkta bulunan paralel plakalı bir kondansatör Şekil 2.3.'teki gibi sinüzoidal voltaj kaynağına bağlandığında depo edilen yük;

$$Q = C_0.V \quad (2.2)$$

olacaktır. Bu förmülde  $C_0$  kapasitansı (plakalar arası boşluk),  $V$  ise plakalardaki voltajı göstermektedir.



Şekil 2.4. Paralel plakalı kondansatörün arasına yerleştirilmiş dielektrik malzeme

Kondansatörün bağlı olduğu sinüzoidal voltaj kaynağı

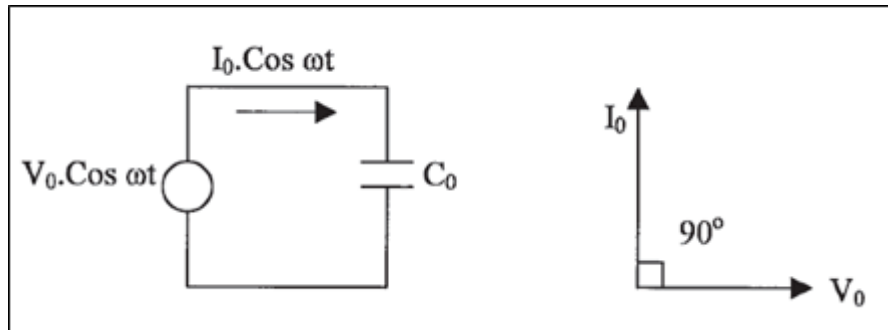
$$V = V_0 \cdot e^{j\omega t} \quad (2.3)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2.4)$$

ile gösterilir. Burada  $\omega$  açısal frekansı  $f$  ise frekansı göstermektedir. Bu durumda kapasitörün akımı;

$$I_c = dQ/dt = j\omega C_0 V \quad (2.5)$$

olacaktır. İdeal bir kapasitördeki akım-voltaj ilişkisi Şekil 1.4.'te verilmiştir.



Şekil 2.5. İdeal bir kondansatörün akım-voltaj ilişkisi

Alternatif bir gerilim altında yüklenen kondansatörün üzerinden geçen akım ile voltaj arasındaki ilişki incelenirse, dielektriğin güç kaybı olmadığı durumda (ideal durumda) kondansatörden geçen  $I$  akımı ile  $V$  voltajı arasındaki açının  $90^\circ$  olduğu görülür(Şekil 2.4). Dielektrik sabiti, dielektrikle doldurulmuş bir kondansatörün  $C$  kapasitesinin  $C_0$ 'a (plakalar arası boş iken değeri) oranı olarak tanımlanır. Kapasitörün kapasitesi, dielektrik bir madde ile doldurulduğunda artacaktır.

$$C = C_0 \cdot (\varepsilon / \varepsilon_0) = C_0 \cdot \varepsilon' \quad (2.6)$$

Burada  $\varepsilon$  dielektrik maddenin,  $\varepsilon_0$  boşluğun dielektrik sabitidir.  $\varepsilon'$  ise malzemenin bağlı dielektrik sabitidir.

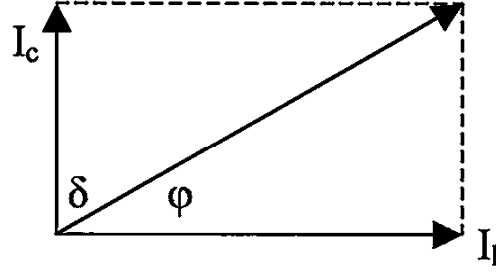
Kayıplı bir dielektrikte  $I_c$ 'ye ek olarak bir de kayıp akımı ( $I_l$ –Loss current) oluşacaktır. Kayıp akımı,

$$I_l = G.V \quad (2.7)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $G$  dielektrik malzemenin kondüktansıdır ( $R = 1/G$ ). Bu durumda kondansatördeki toplam akım,

$$I = I_c + I_l = (j\omega C + G).V \quad (2.8)$$

olacaktır. Kayıplardan dolayı, akım ile voltaj arasında  $\varphi$  ile ifade edilen ve frekans ile sıcaklığa bağlı olan bir faz farkı açısı oluşur (Şekil 2.5). Faz açısı bir dielektrikteki kayıplar yönünden kondansatörü tanımlar. Faz açısı  $90^\circ$ 'ye yakınsa dielektriğin çok kaliteli olduğu söylenebilir.



Şekil 2.6. Kayıplı bir dielektrikteki akımların gösterimi

Faz açısını  $90^0$ 'ye tamamlayan açiya kayıp açısı ya da kayıp tanjantı denir ve  $\delta$  ile gösterilir.

$$\delta = 90^0 - \varphi \quad (2.9)$$

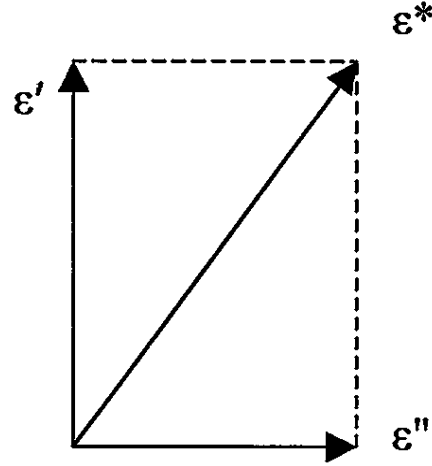
$$\tan \delta = I_c / I_l = 1/wRC \quad (2.10)$$

Kompleks dielektrik sabiti;

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (2.11)$$

şeklinde gösterilir. Burada  $\varepsilon'$  (dielektrik sabiti) kompleks dielektrik sabitinin gerçel kısmı,  $\varepsilon''$  (kayıp faktörü) ise sanal kısmıdır. Burada kompleks dielektrik sabitin gerçel kısmı gelen enerjinin dielektrikle etkileşimini (dielektrikte depolanan enerjiyi) karakterize eder. Bu değer pek çok katı ve sıvı için birden büyüktür. Sanal kısım (kayıp faktörü) ise malzemenin içinde ısıya dönüşerek harcanan enerjiyi gösterir. Bu değer her zaman sifıra eşit veya sıfırdan büyük olabilir. Kompleks dielektrik sabitin vektör diagramı Şekil 2.6.'da verilmiştir.





Şekil 2.7. Kompleks dielektrik sabitinin vektör diagramı

Kayıp tanjantı ifadesini bu diagramdan da elde edebiliriz. Vektör toplamı, gerçel eksenle  $\delta$  gibi bir açı yapar. Bu açının tanjantı, dielektrikte ısı olarak açığa çıkan enerji miktarının büyüklüğünü değerlendirmede kullanılır. Kayıp tanjantı kompleks dielektrik sabitinin sanal kısmının gerçel kısmına oranıdır.

$$\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon' \quad (2.12)$$

Açısal frekans ile kayıp faktörünün çarpımı dielektriğin iletkenliğini vermektedir.

$$\sigma = \omega \varepsilon'' \quad (2.13)$$

Birbirinden  $d$  mesafesi ile ayrılmış,  $A$  alanına sahip paralel plakalı bir kondansatör ele alındığında, boş iken kapasitans,

$$C_0 = (A/d)\varepsilon_0 \quad (2.14)$$

olacaktır. Plakalardan geçen toplam akım,

$$I = (j\omega\varepsilon' + \omega\varepsilon'')(C_0/\varepsilon_0)V \quad (2.15)$$

idi. Uygulanan elektrik alan şiddeti ,

$$E = V/d \quad (2.16)$$

olacaktır. Alan şiddeti uygulandığında plakalardan geçen akım yoğunluğu  $J$  ile gösterilirse,

$$J = (j\omega\varepsilon' + \omega\varepsilon'')E \quad (2.17)$$

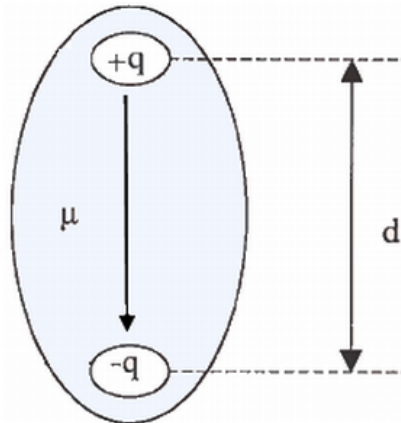
olacaktır.

### 2.6.1.3. Dipol ve Dipol Moment

Dipol birbirinden  $d$  mesafesi ile ayrılmış iki zıt yüklü özdeş  $q$  yükünün oluşturduğu bir sistemdir. Dipol moment vektörünün yönü, negatif yükten pozitif yüke doğrudur. Dipol moment vektörü Şekil 1.3.'te gösterilmiştir. Bir elektrik dipol momentinin büyüklüğü şu şekilde ifade edilmiştir.

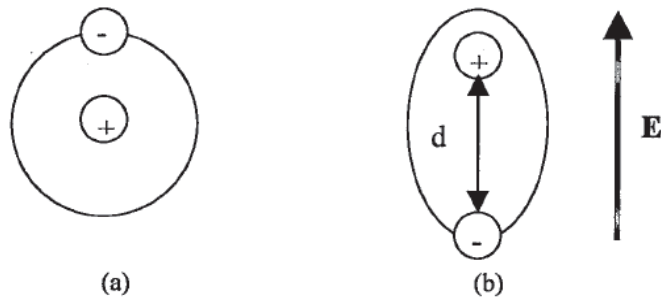
$$\mu = q.d \quad (2.18)$$

Burada  $q$  elektrik yükünü,  $d$ 'de iki yük arasındaki uzaklığı göstermektedir.



Şekil 2.8. Elektrik dipol momentinin gösterimi

İdeal dielektrikler, yalıtkanlarda olduğu gibi serbest yük içermezler ve atom molekülleri şekil 2.8.a'da olduğu gibi makroskopik olarak nötrdür. Bununla birlikte bir dış alan uygulandığında negatif ve pozitif yükler iletkenlerde olduğu gibi malzemenin yüzeyine doğru hareket etmezler. Yüklerin merkezi birbirine bağlı pozisyonlar içinde az bir kayma göstermektedir. Bu kayma elektrik dipol momentini oluşturmaktadır. Bir malzemeye elektrik alan uygulandığında, malzemenin oluşan dipolleri bu alan ile etkileşmektedir. Dielektrik malzemelerde (katı, sıvı veya gaz ) bu etkileşim malzemeye elektrik enerjisi depolama özelliği sağlar.



Şekil 2.9. (a) Elektrik alan olmadığı durumdaki bir atom  
(b) Elektrik alan altındaki bir atom

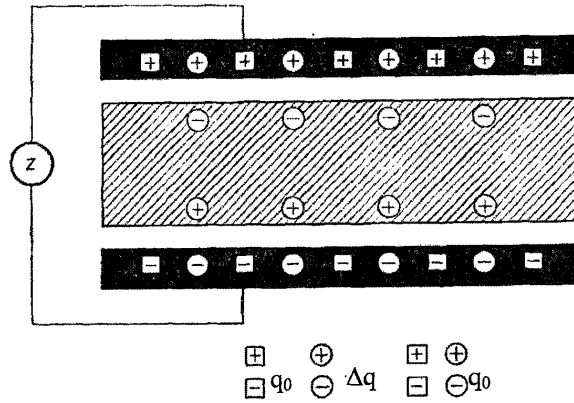
Moleküldeki negatif ve pozitif yüklerin toplam miktarının eşit olmasına rağmen bir polar molekül, elektrik dipol momentine sahiptir. Dipol momentlerinin genliği, molekülün simetrisine ve büyüklüğüne bağlıdır. Moleküler simetriğe sahip değilse, polar moleküldür. Polar olmayan moleküllerde dipoller bulunmaz. Maddelerin moleküllerinin dipol momentini, dielektrik sabitlerini etkiler ve dielektrik sabiti moleküllerinin dipol momentini ölçmede kullanılır (Hippel, MIT, 1954).

## 2.7. Kutuplanma (Polarizasyon) ve Çeşitleri

Dielektriklerin en önemli özelliği, bir dış elektrik alanın etkisi altında kalarak kutuplanabilmeleridir.

### 2.7.1. Elektriksel Kutuplanma

Dielektriklere bir elektrik alan uygulandığında atomik yapılarında bulunan yüklü parçacıkların hareketi alanın etkisiyle değişikliğe uğrar. Bu değişiklikten dolayı dielektrikte ‘‘Elektriksel Kutuplanma (Polarizasyon)’’ meydana gelir. Dielektrik bir madde elektrik alan içine konulduğunda bu madde, nötr atomlar veya apolar moleküllerden oluşuyorsa, elektrik alanın etkisiyle her bir atom veya molekül alan yönünde küçük bir dipol momenti kazanır. Madde polar moleküllerden oluşuyorsa her bir kalıcı dipol momenti üzerine etkiyen tork onu alan yönünde dönmeye zorlayacaktır. Her iki durumda da elektrik alan yönünde çok sayıda küçük dipoller oluşur. Yani dielektrik içinde polarizasyon oluşur. Dielektrikte bulunan atomların polarize olmasıyla yüklü yüzeyler bir elektrik alan yoğunluğuna sahip olmaktadır. Elektrik alan yoğunluğu, atomlardaki yük dağılımı eşit olmayacak şekilde pozitif çekirdeğe bir kuvvet uygular. Negatif yüklü elektronlara da bu kuvvete eşit fakat zıt yönde bir kuvvet uygular.



