

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

E_{63} KODLU $NiPc+C_{61}$ KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALİN ELEKTRİKSEL VE
MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖMER YILMAZ

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ZEYNEP GÜVEN ÖZDEMİR

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**E₆₃ KODLU NiP_C+C₆₁ KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALİN ELEKTRİKSEL VE
MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ömer YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 26.07.2016 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Zeynep GÜVEN ÖZDEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zeynep GÜVEN ÖZDEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Orhan İÇELLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sait EREN SAN
Gebze Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa OKUTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bahire Filiz ŞENKAL
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışma sürecinde; bilgi, tecrübe ve önerileriyle bana yol gösterip desteğini esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım olan sayın Doç.Dr. Zeynep GÜVEN ÖZDEMİR'e;

Ayrıca tezin oluşması adına bütün laboratuvar imkânlarını sağlayan ve bilimsel alanlarda bana yol gösteren değerli hocam, sayın Doç. Dr. Mustafa OKUTAN'a;

Manyetik ölçümlerin alınmasında yardımcı olan Gebze Teknik Üniversitesi'ne ve GTÜ öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Sait ERENSAN'a;

Labaratuvar çalışmalarında bana yol gösterip yardımcı olan sayın Arş. Gör. Osman GÜRBÜZ'e;

Hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilir, onlara şükranlarımı sunarım.

Manevi desteğini benden esirgemeyen, çalışmalarım boyunca hep yanımda olan hayattaki en büyük destekçim, değerli eşim Gülcan YILMAZ'a ve biricik kızım olan Ela Betül'e teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2016

Ömer YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
2.1 Bölümün Amacı.....	4
2.2 Sıvı Kristallerin Gruplanması	4
2.3 Liyotropik Sıvı Kristaller.....	7
2.4 Termotropik Sıvı Kristaller	7
2.4.1 Smektik Fazın Özellikleri	9
2.4.2 Kolesterik Fazın Özellikleri	10
2.4.3 Nematik Faz	11
2.5 Elektrik Alanda Sıvı Kristal Moleküllerin Davranışları: Eşik Voltajının ve Dielektrik Anizotropinin Belirlenmesi	13
2.6 Elektrik Alanda Nematik Sıvı kristal Moleküllerin Davranışlarına Enerji Açısından Bakış.....	16
2.7 Sıvı Kristallerin Optik Özellikleri	19
BÖLÜM 3	

SPEKTROSKOPİK BİLGİLER	22
3.1 Empedans ve Dielektrik Spektroskopisi	22
3.2 Empedans Spektroskopide Temel Kavramlar	22
3.3 Empedans Spektroskopisinde Eşdeğer Devre Modellenmesi	24
3.4 Empedans Spektroskopisi ile Dielektrik Parametrelerin Belirlenmesi	25
3.5 Dielektrik Mekanizmalar ve Dielektrik Spektroskopisi	27
3.6 Relaksasyon Zamanı, τ	31
3.7 Debye Bağıntısı	31
BÖLÜM 4	
4.1 Hücrelerin Hazırlanması, Homojenli Hücre Temini ve Hücrelerin Katkılandırması	35
4.2 Sıvı Kristal Boş Hücrelerin Yapısı	35
4.3 Hücreler ve Yapıları	37
4.3.1 E ₆₃ Molekül Yapısı	38
4.3.2 NiPc Molekül Yapısı	39
4.3.3 PCBM (C ₆₁) Molekül Yapısı	39
4.4 Elektro-Optik Ölçüm Sistemi	40
4.5 Manyetik Alan Altında Elektriksel Ölçüm Sistemi	41
4.6 Sıvı Kristal Akım-Voltaj (I-V) Ölçüm Düzenegi	44
4.7 Saf E ₆₃ ve E ₆₃ +NiPc+C ₆₁ Katkılı Numunelerin Dielektrik Parametrelerle Lazer Işığın Etkisi	44
4.7.1 Frekansa Bağlı Ölçümler	44
4.7.2 Saf E ₆₃ ve E ₆₃ +NiPc+C ₆₁ Katkılı Numunelerin Lazer Işığın Etkisi Altında Gerilime Bağlı Olarak Dielektrik Parametrelerinin Değişimi	50
4.7.3 Saf E ₆₃ ve E ₆₃ +NiPc+C ₆₁ Katkılı Numunelerin Akım- Gerilim (I-V) Ölçümleri	53
4.8 Saf E ₆₃ ve E ₆₃ +NiPc+C ₆₁ Katkılı Numunelerin Gerilime Bağlı Olarak Dielektrik Parametrelerine Manyetik Alan Etkisi	60
4.8.1 Saf ve Katkılı Sıvı Kristalin Potansiyel Farka Bağlı Ölçümler	61
4.8.1.1 Saf E ₆₃ Sıvı Kristalin Potansiyel Farka Bağlı Ölçümler	61
4.8.1.2 E ₆₃ +%1NiPc Katkılı Numunenin Potansiyel Farka Bağlı Ölçümler	65
4.8.2 Saf E ₆₃ , E ₆₃ +%1NiPc, E ₆₃ +%1C ₆₁ Katkılı Numunelerin Frekansa Bağlı Dielektrik Özelliklerine Manyetik Alanın Etkisi	72
4.9 Saf E ₆₃ 'ün AC İletkenliğine Katkı, Lazer Işığın ve Manyetik Alanın Etkisi	77
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER	81
5.1 Sonuçlar	81
5.2 Öneriler	84
KAYNAKLAR	85
EK-A	
VCNR (VOLTAJ KONTROLLÜ NEGATİF DİRENÇ).....	90