Şekil 2.10. Yüklü kondansatörün plakaları arasındaki dielektrik polarizasyonu

Elektriksel kutuplanma şu şekilde de açıklanabilir: Bir bataryaya plakaları arasında dielektrik bulunan bir hava kondansatörü bağlandığında, her iki plakada potansiyel farkları eşit oluncaya kadar dolacaktır. Dielektrik, batarya voltajına ters yönde potansiyel farkını arttırıp, normalize ederek kondansatörün yükleme kapasitesini

arttıracaktır. Kondansatöre uygulanan akımın artırılması, yükleme kapasitesini  $\varepsilon'.C_0$  kadar artırır. Bu, plakalar arasında bulunan ve alan etkisi altında olan dielektrikteki dipollerin artmasına neden olur. Dipoller pozitif ve negatif uçlar arasında uzun zincirler oluşturur. Pozitif yük, negatif plaka üzerinde bir miktar yükü nötralize eder. Aynı şekilde negatif yükte pozitif plaka üzerindeki bir miktar yükü sönmümler. Plakalara elektrik alan uygulanmasıyla, atomik yapıda bulunan serbest yükler alanın etkisiyle yer değiştirerek elektriksel dipoller oluştururlar. Bunlar alan doğrultusunda yönlenerak plakalar üzerinde serbest yüklerin toplanmasına neden olurlar. Bu yüklere, yüzey yükleri denilmektedir. Bu yük dağılımı, maddede oluşan yüklerin bağıl yer değişimine bağlıdır. Toplam alan, uygulanan alan ( $\vec{E}$ ) ve polarizasyon yüklerinin oluşturduğu alanın ( $\vec{E}'$ ) vektörel toplamıdır. Bir kondansatörün plakaları arası boş iken yükü  $q_0$  ise, dielektrik madde ile doldurulduğu zamanki yükü  $q$  olacaktır. Bu artış  $\Delta q = q - q_0$  kadar olacaktır. Bu ifade,

$$\Delta q = \chi'.q_0 \quad (2.19)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki  $\chi'$  ifadesi *elektriksel duygunluktur(süseptibilite)* ve

$$\chi' = \Delta C/C_0 = (C - C_0)/C_0 \quad (2.20)$$

ile ifade edilir.  $\Delta C = \Delta q/V$  ifadesi denklem 2.20'de yerine konursa, Denklem 2.19 elde edilmiş olur. Plakalardaki toplam yük  $q = q_0 + \Delta q$  olacaktır. Buradan;

$$q = q_0 + \chi'.q_0 \quad (2.21)$$

yazılabilir. Toplam yük yoğunluğu ise,

$$\sigma = \sigma_0 + \chi'.\sigma_0 \quad (2.22)$$

olacaktır. Burada  $\sigma_0$  kondansatörün plakalarındaki lokalize olmuş yüklerin yoğunluğu,  $\chi' \cdot \sigma_0$  ise dielektriğin yüzeyindeki indüklenmiş yük yoğunluğudur.

$\sigma = (\chi' + 1)\sigma_0$  ifadesi dielektrik yerdeğiştirme vektörü  $\vec{D}$  (displacement vector) olarak tanımlanır.  $\vec{D}$  elektrik akı yoğunluğu olarak ta bilinmektedir. Denklem(2.22) aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$\sigma = (\chi' + 1)\sigma_0 = \vec{D} \cdot \vec{n} \quad (2.23)$$

Burada  $\vec{n}$  kondansatör yüzeyine dik birim vektördür ve dielektrikten dışarı doğru yönelmiştir. Aynı zamanda,

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} \quad (2.24)$$

şeklinde de ifade edilebilir. Bu durumda,

$$\sigma_0 = \epsilon_0 \cdot \vec{E} \cdot \vec{n} \quad (2.25)$$

yazılabilir. Polarize olmuş dielektriğin yüzeyindeki  $\chi' \cdot \sigma_0$  yük yoğunluğu dielektrik polarizasyon vektörü  $\vec{P}$ 'yi verir. Böylece yüzey yük yoğunluğu,

$$\chi' \cdot \sigma_0 = \vec{P} \cdot \vec{n} \quad (2.26)$$

olacaktır. Denklem (2.23), (2.25) ve (2.26) ; denklem (2.22)'de yerine konursa,

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

ifadesi elde edilir. Ayrıca Denklem (2.25), Denklem (2.26)'da yerine konursa,

$$\vec{P} = \chi' \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad (2.28)$$

polarizasyon vektörü elde edilmiş olur. Bu ifade de Denklem (2.27)'de yerine konursa,

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \chi' \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} = (1 + \chi') \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad (2.29)$$

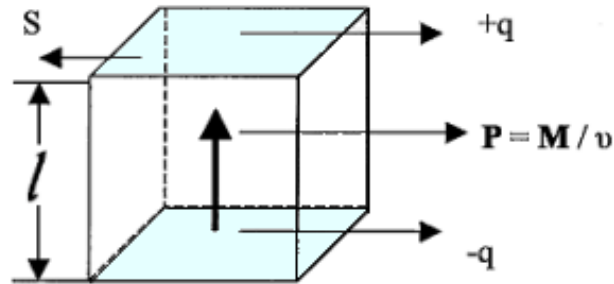
olacaktır.  $\chi' = \Delta C / C_0 = (C - C_0) / C_0$  olduğu denklem (2.20)'de verilmişti.  $\epsilon' = C / C_0$  olduğundan  $\epsilon' = \chi' + 1$  yazılabilir. Bu durumda Denklem (2.29),

$$\vec{D} = \epsilon' \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad (2.30)$$

şeklinde yazılabilir. Polarizasyon vektörü, dielektriğin birim hacim içindeki elektrik dipollerinin toplam momentini olarak da tanımlanabilir. Bu ifade,

$$\vec{P} = \vec{M} / v \quad (2.31)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $\vec{M}$  toplam moment,  $v$  ise hacimdir. Şekil(2.10).



Şekil 2.11.  $l$  uzunluğunda,  $S$  alanına sahip paralel plakalı kondansatör

Polarizasyon şu şekilde de tanımlanabilir:

$$P = N \cdot \langle m \rangle_E \cdot \vec{e} \quad (2.32)$$

Bu ifadede  $N$  birim hacimdeki dipol sayısı,  $\vec{e}$ ,  $E$  alanı yönündeki birim vektör,  $\langle m \rangle_E$  ise dış alan yönündeki  $m$  momentinin izdüşümünün ortalama değeridir.  $\langle m \rangle_E$ ,  $F$  lokal alanı ile orantılıdır. Bu orantı,

$$\langle m \rangle_E \cdot \vec{e} = \alpha \cdot F \quad (2.33)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeden yola çıkarak Denklem (2.28) eşitliğindeki polarizasyon ifadesi,

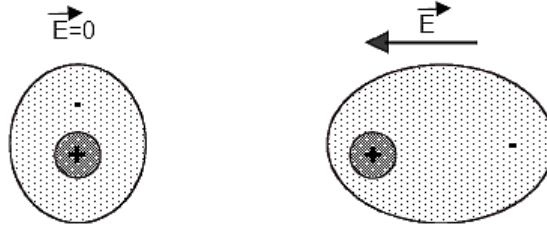
$$\vec{P} = \chi' \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} = N \cdot \alpha \cdot F \quad (2.34)$$

şeklinde olacaktır. Bu ifadedeki  $\alpha$  orantı katsayısı *polarizebilite* (kutuplanabilirlik) olarak bilinmektedir (Chelkowski, 1980).

### 2.8.2. Elektronik Kutuplanma

Bir dielektrik moleküllerden oluşur. Bu, pozitif yüklü çekirdeklerin negatif yüklü elektronlarla çevrilmiş olduğu bir elektrik sistemi gibi düşünülebilir. Bu yükler üzerine bir elektrik alan uygulandığında yer değiştirme (displacement) meydana gelecektir. Uygulanan elektrik alanla birlikte pozitif yük etrafındaki elektronlar harekete geçecektir (Şekil 2.11). Böylece bir dipol moment artışı olacaktır. Buna dielektriğin elektronik kutuplanması veya elektronik polarizasyonu denir. Elektronik kutuplanma, kısaca atom çekirdeklerine göre elektronların yer değiştirmesi şeklinde de tanımlanabilir. Atomlar, geçici olarak oluşturulan bir dipol gibi davranır ve bu durum bütün dielektriklerde gözlenir. Bu tür bir kutuplanma bir dış alanın mevcut olması durumunda  $10^{-14}$  sn. gibi çok kısa bir zaman aralığında meydana gelir.

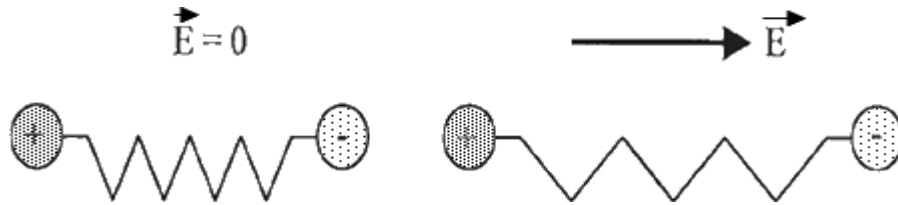




Şekil 2.12. Elektronik kutuplanma

### 2.8.3. Atomik Kutuplanma

Farklı atomlardan oluşan moleküller göz önüne alındığında (Örneğin HCl) bu atomların farklı işaretli yüklere sahip olduğu görülecektir. Dışarıdan bir elektrik alan uygulandığında pozitif yükler elektrik alan yönünde, negatif yükler ise zıt yönde harekete geçecektir. Böylece denge pozisyonları değişecek ve dipol momenti artacaktır. Bu atomlar arasındaki bağ bir yay benzetilebilir. Bu yayın esneme ve sıkışma durumlarında dipol moment değişecektir. Buna atomik kutuplanma adı verilmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.13. Atomik kutuplanma

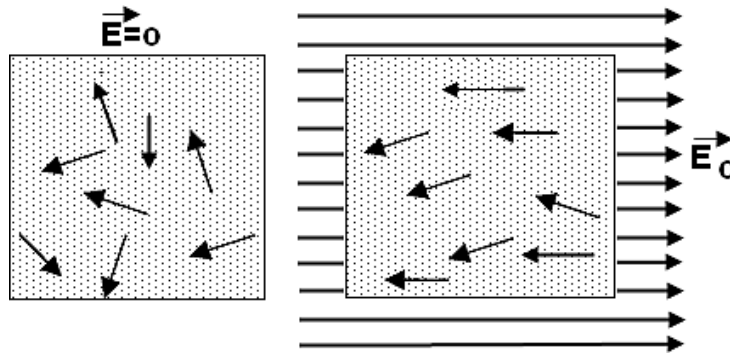
Atomik kutuplanma  $10^{-12}$  ile  $10^{-13}$  sn. gibi çok kısa bir zaman aralığında meydana gelmektedir. Meydana gelme süresi elektronik kutuplanmadan kısadır. Ortaya çıkan kutuplanma dielektrik sabitini etkilemektedir.

### 2.8.4. Dipol (Yönelme) Kutuplanması

Farklı atomlardan oluşan moleküllerdeki pozitif ve negatif yüklerin ağırlık merkezleri çakışık olmayabilir. Bu durumda bir dış alan uygulanmasa bile molekül sürekli bir dipol momentine ( $\mu$ ) sahip olacaktır. Bazı malzemeler doğal olarak dipol içerir. Bu tür malzemeler polar malzemelerdir. İstatiksel olarak rastgele dağılmış moleküllerin bulunduğu izotropik bir ortamda, bu momentler birbirini yok eder. Bu durumda bir dış elektrik alan uygulaması yoktur. Bir elektrik alan uygulandığında bir kuvvet momenti ( $T$ ) oluşacaktır. Bu kuvvet momenti,

$$\vec{T} = \vec{\mu} \times \vec{E} \quad (2.35)$$

şeklinde yazılabilir. Bu dipol kutuplanmasının sonucudur (Şekil 1.13). Bir alan uygulandığında dipoller uygulanan alanla birlikte dönerler. Alan uzaklaştırıldığında ise dipoller aynı hizaya kalarak sürekli kutuplanmaya neden olurlar. Dipol kutuplanması, elektrik alan etkisiyle moleküllerin ısı hareketlerinin düzenlenmesinden ortaya çıkar. Sürekli kutuplanmalar, su ve organik polimerler gibi asimetric moleküllerde oluşur. Kristal maddelerde dipoller, erime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yönelmezler ve dipol kutuplanması bu tür malzemelerde oluşmaz. Moleküllerin gevşek olarak bağlı bulunduğu kristallerde dipol kutuplanması oluşabilir. Örneğin seramik malzemeler bir simetri merkezinden yoksundur ancak dipol gibi davranabilirler.



Şekil 2.14. Dipol kutuplanması

### 2.8.5. Yüzey (Serbest) Yük Kutuplanması

Dielektriğin moleküllerine ve atomlarına bağlı olan yük veya yük taşıyıcıları bazen dielektriğin içinde kendi kendilerine yer değiştirebilirler; fakat nötralize olmazlar. Elektrik alanda bu serbest yükler hareket ettiği zaman kapasitans artar. Bu kutuplanmaya yüzey yük kutuplanması denir (Şekil 2.14).



Şekil 2.15. Yüzey yük kutuplanması

Hareketli yüklerden kaynaklanan bir kutuplanmadır. Malzeme elektrik alana sokulduğunda yük yüzeyde hareket edebilir. Dielektriklerin çoğunda bu tip kutuplanma önem taşımaktadır.

Yukarıda verilmiş olan dört kutuplanma, şu şekilde ifade edilir:

Elektronik kutuplanma  $\alpha_e$

Atomik kutuplanma  $\alpha_a$

Dipol kutuplanması  $\alpha_o$

Yüzey yük kutuplanması  $\alpha_s$

Sonuç olarak bir dielektriğin toplam kutuplanması (polarizebilitesi):

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_a + \alpha_o + \alpha_s \quad (2.36)$$

şeklinde verilmektedir (Mijovic, Fitz, 1998).

## 2.9. Dielektriklerin Sınıflandırılması

Dielektrikler polar (dipol) ve apolar (polar olmayan, nötr) olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma dielektriklerin elektriksel, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından son derece önemlidir. Bir dış elektrik alan uygulanmadığı zaman, dielektriğin oluşturduğu net bir elektriksel moment yoksa, bu tür dielektriklere apolar dielektrikler adı verilir. Dış alan olmadığı durumda, bu maddelerin moleküllerinin her birinde pozitif ve negatif yüklerin kütle merkezi çakışıktır. Dolayısıyla bu tür moleküllere de apolar moleküller ( $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$  gibi) denmektedir. Bu tür malzemelerde herhangi bir elektrik alan uygulanmadığında, aşağıda ifadeleri verilen toplam dipol momenti ve elektrik polarizasyon vektörü sıfıra eşit olur. Birim hacim başına elektrik dipollerinin  $N_e$  olduğu bir  $\Delta v$  hacmi için toplam dipol moment,

$$P_t = \sum_{i=1}^{N_e \Delta v} dp_i \quad (2.37)$$

şeklinde ifade edilir. Elektrik polarizasyon vektörü  $\vec{P}$  ise,

$$\vec{P} = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{\Delta v} P_t \right] = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{\Delta v} \sum_{i=1}^{N_e \Delta v} dp_i \right] \quad (2.38)$$

şeklinde tanımlanır(T. Durlu).

Bazı dielektriklerin molekülleri daima dipol bulundurur. Bu maddelerin moleküllerinin her birinde negatif yüklerin kütle merkezi ile pozitif yüklerin kütle merkezi çakışık olmayabilir. Bu durumda bir dış alan olmadığı halde dipol moment sıfırdan farklıdır. Dipol momente sahip moleküle sahip polar molekül, böyle moleküllerden oluşmuş dielektriğe de polar dielektrik ( $N_2O$  ve  $H_2O$  gibi) adı verilir.  $N_2O$  ve  $H_2O$  molekülleri incelendiğinde, her ikisinde de azot ve hidrojen atomlarının, oksijen atomunun aynı tarafında yer aldığı görülür. Bir dielektrik, elektrik alan içine yerleştirildiği zaman, bir yük hareketi olmamakla birlikte, elektronlar ait oldukları

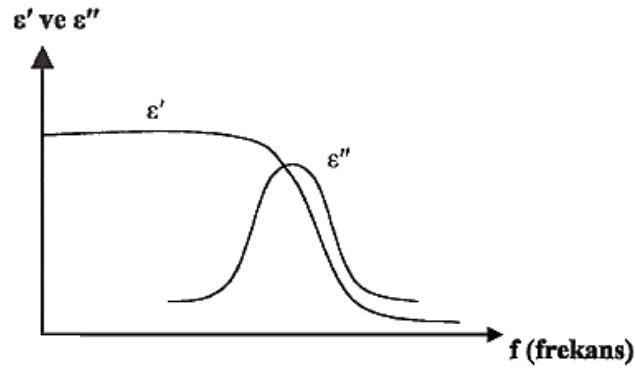
atomun çekirdeğine göre çok küçük bir yerdeğiştirme yaparlar. Böylece atomlar çok küçük dipoller haline geçerler. Bu durumda dielektrik polarize olur. Dipolar hale geçen molekül, dipol momenti elektrik alana paralel olacak şekilde yönelir. Elektrik alan kaldırıldığında atomlar tekrar normal hallerine dönerler ve dipoller kaybolur. Apolar bir molekül kutuplandığı zaman, yer değiştiren yüklere geri çağırıcı bir kuvvet etki eder. Dış elektrik alan tarafından yüklere etkiyen kuvvet, geri çağırıcı kuvvetlere eşit oluncaya kadar yükler birbirinden ayrılırlar. Geri çağırıcı kuvvetler molekülden moleküle değişir. Bu nedenle verilen bir alan için yüklerin yer değiştirmesi, yani kutuplanması farklı olur. Moleküllere uygulanan elektrik alan arttıkça, yönelme derecesi artar. Maddenin  $\mu$  momentinin deneysel olarak belirlenmesiyle, o maddenin moleküler yapısı hakkında bir fikir edinilebilir. Örneğin simetri eksenine sahip moleküllerin polar olmadığı söylenebilir. Çünkü, bu durumda molekülün pozitif ve negatif yüklerinin yük merkezleri ile molekülün simetri eksenini çakışmaktadır. Polar olmayan maddenin molekülünde  $r=0$  olduğu için  $p=0$ 'dır. Diğer taraftan simetrik olmayan moleküllerde daima polardır.

## 2.10. Dielektrik Relaksasyon (Durulma) ve Dielektrik Kayıplar

Her polarizasyon etkisi, rezonans frekansı veya relaksasyon frekansı karakteristiğine sahiptir. Rezonan etkisi, genelde elektronik veya atomik polarizasyonda görülmektedir. Dielektrik relaksasyon, moleküllerin iç yapılarına ve dielektriğin moleküllerinin yapısına veya moleküler düzenine bağlı olarak yönelme polarizasyonu ile ilişkilidir. Dielektriklerde relaksasyon, plakaları arasına elektrik alan uygulanan kondansatördeki dielektriğin davranışından kaynaklanmaktadır. Relaksasyon zamanı, dielektrikte bulunan moleküllerin hareketinin ölçüsüdür. Relaksasyon zamanı; polarizasyonun, orijinal değerinin  $1/e$ ' si olarak bulunabilir. Kauzmann'nın hesaplarına göre polarizasyon  $P(t)$ , zamanın bir fonksiyonu olarak şu şekilde ifade edilir (Dipol yönelimlerinden dolayı bir  $\text{cm}^3$ 'de oluşan elektrik moment).

$$P(t) = P_0 \cdot e^{-k_0 t} \quad (2.38)$$

Burada  $P_0$ ,  $t = 0$  anındaki polarizasyonu;  $k_0$  ise dipollerin hareketleri için oran sabiti ya da atlama oranıdır.  $k_0 T = 1$  olduğu durumda  $P(t)$ ,  $P_0/e$  değerine gelmelidir.  $t$ 'nin bu değeri, relaksasyon değeridir ve relaksasyon zaman sabiti,  $\tau = 1/k_0$  olarak da bulunabilir. Sıvı ve katı dielektrikler, bir elektrik alan uygulandığında küçük bir alanda sınırlı hareket edebilen moleküllere sahiptirler. Moleküllerin bu hareketi iç sürtünmeye yol açar. Öyle ki moleküller, yavaş yavaş döner ve eksponansiyel olarak relaksasyon zaman sabiti ( $\tau$ ) sonunda yönelme polarizasyonunun son durumuna yaklaşır. Alan kaldırıldığında ise sıra ters döner ve aynı zaman sabiti ile rastgele dağılım eski durumuna gelir. Dielektrik kaybın maksimum olduğu frekansa, relaksasyon frekansı denir. Relaksasyon frekansı, relaksasyon zamanının tersi ile orantılıdır ( $f_{relax} = 1/2\pi\tau$ ).



Şekil 2.16. Polar bir dielektriğin, dielektrik relaksasyonu

Relaksasyon zamanı, elektrik alanın bir periyot içinde değişim yapması sonucunda, o periyot içinde dipolün yönelme yapması için geçen süre olarak da tanımlanabilir. Relaksasyon frekansı, malzemenin rezonans frekansına karşılık gelir. Elektrik alanın frekansı, relaksasyon frekansından küçük olduğu zaman kutuplanma kolaylıkla oluşur ve elektrik alanı izler. Bu durumda dielektrik kayıplar, ihmal edilecek kadar azdır. Frekans artarak relaksasyon bölgesine ulaşıncaya, kutuplanma alana uymakta zorlanır ve faz farkı artar. Bu durumda kayıplarda maksimum olur. Frekans artmaya devam ederse, kutuplanma oluşmaz ve dielektrik sabiti hızla azalır. Kutuplanma oluşmadığı anda ise dielektrik kayıp olmayacaktır. Her kutuplanma mekanizmasının relaksasyon mekanizması farklı olduğundan, değişik kutuplanmaların etkilerini

deneysel olarak ayırmak mümkündür. Dielektrik kayıplar, kutuplanma türlerine bağlıdır. Yüzey yük kutuplanmasından kaynaklanan dielektrik kayıplar  $10^4$  Hz civarında, dipol (yönelme) kutuplanmasından kaynaklanan kayıplar  $10^8$  Hz civarında, atomik kutuplanmadan kaynaklanan kayıplar  $10^{12}$  Hz civarında ve elektronik kutuplanmadan kaynaklanan kayıplar ise  $10^{16}$  Hz civarında görülür. Yüzey yük kutuplanmasının görüldüğü frekans çok küçük olduğu için önemsizdir. Dipol kutuplanması ise polar moleküllerde görülür. Kutuplanmalardaki dielektrik kayıplar frekansa bağlı olarak incelenirse, relaksasyon frekansında kayıpların maksimum olduğu görülmektedir. Relaksasyon frekansının sağında ve solunda enerji kaybı azalmaktadır. Bu da relaksasyon süresinin, uygulanan elektrik alanın periyodundan büyük yada küçük olmasından kaynaklanır. Dielektrik kayıplar, sıcaklık yükselmesi ile artar. Alternatif bir voltaj uygulandığında, önemli miktarda ısınma olur. Açığa çıkan ısı, frekans ile artar. Bunun nedeni uygulanan elektrik alanın değişen yönüne göre yönelecek olan dipollerin ve moleküllerin birbirine sürtünmeleridir. Bu sürtünme nedeni ile ısı açığa çıkar. Komşu moleküllerde olan sürtünmeler nedeni ile molekülün, elektrik alan değişimini izlemesi gecikmeli olur. Atomik ve elektronik kutuplanmanın görüldüğü malzemelerde sıcaklığın dielektrik sabitine etkisi, düşük sıcaklıklarda küçüktür. Yüksek sıcaklıklarda ise iyon hareketinin fazla olmasından dolayı yüksektir. Atomik kutuplanmanın görüldüğü malzemelerde sıcaklık ve frekansın etkisi çok önemlidir. Dielektrik sabiti, belli bir sıcaklıkta keskin olarak artar ve düşük frekanslarda artan sıcaklıkla daha fazla artar (İyibakanlar,2003).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Giriş

Bu kısımda yapılan deneysel çalışmalar ve kullanılan cihaz ve yöntemler anlatılacaktır.

#### 3.2. Materyal

Denyde kullanılan cihaz ve malzemelerin kısaca anlatılacağı bu kısımda tüm cihazların işlevlerine ve çözelti hazırlama olayı ayrıntılı şekilde verilecektir.

##### 3.2.1. Manyetik Karıştırıcı

Denyde kullanacağımız kimyasal maddeler ve çözücüler Şekil 3.1.'de görülen, SBS marka, maksimum 450°C'ye kadar ısınma ve 1500 rpm'e kadar döndürme özelliğine sahip manyetik karıştırıcı yardımıyla uygun bileşim haline getirilmiştir. Aynı zamanda *hot plate* görevi gören manyetik karıştırıcı ile film kaplanan altlıkların yüksek ve düşük sıcaklıklarda tavlamaları da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Manyetik karıştırıcı



### 3.2.2. Çeker Ocak

Spin kaplama cihazı çalışırken açığa çıkan gazlar çekerocak vasıtasıyla dışarı atılır. Şekil 3.2.'deki çekerocak içerideki buharı çekip açık havayla bağlantılı borudan dışarıya atmaktadır. Böylece çekerocak laboratuvar ortamını güvenli hale getirmektedir.



Şekil 3.2. Çekerocak

### 3.2.3. Spin Kaplama cihazı

Şekil 3.3.'te görülen spin kaplama ile akışkan çözeltinin küçük bir miktarının kaplanacak yüzey üzerine damlatılması ve yüzeyin yüksek hızlarda döndürülerek çözeltinin kenarlara kadar yayılması sağlanmıştır. Bu işlemi yaparken homojen bir ince film yapısı elde etmek için damlatılan sıvının altlığa tam olarak dağılması için belli bir süre bekletilmiştir. Laurell marka, WS-400E-6NPP/LITE/AS model bu spin kaplama cihazının çalışması için gerekli olan vakum miktarı 15.00'' Hg dir.



Şekil 3.3. Spin kaplama cihazı

#### 3.2.4. Ultrasonik banyo

Deneyde kullanılan altlıkların temizliği ultrasonik banyoda gerçekleştirilmiştir(Şekil 3.4.). Bandelin sonorex marka, maksimum 80° C sıcaklık ve maksimum 15 dakika süre ayarlaması yapılabilen banyoda 80° C'de 30 dk boyunca altlıklar temizliğe tabi tutulmuştur.



Şekil 3.4. Ultrasonik banyo

### 3.2.5. Fırın

Yıkanan altlıkların kurutulması ayrıca elde edilen ince filmlerin farklı sıcaklıkta tavlama işlemi Şekil 3.5.'teki, Nüve FN 032 marka, maksimum 225° C sıcaklığa kadar yükseltilebilen fırında gerçekleşmiştir.



Şekil 3.5. Fırın

### 3.2.6. Hassas terazi

Powder halde bulunan polimer kimyasallarını uygun çözeltiler haline getirebilmek için öncelikle belirli oranlarda karışım yapılmalıdır. Kullanacağımız polimeri SHIMADZU AUW220D marka, maksimum 220 g minimum 1 mg ağırlık ölçümü yapabilen hassas terazide ölçüldü (Şekil 3.6.).

### 3.3. Ölçümler

Üretilen ince filmlerin yapısal ve elektriksel özelliklerini belirlemek için aşağıdaki yollar izlenmiştir.



Şekil 3.6. Hassas terazi

### 3.3.1. Empedans analizörü

Empedans elektrik devrelerinin, devre elemanlarının ve kullanılan materyalin karakterizasyonunu belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Empedans( $Z$ ) genel olarak belirli bir frekansta bir maddenin veya devrenin alternatif akıma gösterdiği toplam karşı koyma olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada empedans ölçümlerimizi Hewlett Packard 4294A empedans analizörü ile gerçekleştirmiş bulunmaktayız ( Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Hewlett Packard 4294A Empedans Analizörü

Kompleks empedans  $Z = R + jX$  şeklinde ifade edilmektedir. Reel ve imajiner olmak üzere iki kısımda incelenen kompleks empedans ifadesinde reel kısım  $R$ 'yi yani direnci imajiner kısım ise  $X$ 'i yani reaktansı ifade eder. Kompleks empedans ifadesi polar koordinatlarda büyüklük yani  $|Z|$  şeklinde de ifade edilebilir (Şekil 3.8).