SİMGE LİSTESİ

A	Aktif elektrot yüzey alanı (m ²)
α	Dağılım parametresi
B	Sanal iletkenlik
\vec{B}	Manyetik alan
β	Cole-Davidson modelinde dağılım parametresi
c	Işığın boşluktaki hızı (3.10 ⁸ m/s)
C	Sığa (F)
C ₀	Boş hücrenin sığa değeri
C _⊥	Sığa değerinin dik alandaki değeri (F)
C _∥	Sığa değerinin paralel alandaki değeri (F)
D	Kayıp tanjant
\vec{D}	Elektriksel yer değiştirme vektörü
d	Plakal arasındaki uzaklık(m)
$\Delta\epsilon$	Dielektrik anizotropi
$\Delta\epsilon'$	Dielektrik güç
Δ_n	Kırcılık anizotropisi
Δ_x	Elektriksel sabit
\vec{E}	Elektrik alan (V/m)
\vec{E}_{\perp}	Elektrik alan dik bileşeni (V/m)
\vec{E}_{\parallel}	Elektrik alan paralel bileşeni (V/m)
E _{th}	Eşik elektrik değeri (V/m)
E _{th(eğilme)}	Eşik elektrik eğilme değeri (V/m)
E _{th(burulma)}	Eşik elektrik burulma değeri (V/m)
E _{th(bükülme)}	Eşik elektrik bükülme değeri (V/m)
ϵ	Dielektrik sabiti
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti (8,85.10 ⁻¹² F/m)
ϵ_{\perp}	Dik dielektrik sabiti
ϵ_{\parallel}	Paralel dielektrik sabiti
ϵ_s	Düşük frekanstaki dielektrik sabiti
ϵ_{∞}	Çok yüksek frekanstaki dielektrik sabiti
ϵ'	Kompleks dielektrik sabitinin gerçekteki bileşeni
ϵ''	Kompleks dielektrik sabitinin sanal bileşeni