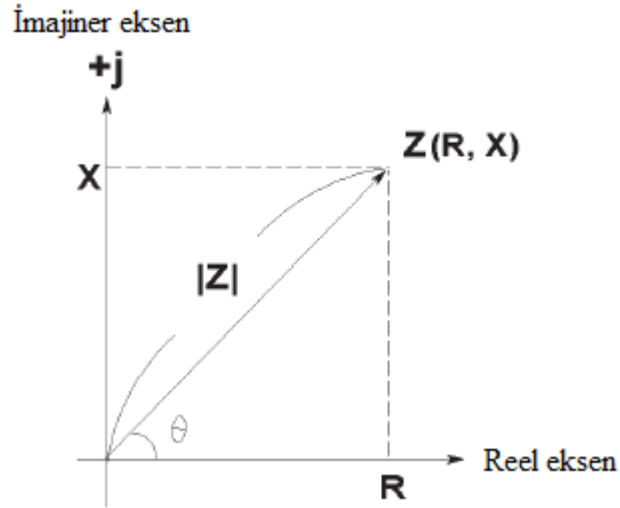
$$Z = R + jX \quad (3.1)$$

$$R = |Z| \cos \theta \quad (3.2)$$

$$X = |Z| \sin \theta \quad (3.3)$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (3.4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{X}{R} \right) \quad (3.5)$$

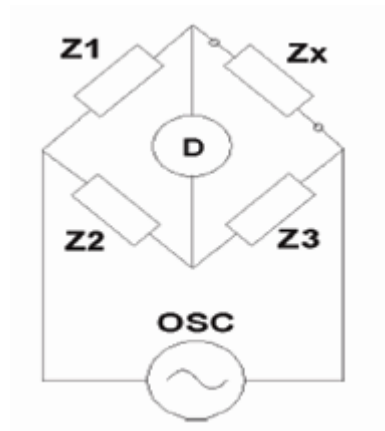


Şekil 3.8. Kompleks empedansın reel(R) ve imajiner(X) kısımları

Kompleks empedans belirlenirken sık kullanılan bir yöntem izlenmiştir. Köprü tekniği olarak bilinir, bu tekniğin fiziği bilinen üç değer ve bir dedektör yardımıyla bilinmeyen dördüncü değeri bulmaya dayanır. Dördüncü değer aşağıdaki formülle bulunur (Şekil 3.9).

$$Z_x = \frac{Z_1}{Z_2} Z_3 \quad (3.6)$$

Bu teknikte sadece empedans değil L(indüktans), C(kapasitans) ve R(direnç) gibi istenilen parametreler de bulunabilir.



Şekil 3.9. Köprü tekniği örnek devresi

### 3.3.2. Dielektrik Spektrometresi

Dielektrik sabiti, yalıtkanlar ve polimerler gibi katı malzemelerin en önemli özelliklerinden biri olarak bilinir. NOVA marka Dielektrik Spektrometrenin genel bir görünümü Şekil 3.10 ve dielektrik malzeme ölçüm pronun yapısı Şekil 3.11 de görülür. Kompleks dielektrik sabiti permitivitenin reel( $\epsilon'$ ) ve imajiner( $\epsilon''$ ) kısımlarından oluşur.

$$\epsilon^* = \epsilon' + j\epsilon'' \quad (3.7)$$

Bu çalışmada hazırladığımız ince film yapının dielektrik sabitleri Alpha-A dielektrik spectrometresiyle ölçüldü. Yaklaşık ? nm kalınlığındaki filmlerin dielektrik sabiti,

$$\epsilon' = C \frac{d}{\epsilon_0 A} \quad (3.8)$$

formülü yardımıyla bulundu. Burada  $d$  film kalınlığı,  $\epsilon_0$  serbest uzayın permitivitesi  $C$  numunenin kapasitansı,  $A$  ise kullanılan cihazın etkin alanı. Kompleks permitivitenin imajiner kısmı ise,

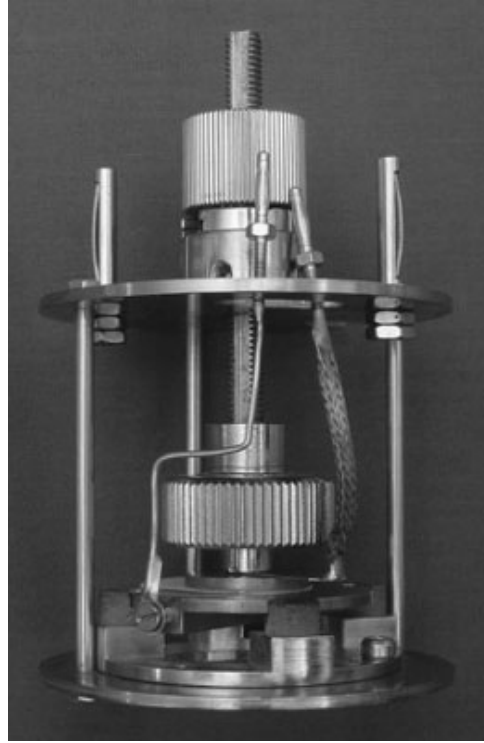
$$\epsilon'' = \epsilon' D \quad (3.10)$$

formülüyle bulundu. Burada  $D$  kayıp faktörüdür.  $X$  reaktans ile  $R$  resistans arasındaki açının tanjantı olarak ifade edilebilir.

$$D = \tan \delta = \frac{R}{X} \quad (3.11)$$



Şekil 3.10. Alpha-A Dielektrik Spectrometresi



Şekil 3.11. Alpha-A Dielektrik Spektrometresi Numune Ölçüm Aparatı

### 3.3.3. X-Işınları cihazı

Hazırlanan numunelerin hangi yapıda olduğunu yani morfolojisini belirlemek için Merkezi Laboratuvarda bulunan Riguka Ultima III marka difraktometre kullanılmıştır(Şekil 3.12.). Ölçümlerde hazırlanan numunelerin X-ray kırınım spektrumu elde edildi.





Şekil 3.12. Rigaku ultima III difraktometresi

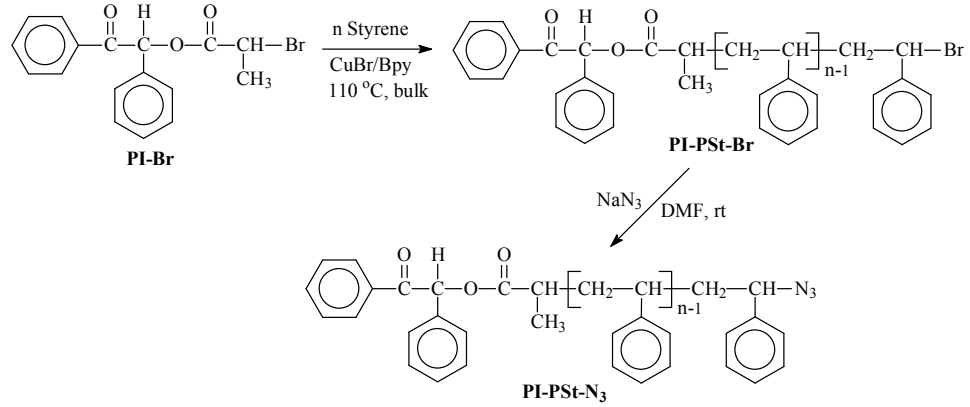
### 3.4. İnce Filmlerin Hazırlanışı

#### 3.4.1 Cam

Numune hazırlarken boyutları 2.5 cm ye 7.5 cm cam alttaşlar kullanıldı. Ölçüm yapılan cihazın haznesine göre 1 cm ye 1.5 cm ebatlarında alttaşlar hazırlandı.

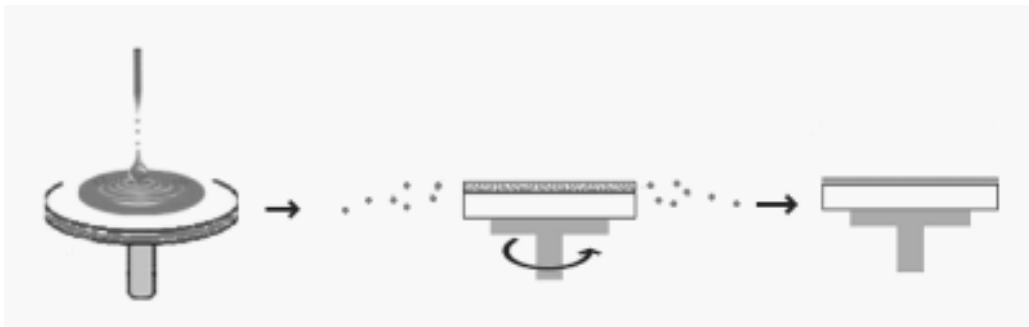
#### 3.4.2. Polimerik materyal

Harran üniversitesi kimya bölümünde sentezlenen polistiren malzeme oda sıcaklığında kloroform çözücüsüyle karıştırılarak %0.5'lik çözelti haline getirildi. Şekil 3.13 'de B-PSt-N<sub>3</sub> ve B-PSt-Br polystyrene kimyasallarının moleküler yapısı verilmiştir.

Şekil 3.13. B-PSt-N<sub>3</sub> ve B-PSt-Br polimerlerinin sentezi

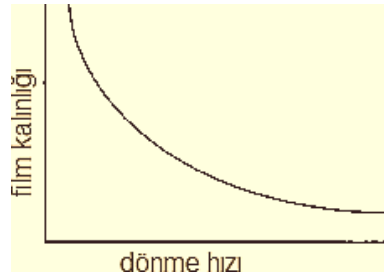
### 3.5. Kaplama Yöntemi

Hazırlanan, **B-PSt-N<sub>3</sub>** ve **B-PSt-Br** çözeltinin ince film haline getirilmesi Döndürme Kaplama (spin coating) yöntemi ile yapılmıştır. Döndürme kaplama (spin coating) tekniği ince film üretiminde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Tipik olarak proses bir çözelti damlasının bir altlığın merkezine damlatılması ve daha sonra altlığın yüksek dönme hızlarında (3000 dev/dak) döndürülmesi esasına dayanır. Çalışmamızda Laurell marka, WS-400E-6NPP/LITE/AS cihazını kullandık. Bu cihazda, merkezi hızlandırma (düşey eksen etrafında döngü) fazla çözeltinin uzaklaştırılmasına ve kalan çözeltinin ise altlık yüzeyine ince film şeklinde yayılmasına neden olur. Film kalınlığı ve diğer özellikler, çözelti özellikleri (viskozite, kuruma hızı, katı oranı ve yüzey gerilimi) ile işlem şartına (devir, hızlandırma) bağlıdır. Kaplama işlemi üç adımda gerçekleşir (Şekil 3.14.).

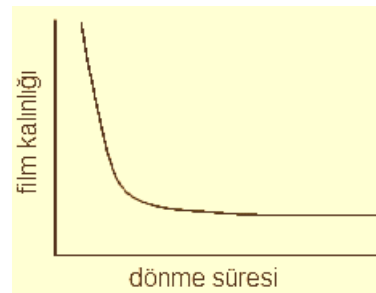


Şekil 3.14. Döndürme kaplama işlemi

Şekil 3.14 'te görüldüğü gibi hazırlanan altlık üzerine çözelti damlatılması ile başlayan işlem yüksek hızlı döndürme ile fazla çözeltinin uzaklaşması ve kalan çözeltinin buharlaştırılıp kurutulması ile ince film elde edilir. Çözeltinin dağıtılmasında dinamik ve statik olmak üzere iki yaygın yöntem vardır. Statik dağıtım, çözelti damlasını altlığın merkezine veya merkezine yakın bölgeye damlatılmasıdır. Altlığın boyutlarına ve çözelti viskozitesine bağlı olarak gerekli çözelti miktarı 1-10 mikron arasında değişir. Dinamik dağıtım ise altlık düşük hızlarda dönerken çözeltinin damlatılmasıdır. Bu proseste yaklaşık 500 *dev/dak* dönüş hızları kullanılır. Bu hız çözeltinin tüm altlık boyunca dağıtılmasını ve daha az çözelti kullanılmasını sağlar. Altlık veya çözelti zayıf ıslatma özelliğine sahip olduğundan filmde boşluk oluşması engellenir.



Şekil 3.15. Film kalınlığının altlığın hızına bağlılığı



Şekil 3.16. Film kalınlığının altlığın dönme süresine bağlılığı

Döndürme yönteminde film kalınlığının düzgün olmasını sağlayan iki kuvvet vardır; merkezci kuvvet ve buna ters yönde sürtünme kuvveti. Döndürme sonunda oluşan film kalınlığı şu ifadeyle verilir.

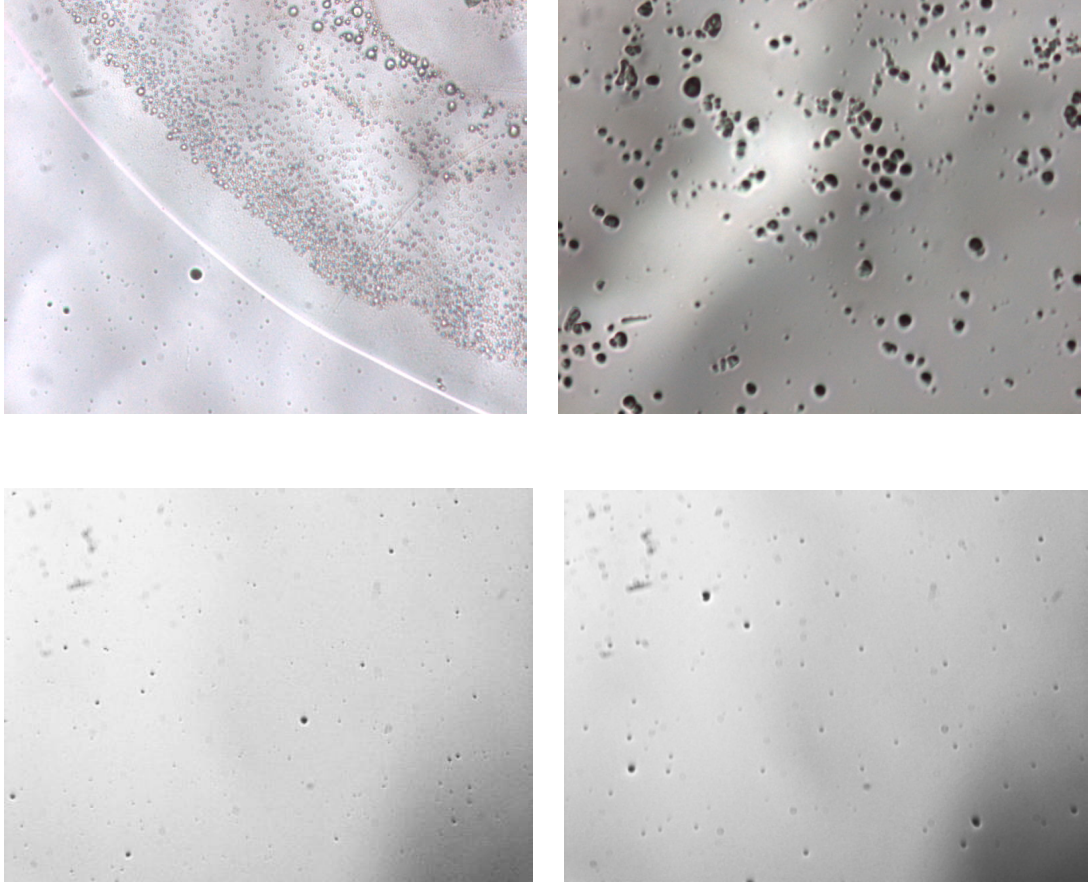
$$h(t) = \frac{h_0}{\sqrt{1 + \frac{4\rho\omega^2 h_0 t}{3\eta}}} \quad (3.1)$$

Burada  $h(t)$ ;  $\rho$  yoğunluğundaki, vizkozitesi  $\eta$  olan ve  $\omega$  açısal hızıyla döndürülen filmin  $t$  süre sonraki kalınlığıdır.

Yapısı verilen polimerik malzeme daha sonra oda sıcaklığında cam yüzey üzerine kaplanarak ölçüm için hazır hale getirildi.

Film kalınlığının altlığın hızına bağlı ve film kalınlığının altlığın dönme süresine bağlı olarak hazırlanmış, **PI-PS<sub>t</sub>-N<sub>3</sub>** ince film polimer malzemenin polarizasyon mikroskopunda çekilen görüntülerinden dört tanesi Şekil 3.17. de verilir. Döndürme kaplama yönteminde dikkat edilecek hususların başında çözeltinin hazırlanması, vizkozitesi ve döndürme aşamaları gelmektedir. Hazırlanan polimer çözeltileri tamamen homojen bir çözelti haline gelmesi için magnetlerle 18 saat oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Daha sonra çözeltinin hazır olma durumuna bakılarak kaplama işlemine geçildi. Spin-coater cihazında film kaplama teorik olarak üç aşamada gerçekleşebilir. Bunların ilki, alttaşa çözelti damlatıldıktan sonra çözeltinin alttaş yüzeyine homojen dağılması için yaklaşık 20 sn beklendi ve damlatılan çözeltinin bir anda alttaşı terk etmemesi için düşük rpm'lerde döndürüldü. Bu aşama çözeltinin alttaş yüzeyine homojen olarak dağılmasını sağlamak içindi. İkinci aşama ise dönme hızının aşama aşama yükseltilerek çözeltinin ince film halini almasıdır. Bu aşamada en yüksek dönü hızına ulaşılır. Son aşama ise oluşan ince film yapının bozulmaması için sistemi yavaşlatmaktır. Bu aşamada cihaz en yüksek dönü hızından ilk dönü hızına inene kadar yavaşladı. Anlattığımız bu durumu bir gaussien eğrisi gibi düşünebiliriz. Özetle kaplama işleminde spin-coater cihazını önce yavaş hız, sonra maximum hız ve daha sonra tekrar yavaş hızla döndürülerek film kaplama

işlemini gerçekleştirmiş olduk. Burada unutulmaması gereken en önemli sonuç istenilen film kalınlığına göre cihazın maksimum dönü süresi ayarlanabilir.



Şekil 3.17. Polarizasyon mikroskobundan çekilen film görüntüleri

## 4. ARASTIRMA BULGULARI ve TARTISMA

### 4.1. Giriş

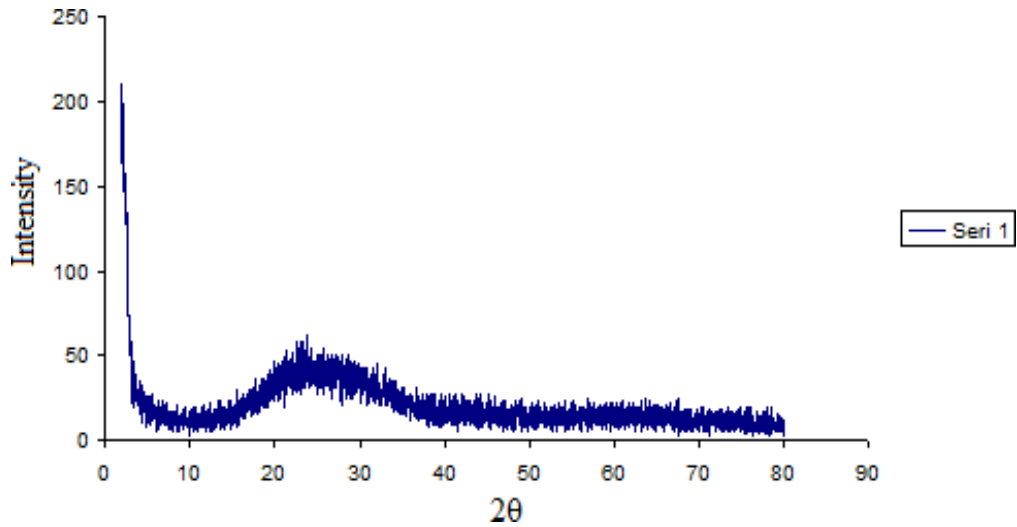
Çalışmamız önceki bölümlerde anlatılan teorik temeller ve gerekli yöntem ve deney setleri kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle şu yollar izlenmiştir.

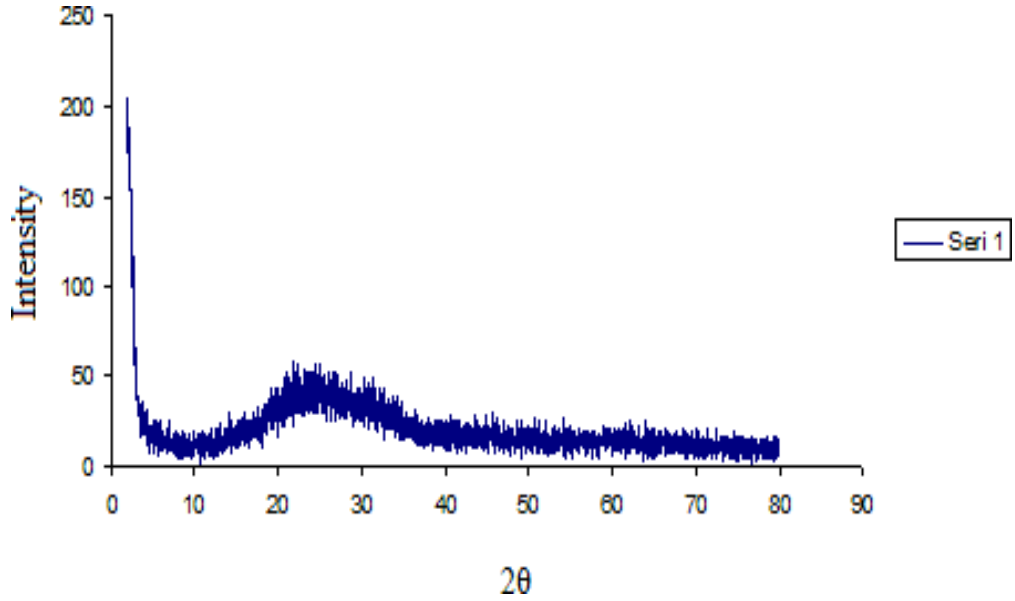
- Polimer malzemenin uygun çözücüyle çözelti haline getirilmesi,
- Çözeltinin oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıyla 9 saat boyunca karıştırılması,
- Kaplama için uygun hale gelen polimer çözeltinin cam altlıklar kullanılarak döndürme kaplama yöntemiyle kaplanması,
- Kaplanan filmlerin uygun sıcaklıkta tavlama,
- Ve ölçümler.

### 4.2. X-Işını Spekturumu Ölçümleri

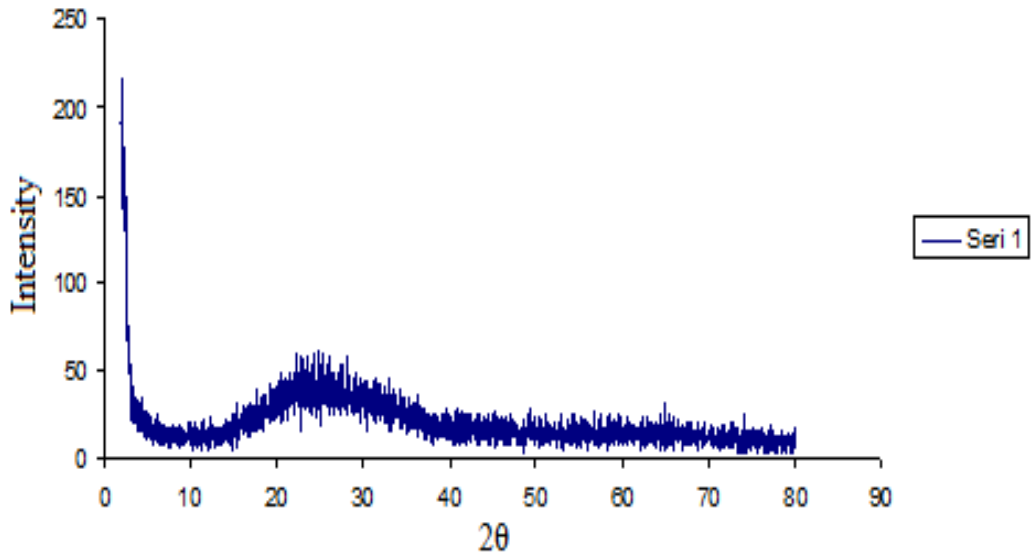
Materyal ve metod bölümünde bahsedilen % 0.5 lik polimer çözeltiler oda sıcaklığında kaplandıktan sonra 50,75 ve 100 derecede tavlama. Bu filmlerin x-ışını spekturumu Riguka Ultima III marka difraktometreden alındı. Sonuçlar Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 'te görülmektedir.



Şekil 4.1. Spin-coater metoduyla üretilen filmin 100 °C'deki X-ışını spekturumu



Şekil 4.2. Spin-coater metoduyla üretilen filmin 75 °C'deki X-ışını spektrumu



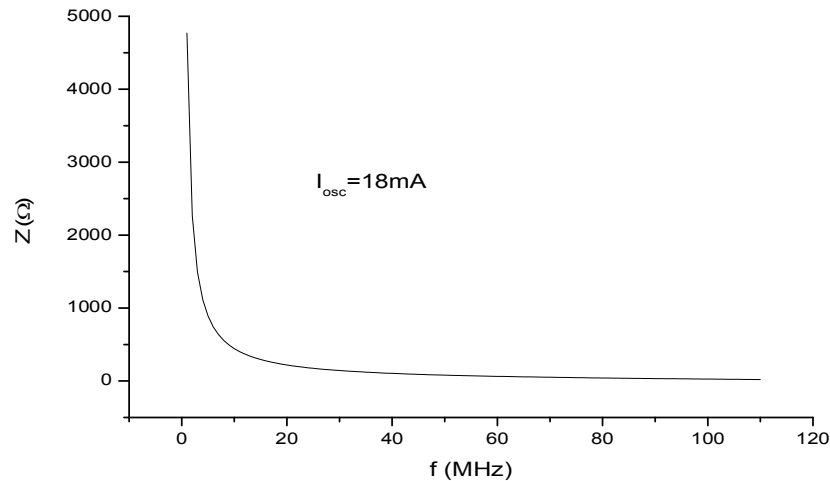
Şekil 4.3. Spin-coater metoduyla üretilen filmin 50 °C'deki X-ışını spektrumu

Yukarıda verilen X-ışını spektrum analizi kullandığımız numunenin amorf yapıda olduğunu yani kristalik örgüye sahip olmadığını göstermektedir. Kristal bir

polimerin yapısı kristal ve amorf bölgelerin karmaşık bileşimi olarak yorumlanabilir. Kristal bir polimerin en basit yapı elemanı birçok atomdan oluşan zincir parçalarından meydana gelen kristal hücrelerdir. Polimerler küçük moleküllü maddelerde görülen bütün simetri kurallarına uyarlar. Kristal ana yapıları ve Bravais hücre örgülerine göre dizilişler polimerlerde de görülür. Birim hücrelerin dizilişi, kristal morfolojisini belirleyen kristalin sınırları içinde farklı yapısal şekiller ortaya çıkarır. Polimerlerde görülen düzenli yapıdan sapmaların en önemli nedeni; zincir yapısında meydana gelen düzensizliktir. Diğer bir neden ise atomların uzun bir zincir biçiminde bağlanmasıyla kristal yapı için gerekli olan serbest difüzyonun meydana gelmemesidir. Grafikteki dalgalanmalar ise tamamen kullanılan altlığın yapısından kaynaklanmaktadır.

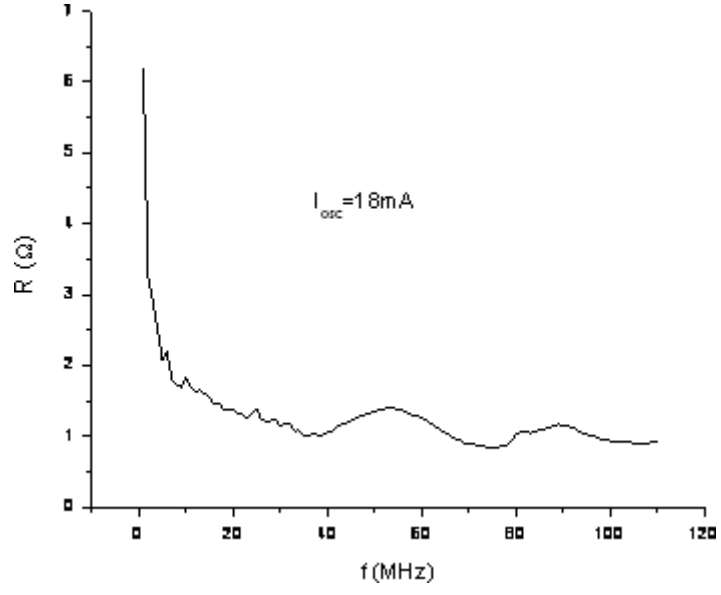
### 4.3. Empedans ölçümleri

Bu kısımda elde edilen numunelerin köprü tekniği kullanılarak direnç ölçümleri yapılmıştır. Materyal-metod kısmında belirtilen cihaz yardımıyla yapılan ölçümlerin sonucu aşağıda verilmiştir. Bu ölçümlerde farklı kalınlıklarda 1,2 ve 3 nolu numunelerin direnç eğrileri verilmiştir.