ϵ^*	Kompleks dielektrik sabiti
Z	Empedans(Ω)
Z^*	Kompleks empedans (Ω)
Z'	Kompleks empedansın gerçek kısmı (Ω)
Z''	Kompleks empedansın sanal kısmı (Ω)
I	Akım(Amper)
I_{max}	Maksimum akım (Amper)
j	Karmaşık sayı değeri ($j = \sqrt{-1}$)
L	İndüktör
K_{11}	Eğilme elastik sabiti
K_{22}	Burulma elastik sabiti
K_{33}	Bükülme elastik sabiti
\vec{M}	Manyetizasyon
\vec{n}	Sıvı kristallerde molekülün yönelmesini tarif eden vektör
n_e	Olağan dışı ışın
n_0	Sıradan ışın
V	Uygulana gerilim (Volt)
V_{th}	Eşik voltaj (Volt)
v_{\perp}	Elektrik alandaki dik hız bileşeni (m/s)
v_{\parallel}	Elektrik alandaki paralel hız bileşeni (m/s)
π	Matematiksel sabit (3,14..)
P	Spiral adım
\vec{P}	Polarizasyon
P_{\perp}	Dik polarizasyon
P_{\parallel}	Paralel polarizasyon
R	Direnç (Ω)
r_{dif}	Diferansiyel direnç (Ω)
S	AC iletkenlikte frekansın üstel terimi
$T_{nematik-izotropik}$	Kritik sıcaklık (C^0)
T_e	Faz geçiş sıcaklığı
T_{Ni}	Ortalama nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı
t	Zaman (sn)
τ	Zaman (sn)
\vec{v}_{Mag}	Manyetik tork yoğunluğu
$tg\delta$	Kayıp tanjant
U	Elektiriksel potansiyel enerji (joule)
U_m	Manyetik enerji (joule)
Y^*	Kompleks empedansın tersi
Y'	Kompleks empedansın tersinin gerçek kısmı
Y''	Kompleks empedansın tersinin sanal kısmı
ϕ	Açı değeri
F	Frekans (Hz)
f	Toplam enerji
f_c	Kritik frekans
f_e	Elektrik alandaki serbest enerji değeri
G_{statik}	Statik iletkenlik

X	Boş uzayın elektriksel geçirgenliği
X_C	İndüktif reaktansları
X_L	Kapasitif reaktansları
X_{\perp}	Boş uzayın elektriksel dik sabiti
X_{\parallel}	Boş uzayın paralel elektriksel sabiti
ω	Açısal hız (m/s)
ω	Açısal frekans
ω_0	Açısal frekansın minimum değeri
ω_{∞}	Açısal frekansın maksimum değeri



KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
CBH	Etkileşimli Bariyer Atlama
DC	Doğru Akım
E ₆₃	Dört Farklı Sıvı Kristalin Karışımı
E ₆₃ +%C ₆₁	Ağırlıkça %1 Oranında C ₆₁ İçeren E ₆₃ Sıvı Kristali
E ₆₃ +%1NiPc	Ağırlıkça %1 Oranında NiPc İçeren E ₆₃ Sıvı Kristali
E ₆₃ +%3NiPc	Ağırlıkça %3 Oranında NiPc İçeren E ₆₃ Sıvı Kristali
E ₆₃ +%5NiPc	Ağırlıkça %5 Oranında NiPc İçeren E ₆₃ Sıvı Kristali
E ₆₃ +%1C ₆₁ +%1NiPc	Ağırlıkça %1 Oranında C ₆₁ ve %1 NiPc İçeren E ₆₃ Sıvı Kristali
E ₆₃ +%1C ₆₁ +%3NiPc	Ağırlıkça %1 Oranında C ₆₁ ve %3 NiPc İçeren E ₆₃ Sıvı Kristali
E ₆₃ +%1C ₆₁ +%5NiPc	Ağırlıkça %1 Oranında C ₆₁ ve %5 NiPc İçeren E ₆₃ Sıvı Kristali
ES	Empedans Spektroskopisi
ITO	İndiyum Kolay Oksit
LC	Sıvı Kristal
LCD	Ekran Teknolojisi
NCL	Neredeyse Sabit Kayıp Modeli
NiPC	Nikel Fitalosiyenin
PCBM	Fenil C-61 Butrik Asit Metil Ester
POM	Polarize Optik Mikroskobu
SLPL	Süper Lineer Kuvvet Yasası
QMT	Kuantum Mekaniksel Tünelleme
VCNR	Voltaj Kontrollü Negatif Direnç