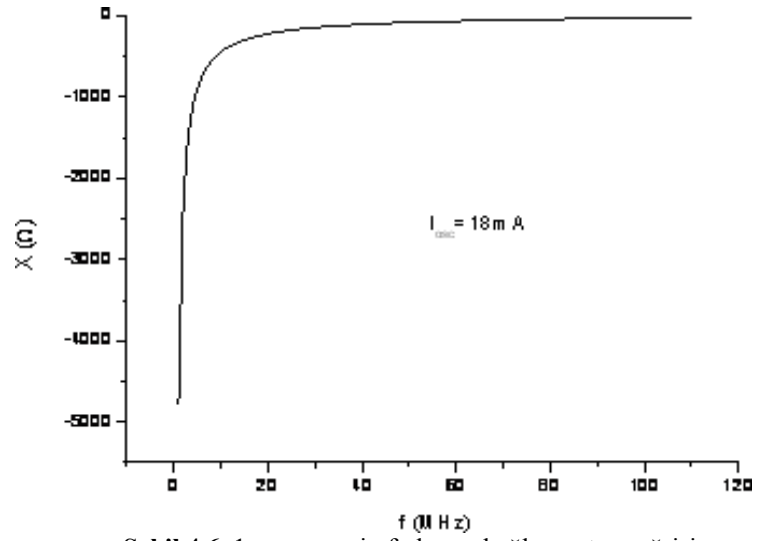


Şekil 4.4. 1. numunenin frekansa bağlı kompleks empedans eğrisi

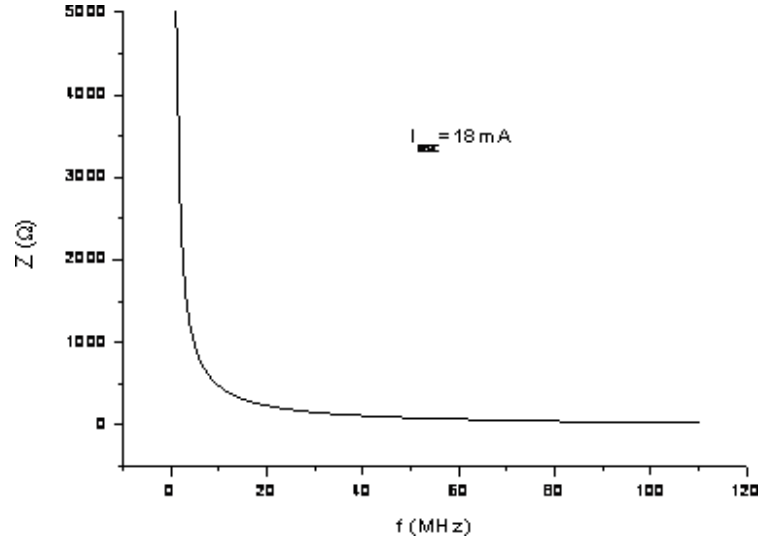




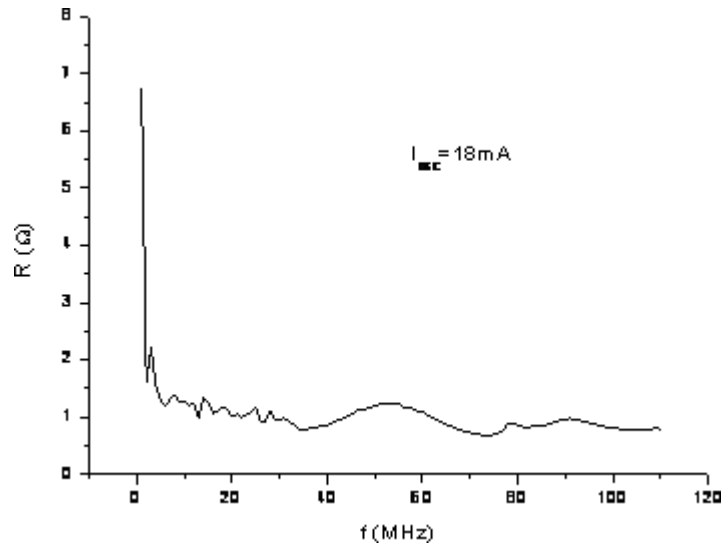
Şekil 4.5. 1. numunenin frekansa bağılı reel direnç eğrisi



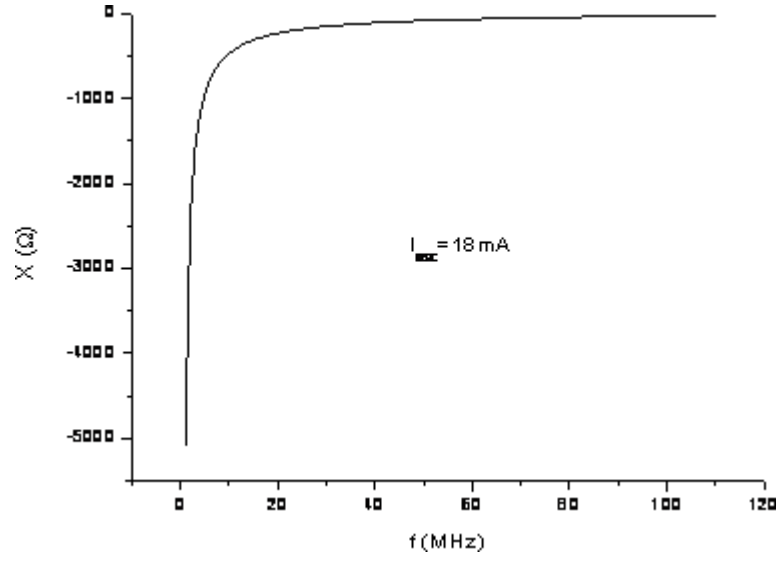
Şekil 4.6. 1. numunenin frekansa bağılı reactans eğrisi



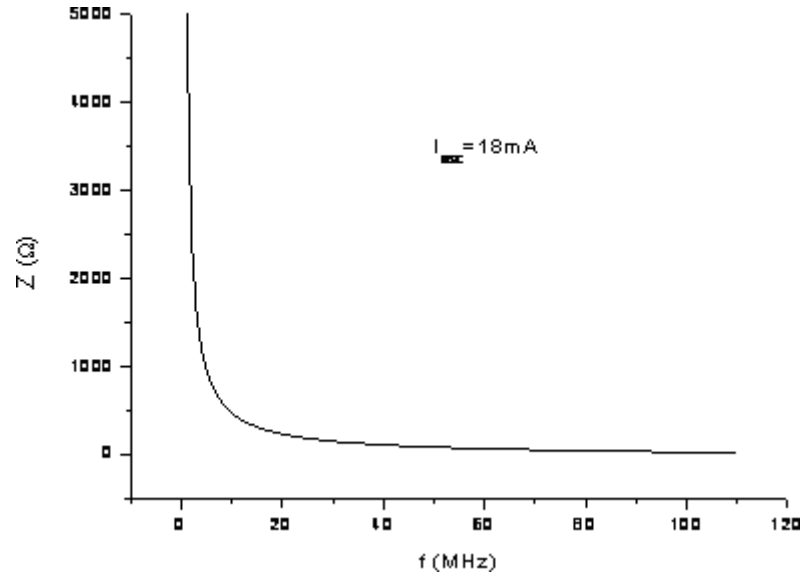
Şekil 4.7. 2. numunenin frekansa bağlı kompleks empedans eğrisi



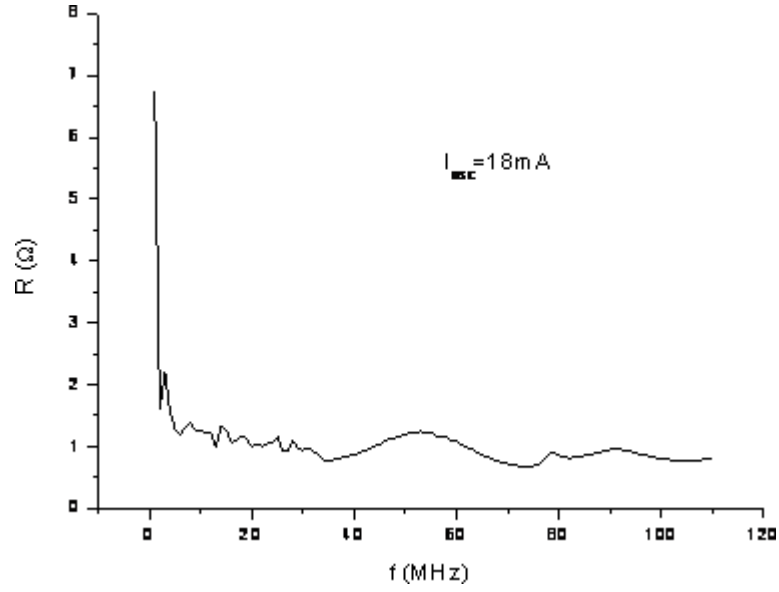
Şekil 4.8. 2. numunenin frekansa bağlı reel direnç eğrisi



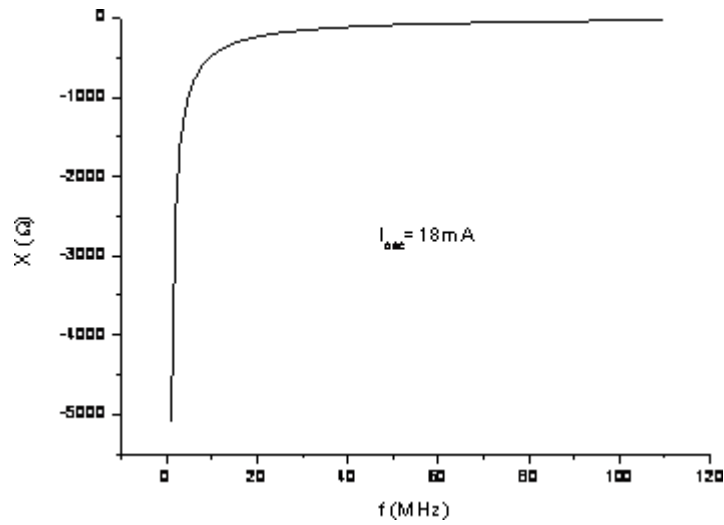
Şekil 4.9. 2. numunenin frekansa bağlı reaktans eğrisi



Şekil 4.10. 3. numunenin frekansa bağlı kompleks empedans eğrisi



Şekil 4.11. 3. numunenin frekansa bağlı reel direç eğrisi



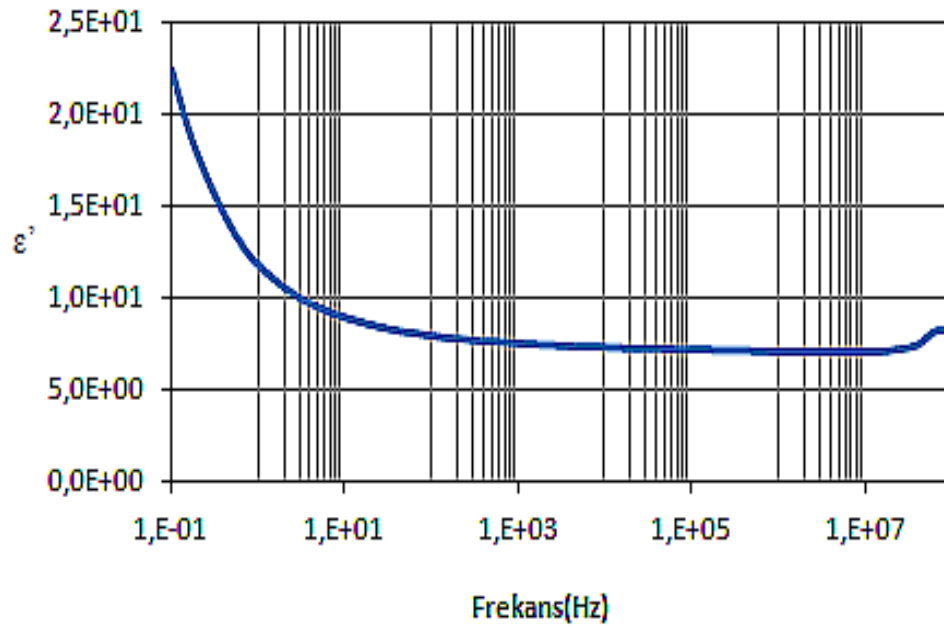
Şekil 4.12. 3. numunenin frekansa bağlı reaktans eğrisi

Empedans; elektrik devrelerinin, devre elemanlarının ve kullanılan metaryalin karakterizasyonunu belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Empedans( $Z$ ) genel olarak belirli bir frekansta bir maddenin veya devrenin alternatif akıma gösterdiği toplam karşı koyma olarak tanımlanabilir. Yukarıdaki eğrilerde  $Z$

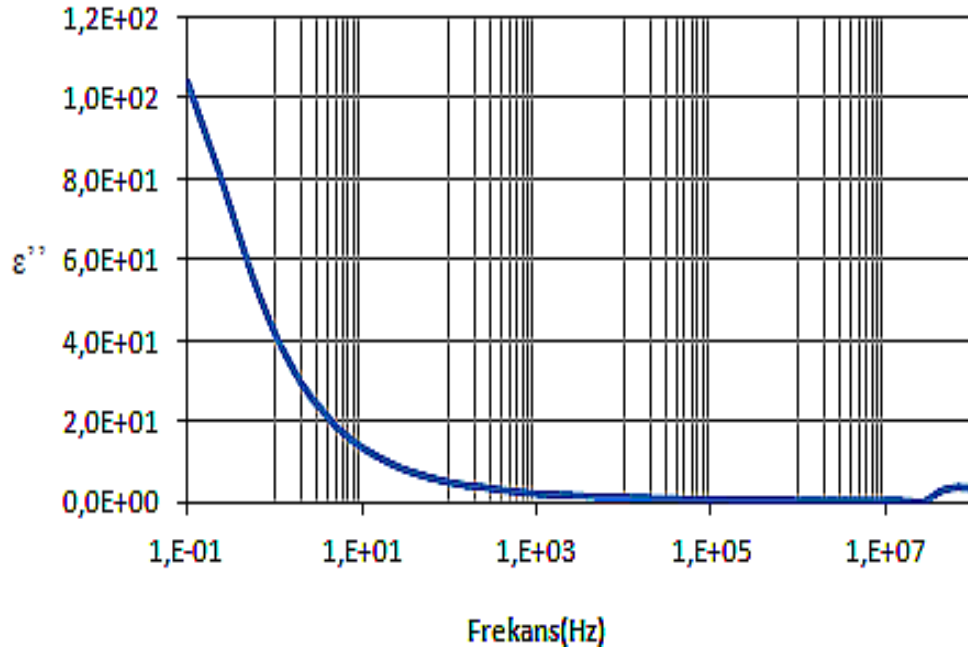
kompleks empedansı, R reel direnci ve X imajiner direnç değerlerini göstermektedir. Bu grafiklerden anlaşılacağı üzere; numunenin direnç değerleri film kalınlıktan bağımsızdır. Ayrıca belli bir frekans aralığında numunenin empedans değeri azalırken, imajiner direnç değeri yani reaktansı artmaktadır. Belli bir frekanstan sonra her iki değer de sabit olmaktadır. Numune iletken bir malzeme olmadığı için reel direnç eğrisi anlamsızdır. 0 ile 10 MHz arasında malzemenin direnç değişimi arayüzey polarizasyonundan kaynaklanmaktadır.

#### 4.4. Dielektrik ölçümler

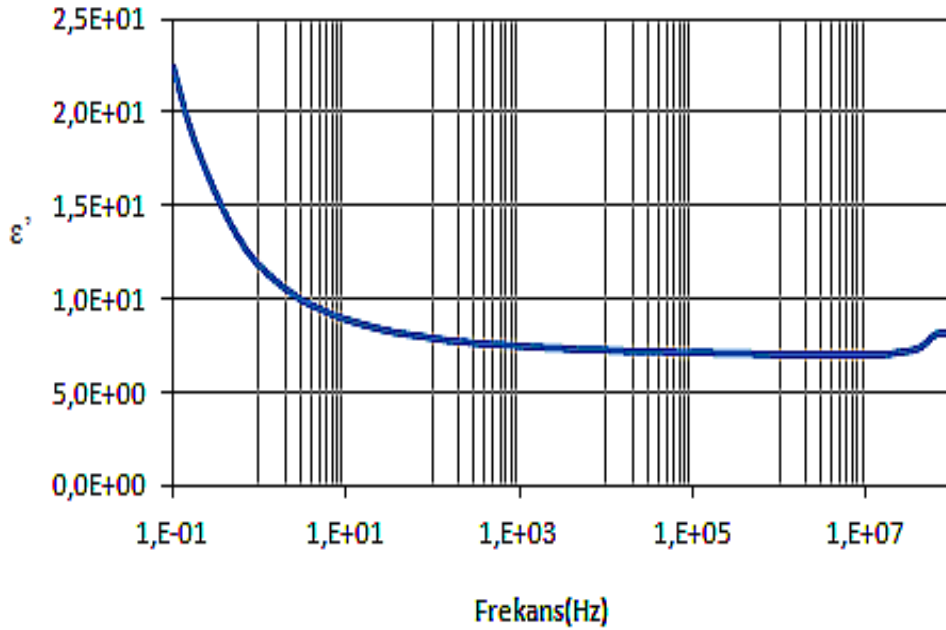
Aşağıda verilen grafikler  $50^{\circ}C$  ve  $75^{\circ}C$ 'de tavlanan ince filmlerin dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımları, kayıp tanjantının ve kapasitansının frekansa bağlı değişim grafikleridir.



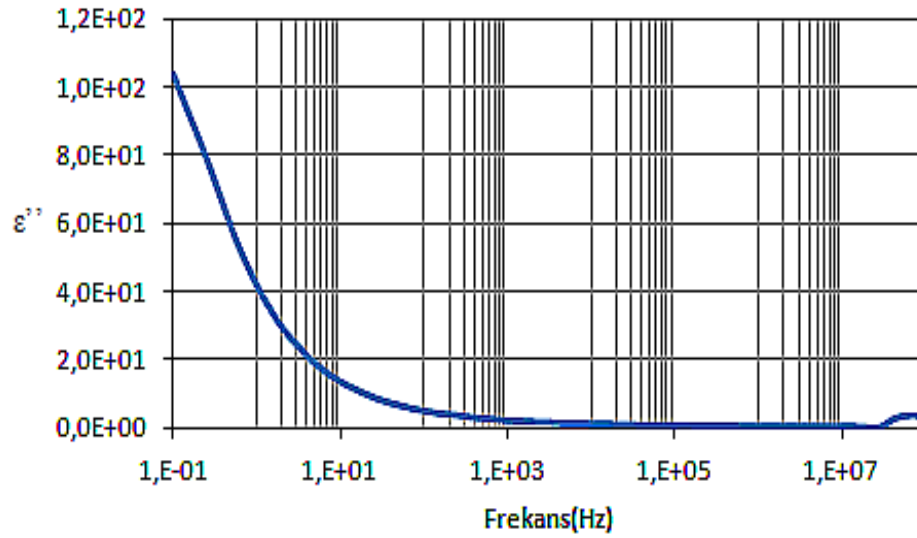
Şekil 4.13.  $50^{\circ}C$ 'de tavlanan numunenin dielektrik sabitinin reel kısmının frekansa göre değişimi



Şekil 4.14. 50<sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin dielektrik sabitinin imajiner kısmının frekansa göre değışimi



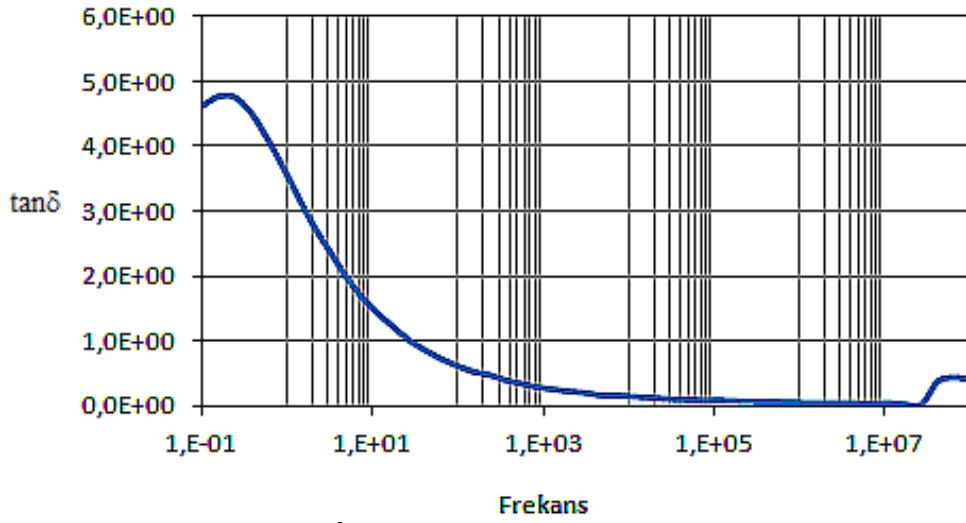
Şekil 4.15. 75<sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin dielektrik sabitinin reel kısmının frekansa göre değışimi



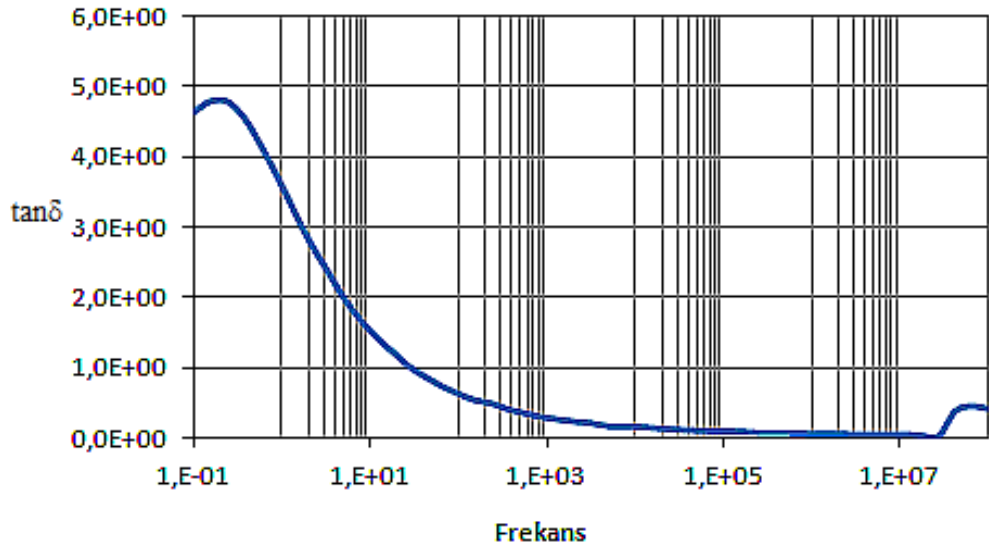
Şekil 4.16. 75<sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin dielektrik sabitinin imajiner kısmının frekansa göre değişimi

Dielektrik malzemelerde geniş bir frekans aralığında farklı tipteki polarizasyonlar farklı dağılım bölgelerine karşılık gelmektedir. Her bir polarizasyon mekanizması bir kritik frekans ile karakterize edilir. Bu kritik frekans dipollerin özelliğine bağlıdır. Bu frekans uygulanan elektrik alan ile polarizasyon arasındaki maksimum faz değişimine karşılık gelmektedir. Bunun sonucunda maksimum bir dielektrik kayıp meydana gelmektedir. Bununla birlikte yönelim polarizasyonları, arayüzey polarizasyonları(yüzey yükleri) ve dipol polarizasyonu, düşük frekanstan mikro dalga frekansına doğru gidildikçe gözlenir. İyonik ve elektronik polarizasyon ise kısa mikrodalga ve infrared bölgesinde meydana gelmektedir. Dielektrik sabitinin reel ve imajiner kısımlarının frekansa göre değişimi yukarıdaki grafiklerde verilmiştir. Düşük frekans değerlerinden yüksek frekans değerlerine doğru gidildikçe malzemenin dielektrik sabitinin reel kısmı azalmakta ve sabit bir değer de kalmaktadır. 10<sup>7</sup> Hz civarında ise dielektrik relaksasyonu gerçekleşmektedir. Dielektrik relaksasyonu, moleküllerin iç yapılarına ve düzenine bağlı olarak yönelim polarizasyonuna bağlıdır. Relaksasyon zamanı ise elektrik alanın bir periyot içinde değişim yapması sonucunda, o periyot içinde dipolün yönelim yapması için geçen süredir. Bir malzemede değişen frekans doğrultusunda birden çok relaksasyon olayı gözlemlenebilir. Dielektrik sabitinin reel kısmı soğurmayı, sanal kısmı ise saçılmayı

temsil eden parametredir. Bir diğ er deyiş le dielektrik sabitinin sanal kısmı dielektrik kayıpları temsil etmektedir. Yukarıdaki grafiklerde sanal kısmın frekansla azaldığı ve  $10^4$ - $10^7$  Hz aralığında minimum olduğu görülmektedir. Bunun sebebi uygulanan elektrik alan baş ta dipol yönelimine neden olduğu için düşük frekanslarda dielektrik kayıplar meydana gelmiştir.  $10^4$ - $10^7$  Hz frekans aralığında ise dipol oryantasyonu olmadığı için dielektrik kayıplar minimumdur.



Şekil 4.17.  $50^{\circ}$  C'de tavlanan numunenin kayıp tanjantının frekansa göre değış imi



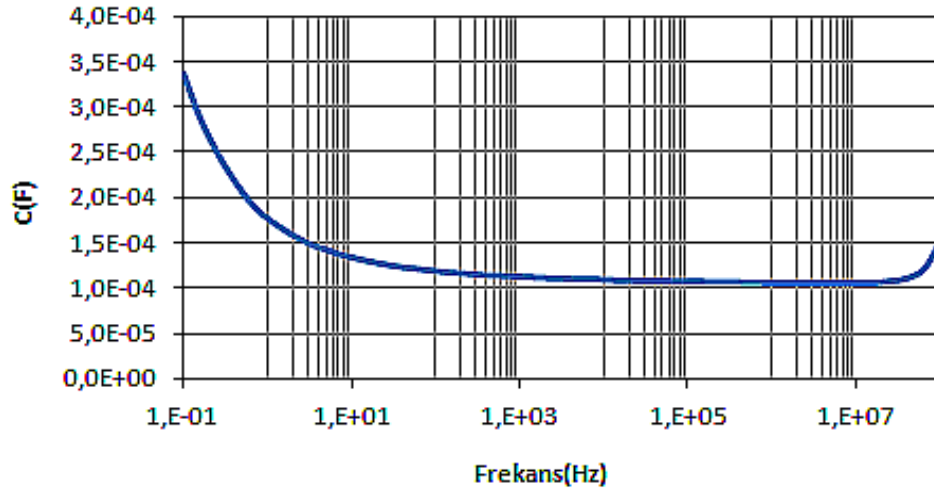
Şekil 4.18.  $75^{\circ}$  C'de tavlanan numunenin kayıp tanjantının frekansa göre değış imi



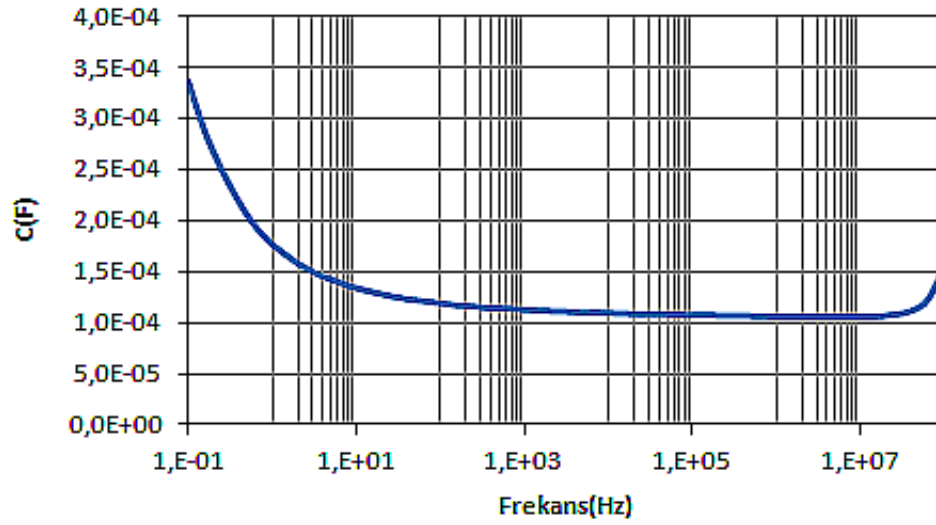
Bir dielektrik malzeme tam olarak analiz edilmek isteniyorsa bu malzemenin dielektrik kaybının belirlenmesi çok önemlidir.

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \tan \delta \quad (4.1)$$

Yukarıda denklem 4.1'de verilen  $\tan \delta$  dielektrik kayıp olarak tanımlanır.  $\delta$  terimi malzeme üzerine AC gerilim uygulanmasıyla; malzeme içerisinde malzemenin moleküler yapısından kaynaklanan elektrik yerdeğiştirme alanıyla ilgili uygulanan periyodik alternatif alanın arasındaki faz kaymasını ifade eden terimdir.  $\tan \delta$  ise sığasal olarak malzemede depolanan enerjinin bir periyot boyunca kayıp miktarı biçiminde dielektrik kayıp yada kayıp faktörü olarak ifade edilir. Yukarıdaki grafiklerde iki ayrı numuneye ait kayıp tanjantının frekansa bağımlılık eğrileri benzerlik göstermektedir. Düşük frekanslarda uygulanan elektrik alanla belirli bir miktar enerji kaybı gözlemlense de frekans arttıkça bu kayıplar minimum seviyesine inmektedir.