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Sıcaklık değişimine bağlı olarak kristal örgüden sıvı hale geçiş esnasında smektik ve nematik mezofazları içeren bir sıvı kristalin temsili geçiş diyagramı.....	5
Şekil 2. 2 Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması.....	6
Şekil 2. 3 Nematik sıvı kristal bir polimerin POM görüntüsü [7].....	6
Şekil 2. 4 Sıvı kristal molekülün kimyasal yapısı.....	7
Şekil 2. 5 Termotropik sıvı kristallerde sıcaklıkla faz geçişleri	8
Şekil 2. 6 Kalamitik sıvı kristal moleküllerinde sıvı kristal faz geçişleri ve her bir mezofaza ait POM resimleri [8].	8
Şekil 2. 7 Smektik-A ve Smektik-C fazlarının temsili molekül düzeni ve POM resimleri[11].	10
Şekil 2. 8 (a) Kolesterik sıvı kristalde moleküllerin tabakalardaki temsili yönelimi ve (b) n vektörünün tabakalarda yöneliminin değişiminin helis burulması ve helis adımının belirlenmesi [13]......	11
Şekil 2. 9 Nematik fazda moleküllerin yönelimi, n vektörü ve nematik faza ait POM görüntüsü örneği [14]......	12
Şekil 2. 10 Katı Kristal, Nematik Sıvı Kristal ve izotropik sıvının Sıcaklığa bağlı molekül gösterimi [15,16].	13
Şekil 2. 11 (a) Dışardan uygulanan elektrik alanla sıvı kristal moleküllerinin yön vektörünün değişiminin şematik gösterimi [22] ve (b) Eşik voltajın, dik ve paralel dielektrik sabitlerin C-V değişiminden belirlenmesi.	15
Şekil 2. 12 Sıvı kristallerde dielektrik anizotropi.	16
Şekil 2. 13 Nematik sıvı kristal moleküllerinde (a) Eğilme (b) Burulma (c) Bükülme deformasyonlarının temsili gösterimi.	19
Şekil 2. 14 (a) Çift kırıcı malzemelerde polarize olmayan ışığın davranışı (b) Kalsiyum karbonatta çift kırıcılık[32].	20
Şekil 3. 1 Direnç, kondansatör ve indüktörün empedans gösterimleri ve akım-gerilim bağıntıları.	23
Şekil 3. 2 Basit bir elektrokimyasal sistemin (a) Nyquist grafiği ve (b) Eş değer devresi.25	25
Şekil 3. 3 Aralarında (a) boşluk (b) dielektrik malzeme bulunan paralel plakalı kondansatörlerin şematik gösterimi.....	25
Şekil 3. 4 Paralel plakalı kondansatör metodu ile dielektrik sabitinin belirlenmesi ve sistemin eşdeğer devresi.	26
Şekil 3. 5 Dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısım spektrumu [42].	28