Şekil 4.19. 50<sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin kapasitansının frekansa göre değişimi



Şekil 4.20. 75<sup>0</sup> C'de tavlanan numunenin kapasitansının frekansa göre değişimi

Bir numunede kompleks kapasite aşağıdaki bağıntıyla açıklanabilir.

$$C^* = C + iD \quad (4.2)$$

Burada C kapasitansın reel kısmını yani sisteme bir dış elektrik alan uygulandığında sistem üzerinde depo edilen enerjiyi ifade eden parametredir. D ise kayıp faktörüdür. Sistemdeki enerji kaybının bir ölçüsüdür. Yukarıdaki grafiklerde polimerik malzemenin kapasitansının frekansa göre değişimleri verilmiştir. Düşük frekanslarda yüksek olan kapasitans değeri frekans büyüdükçe azalmakta ve belirli frekans aralığında sabit kalmaktadır. Düşük frekanslardaki bu azalmanın sebebi kayıp faktörünün bu frekans değerlerinde maksimum olmasıdır.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

1. Bu tez çalışmasında döndürme kaplama (spin-coating) yöntemiyle ilk kez PI-PSt-N<sub>3</sub> polimeri ince film haline getirilmiştir. Bu filmlerin yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Film kalınlıkları spektroskopik elipsometre yardımıyla ölçülmüş ve yaklaşık 50 nm ile 90 nm civarında değiştiği gözlemlendi.

2. Polimer ince filmlerin analiz işlemlerinden önce optik kontrolü Polarizasyon mikroskopunda incelenmiş ve cam üzerine kaplanan ince filmin saydam yapıda oldukları gözlemlendi.

3. Polimer ince filmlerin hangi yapıda oldukları X-ışını spektrometresi ile analiz edildi. Elde edilen sonuçlara göre oda sıcaklığında kaplanan polimer ince filmin amorf yapıda olduğu gözlemlendi. Bunun en önemli nedeni polimer yapıların uzun zincirlerden oluşmuş olmasıdır. Bu uzun zincirler, kristal yapının oluşmasını sağlayan serbest difüzyonun oluşmasını engellemektedir (Çaban, E. 2007).

4.  $Z = R + jX$  kompleks empedans ifadesidir. Burada R aktif direnci, X ise reaktif direnci temsil eden parametrelerdir. Elimizdeki malzeme elektriksel yalıtım dayanıklılığı güçlü bir madde olduğu için reel direnç değerleri anlamlı bir değeri ifade etmemektedir. Reaktif direnç ise düşük frekanslarda yüzey polarizasyonundan dolayı rezonans durumunu göstermektedir. Empedansın imajiner kısmı aslında dielektrik kayıpları ifade eder. Bu çalışmada da düşük frekanslarda reaktif direncin artmasının nedeni yüzey polarizasyonundan kaynaklanan kayıplardır.

5. Bir malzemede kompleks permitivite  $\epsilon^* = \epsilon' + j\epsilon''$  şeklinde ifade edilir. Bu formül malzemeye dışarıdan bir elektrik alan uygulandığında malzeme enerji depolama yeteneğine sahipse geçerlidir. Dielektrik sabiti bir alanın etkisi altında dış elektrik bölgede ne kadar enerji saklandığını ve malzeme içinde ne kadar enerji kayb olduğunu gösterir. Özetle dielektrik sabitinin reel kısmı ( $\epsilon'$ ) malzeme soğurmayı, imajiner kısmı ( $\epsilon''$ ) ise saçılmayı temsil etmektedir.

6.Yaptığımız bu çalışmada polimerik malzemenin dielektrik sabitini( $\epsilon'$ ) sırasıyla yaklaşık olarak 6,5 ve 7 olarak bulduk. Polistiren polimer malzemelerin dielektrik sabiti yaklaşık 3,5 ile 4,5 arasında olduğu bilinmektedir. Bu değerler polimer oluşturulurken başlatıcı ve bitirici kimyasalların farklılığından kaynaklanmaktadır. Bu sabitler arasındaki farklılıkların bir diğer sebebi ise ölçüm cihazlarının hassasiyeti ve kalibrasyonudur. Bu çalışmada malzemenin dielektrik sabitinin imajiner kısmı ise çok küçük değerlerle karşımıza çıkmaktadır. Buda kullanılan malzemede enerji kaybının minimum olduğunu göstermektedir.

7. Permitivite ve daha önemlisi kayıp faktörleri polar olmayan sistemlerde istisnai teknolojik ilgiye sahiptir. Polar olmayan polimerler (polistiren, vb.) en geniş frekans aralığında düşük kayıp değerlerinden dolayı önemlidirler. Bu çalışmada kullanılan malzemenin kayıp faktörü düşük frekanslarda yaklaşık 4,5 iken bu değer yüksek frekanslara gidildikçe azalmaktadır.

8. Bir malzemede kompleks kapasitans  $C^* = C + iD$  bağıntısıyla açıklanmaktadır. Burada C malzemenin kapasitesi, D ise kayıp faktörüdür. Kapasite malzemeye bir dış alan uygulandığında malzeme üzerinde depolanan enerjinin karşılığıdır. Kullandığımız malzemenin kapasitesi yaklaşık  $10^{-4}$  farad olarak bulundu.

Yukarıdaki analiz sonuçlarına göre bu malzemenin iyi bir yalıtkan ve iyi bir dielektrik malzeme olduğu görülür. Bunun Kapasitörlerde dielektrik malzeme olarak kullanılabilmesi için gerilim dayanıklılık testinden geçmesi gerekir(J.R.Webster).

## 5.2. Öneriler

1.Yapılan bir bilimsel çalışma eğer laboratuvar ortamında yürütülüyorsa çalışılan laboratuvarın fiziki şartları çok önemlidir. Özellikler kimyasalların bulunduğu ortamın temizliği çok önemlidir.

- 2.İnce film kaplanacak yüzey çok iyi temizlenmelidir. Aksi halde temiz olmayan bir altlığın üzerine kaplanmış bir numunenin ölçümü sırasında bazı zorluklar yaşanabilir.
3. Çözeltinin hazırlanışında kimyasalların birbirine hangi oranlarla karıştırılması gerektiği çok iyi bilinmeli. Aksi taktirde aynı kimyasalla yapılmış farklı oran çözeltileri farklı fiziksel özellik gösterebilir.

## ÖZGEÇMİŞ

02 Ağustos 1986 tarihinde Şanlıurfa'da doğdu. İlk ve öğretimini Şanlıurfa'da tamamladı. 2006 yılında İnönü Üniversitesi Fizik Bölümünü kazandı. 2009 yılının haziran ayında İnönü Üniversitesi Fizik Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Harran Üniversitesi Fizik Bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Yine aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

## KAYNAKLAR

- AGILENT IMPEDANCE MEASUREMENT HANDBOOK, 2009. A guide to measurement technology and techniques, 4<sup>th</sup> edition, Printed in USA, June 17, 5950-3000.
- AZAK F., 2008. Katmanlı Ferroelektrik TIGaSe<sub>2</sub> Kristalinin Yüksek Sıcaklıklarda İletkenlik Mekanizmasının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Haziran.
- BOTTCHER C.J.F., BORDEWIJK P., 1973. Theory of Electric Polarization, Elsevier Science, New York.
- BALANIS A., 1999. Constantine, Advanced Engineering Elektromagnetics, Arizona State University, USA.
- BAYSAL B., 1981. Polimer Kimyası, ODTÜ, Ankara.
- BASAN S., 2001. Polimer Kimyası, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- BEŞERGİL B., Polimer Kimyası, Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizikokimya Anabilim Dalı.
- CHELKOWSKI A., 1980. Dielectric Physics, Elsevier, Amstardam, Oxford, New York, Warsava.
- ÇOBAN E., 2007. Polimer+Ftalosiyanın İnce Filmlerin Lineer Optik ve İletkenlik Özelliklerinin Belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi.
- DURLU, T. NURİ, 1996. Katıhal Fizikine Giriş, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara.
- DEĞİRMENCİ M., GENLİ N., Synthesis of Poly(cyclohexene oxide)-Block-Polystyrene by Combination of Radical-Promoted Cationic Polymerization, Atom Transfer Radical Polymerization and Click Chemistry, [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com), DOI 10.1002/PI.2800.
- GENBİLİM, Türkiyenin Bilim Sitesi, <http://www.genbilim.com/>
- GÖVER, K., 1996. Bazı Endüstriyel Malzemelerin Mikrodalga Dielektrik Sabitinin Ölçülmesi, Bursa.
- GRIFFITHS, J. DAVID, 1996. Elektromagnetik Teori, Türkçesi Bekir Karaoğlu, ARTe Güven Yayınevi.
- GREGORY T. PAWLIKOWSKI, Effect of Polymer Material Variation on High Frequency Dielectric Properties., Tyco Electronics Corporation, P.O. Box 3608, Harrisburg, PA 17105.
- HIPPEL, ARTHUR R. VON., 1962. Dielectrics and Waves, John Wiley and Sons, Inc., London.
- KITTEL C., 1972. "Introduction to Solid State Physics", Acedemic Pres.
- KURT A., 2009. ATRP Metodu ile Hazırlanan Üç Kollu Polimerlerin Dielektrik Özellikleri, Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 23169, Elazığ/Türkiye.
- JAMES R. WEBSTER, 2006. Thin Film Polymer Dielectrics For High-Voltage Applications Under Severe Environments, Master of Science in Electrical Engineering, 1998, Blacksburg, VA.
- JEFFREY L. ELLIS, 2009. Structure and Characterization of Polystyrene Thin Film, Proceedings at 9<sup>th</sup> International Symposium on Supercritical Fluids, Arcachon, France.

- LIANG T., MAKITA Y., KIMURA S., 2000. Effect of Film Thickness on The Electrical Properties of Polyimide Thin Films, Material Characterization and Analysis Laboratories, JSR Corporation, 100 Kawajiri, Mie 510-8552, JAPAN.
- MIJOVIC, J., FITZ, D., 1998. Dielectric Spectroscopy of Reactive Polymers, Department of Chemical Engineering, Chemistry and Material Science, Polytechnic University.
- NOVOCONTROL TECHNOLOGIES, <http://novocontrol.com> GmbH and Co. KG. IMADA,
- PALEWICS M., IWAN A., DOSKOCS J., STREK W., SEK D., KACZMARCZYK B., MAZUREK B., Optical and Structural Study of Thin Film of Polyazomethine With Triphenylamine Unit Prepared Via Spin-Coating Method, Institute of Electrical Engineering Fundamentals, Wroclaw University of Technology, 27 Wybrzeze Wyspianskiego Street, 50-370 Wroclaw, Poland.
- İYİBAKANLAR G., 2003. Polimerlerin Dielektrik Özelliklerinin Sıcaklık ve Frekansla Değişimlerinin İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Eskişehir.
- OKUTAN M., DEMİR A., 2008. Organik Elektronik Araştırma Grubu GYTE.
- SMYTHC, P., 1955. Dielectric Behaviour and Structure, Princeton University, USA.
- TAREEV B., 1975. Physics of Dielectric Materials, Mir Publishers, Moscow.
- ZIDAN H. M., TAWANSI A., ABU-ELNADER M., 2003. Miscibility, Optical and Dielectric Properties of UV-Irradiated Poly(vinylacetate) Poly(methylmethacrylate), Blends, <http://sciencedirect.com>.



## ÖZET

Bu çalışmada spin- coating metoduyla hazırlanan ince film polimer yapıların elektriksel ve yapısal özellikleri karakterize edilmiştir. Polimerik malzeme kloroform çözücüsü kullanılarak % 0,1 'lik çözelti haline getirildi. Oluşturulan çözelti oda sıcaklığında 18 saat boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla homojen hale getirildi. Bu filmler 50<sup>0</sup>, 75<sup>0</sup> ve 100<sup>0</sup> C sıcaklıklarında tavlansmıştır. Üretilen bu filmlerin yapısal özelliklerini incelemek için polarizasyon mikroskobu ve x-ışınları cihazı kullanılmıştır. Polarizasyon mikroskobundan elde edilen film yüzeyinde pinhollerine rastlanmıştır. Bu boşluklar elektrik ölçümleri sırasında kısa devre sorununa yol açmaktadır. Ayrıca XRD sonuçlarından malzemenin amorf yapıda olduğu gözlemlendi. Elde edilen filmlerin direnç eğrileri elektriksel köprü devresi yöntemi kullanılarak elde edildi. Düşük frekanslarda arayüzey polarizasyonundan kaynaklanan yüksek direnç değerleri gözlemlendi. Kullandığımız malzeme yalıtkan bir malzeme olduğu için reel direnç eğrisinin anlamlı bir değer ifade etmediği gözlemlendi. Dielektrik sabiti ve kayıp tanjantını belirlemek için dielektrik spektrometresi kullanıldı. Yaklaşık 7 olarak bulunan dielektrik sabiti ve sıfıra yakın kayıp tanjantı malzemenin iyi bir enerji depolayıcı olduğunu ve malzemede ısıya dönüşüp kaybolan enerjinin minimum olduğu gözlemlendi.

## SUMMARY

In this study, polymer solution was prepared by spin-coating process for characterisation electrical and morphological properties of thin films polymer. Used chloroform 0,1 percent of solution was prepared from polymeric material. This solution was stirred with magnets along 18 hours in order to get homogeneous structure at room temperature. This films were annealed from 50° C to 100° C. Using polarization microscope and x-ray diffractometer for determination morphological properties of fabricated films. At images, which were got from polarization microscope, pinholes were seen on the sample surface. Because this holes give rise to short circuit, we must avoid it. And than XRD results showed that this films have amorphous structure. For electrical measurements bridge method was used to get resistant graphics. Because interface polarization, high resistant values were observed at low frequencies. The material, which was used by us, was insulator. So, real resistant values were not meaningful. Dielectric spectrometer was used for determination dielectric constant and loss tanjant of this films. Dielectric constant of this films was about 7 and loss tanjant parameter was nearly zero. These results show that this material is a good to store energy and energy losing is also minimal in this materials.