Şekil 3. 6 Geniş band dielektrik spektroskopisi ile ölçüm yapılan yoğun madde sistemleri ve biyolojik yapılar.	29
Şekil 3. 7 Debye tipi dielektrik dispersiyon eğrisinin genel gösterimi.	32
Şekil 3. 8 Debye, Cole-Cole ve Cole-Davidson modellerinin $\epsilon'' = f(\epsilon')$ grafiklerinde temsili gösterimi	34
Şekil 4. 1 Boş Sıvı Kristal hücre yapısı; a) Gerçek Görüntüsü. b) Şematik gösterimi[49].	36
Şekil 4. 2 Saf E_{63} , NiPc+C ₆₁ katkılı sıvı kristal hücrelerinin toplu görüntüsü.....	37
Şekil 4. 3 E_{63} Saf maddenin molekül yapısı	38
Şekil 4. 4 Nikel, (II) fitalosiyanın molekül yapısı.....	39
Şekil 4. 5 PCBM (C ₆₁) molekül yapısı	39
Şekil 4. 6 Elektro-optik ölçümler için kurulan deneysel Akım-Voltaj ölçüm düzeneği. ..	40
Şekil 4. 7 Elektro-optik ölçümler için kurulan deneysel Empedans ölçüm düzeneği	41
Şekil 4. 8 Manyetik alan altında elektriksel ölçüm düzeneği(Deney sistemine ait).....	42
Şekil 4. 9 Manyetik alan altında elektriksel ölçüm düzeneği(Deney ortamına ait)	43
Şekil 4. 10 Dolu Sıvı Kristal hücrenin Akım-Voltaj (I-V) düzeneği.....	44
Şekil 4. 11 Saf E_{63} , $E_{63}+\%1C_{61}$, $E_{63}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%5NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$ ve $E_{63}+\%1C_{61}+\%5NiPc$ katkılı numunelerin dielektrik sabitlerinin gerçek kısımlarının (ϵ') frekans(f)'a bağlı değişimleri.	45
Şekil 4. 12 Saf E_{63} , $E_{63}+\%1C_{61}$, $E_{63}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%5NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$ ve $E_{63}+\%1C_{61}+\%5NiPc$ katkılı numunelerin dielektrik sabitlerinin sanal kısımlarının (ϵ'') frekans(f)'a bağlı değişimleri.....	46
Şekil 4. 13 Lazer ışığı etkisi altında (632nm) saf E_{63} , $E_{63}+\%1C_{61}$, $E_{63}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%5NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$ ve $E_{63}+\%1C_{61}+\%5NiPc$ katkılı numunelerin dielektrik sabitlerinin gerçek kısımlarının (ϵ') frekans(f)'a bağlı değişimleri.	47
Şekil 4. 14 Lazerli Saf E_{63} , $E_{63}+\%1C_{61}$, $E_{63}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%5NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%5NiPc$ katkılı numunelerin Dielektrik sabitlerinin sanal kısımlarının(ϵ''), frekans(f)'a bağlı değişimleri	47
Şekil 4. 15 Karanlık ortam ve lazer ışığı koşullarında, sıvı kristallerin Cole-Cole eğrileri ve eş değer devre analizleri.	49
Şekil 4. 16 Saf E_{63} , $E_{63}+\%1C_{61}$, $E_{63}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%5NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%5NiPc$ katkılı numunelerin $f=1kHz$ 'de $\epsilon'-V$ değişimleri.	50
Şekil 4. 17 Saf E_{63} , $E_{63}+\%1C_{61}$, $E_{63}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%5NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%1NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$, $E_{63}+\%1C_{61}+\%5NiPc$ katkılı numunelerin Lazer(100mWatt) ışığı altında $f=1kHz$ 'de $\epsilon'-V$ değişimleri.	51
Şekil 4. 18 $f=1kHz$ 'de, lazerli(100mWatt) ve lazersiz(0mWatt) durumda $\epsilon'-V$ değişimleri, eşik voltaj ve dielektrik anizotropi değerleri.	52
Şekil 4. 19 Nematik saf E_{63} , 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Voltaj (I-V) özellikleri.....	53
Şekil 4. 20 $E_{63}+\%1NiPc$, 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Voltaj (I-V) özellikleri.....	54
Şekil 4. 21 $E_{63}+\%3NiPc$, 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Voltaj (I-V) özellikleri.....	55

Şekil 4. 22 $E_{63}+\%5NiPc$, 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Volt (I-V) özellikleri.	56
Şekil 4. 23 $E_{63}+\%1C_{61}$, numunesinin karanlıkta ve 0-100 mW güç aralığında değişen lazer ışığı altındaki Akım-Voltaj (I-V) özellikleri.	57
Şekil 4. 24 $E_{63}+\%1NiPc+\%1C_{61}$, numunesinin karanlıkta ve 0-100mW güç aralığında değişen lazer ışığı altındaki Akım-Voltaj (I-V) değişimleri	58
Şekil 4. 25 $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$, numunesinin karanlıkta ve 0-100mW güç aralığında değişen lazer ışığı altındaki Akım-Voltaj(I-V) değişimleri	59
Şekil 4. 26 $E_{63}+\%1C_{61}+\%5NiPc$, numunesinin karanlıkta ve 0-100 mW güç aralığında değişen laze ışığı altındaki Akım-Volta (I-V) değişimleri.....	60
Şekil 4. 27 Saf E_{63} nematik sıvı kristalin, 0 - 0. 4 T manyetik alan altında, 100Hz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	61
Şekil 4. 28 Saf E_{63} nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 1kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	62
Şekil 4. 29 Saf E_{63} nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 10kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	62
Şekil 4. 30 Saf E_{63} nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 100kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	63
Şekil 4. 31 Saf E_{63} nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 1MHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	64
Şekil 4. 32 Saf E_{63} nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 10MHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	64
Şekil 4. 33 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 100Hz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	66
Şekil 4. 34 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0.4T manyetik alan altında, 1kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	66
Şekil 4. 35 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0.4T manyetik alan altında, 10kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	67
Şekil 4. 36 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 100kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	67
Şekil 4. 37 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 1MHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	68
Şekil 4. 38 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 10MHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.	69
Şekil 4. 39 Saf E_{63} ve $E_{63}+\%1NiPc$ katkılı numunenin 0 ve 0. 4T manyetik alan altında, eşik voltaj değerlerinin frekansla değişimi.	70
Şekil 4. 40 E_{63} ve $E_{63}+\%1NiPc$ için farklı manyetik alanlar altında dielektrik anizotropinin frekansla değişimi.....	71
Şekil 4. 41 Saf E_{63} ve $E_{63}+\%1NiPc$ katkılı numunenin 0-0. 4T'daki en düşük ve en yüksek gerçek dielektrik sabiti bileşenleri ile dielektrik güç($\Delta\epsilon' = \epsilon_s - \epsilon_\infty$).....	73
Şekil 4. 42 Saf E_{63} ve $E_{63}+\%1NiPc$ katkılı numunenin B=0 ve B=0.4T'daki sanal dielektrik bileşenin frekansla değişimleri ve relaksasyon frekans değerleri.....	74
Şekil 4. 43 Saf E_{63} ve $E_{63}+\%1C_{61}$ katkılı numunenin 0-0. 4T'daki dielektrik güç.....	75
Şekil 4. 44 Saf E_{63} ve $E_{63}+\%1C_{61}$ katkılı numunenin 0-0. 4T'daki maximum sanal dielektrik sabiti ve kritik frekansı değeri.	76

Şekil 4. 45 Saf E ₆₃ ve E ₆₃ +1%NiPc katkılı numunenin B=0 ve B=0. 4T'daki Cole-Cole grafikleri.....	77
Şekil 4. 46 Sıvı kristallerin karanlık ortam ve lazer ışığı altında $\ln\sigma AC = f\ln\omega$ eğrileri	79
Şekil 5. 1 Lazerli-Lazersiz ortamda dielektrik güç sabitinin tüm örnekler için değişimi..	82
Şekil 5. 2 Manyetik alan etkisi altında SafE63 ve E63+%1NiPc örneklerinin dielektrik anizotropi değerlerinin değişimi	83
Şekil A. 1 Durağan ve Değişken dirençlerin farkı.....	91
Şekil A. 2 I-V eğrilerindeki negatif diferansiyel direnç.....	92



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1 Saf E_{63} sıvı kristal için kimyasal yapısına ait faz geçişi sıcaklıkları, optik özellikleri, dielektrik anizotropi ve V_{th} değerleri.....	38
Çizelge 4. 2 Saf E_{63} , $E_{63}+1\%C_{61}$, $E_{63}+1\%NiPc$, $E_{63}+3\%NiPc$, $E_{63}+5\%NiPc$, $E_{63}+1\%C_{61}+1\%NiPc$, $E_{63}+1\%C_{61}+3\%NiPc$, $E_{63}+1\%C_{61}+5\%NiPc$ katkı numunelerin dielektrik güç ve kritik frekans değerlerine lazer ışığının etkisi.....	48
Çizelge 4. 3 %1, %3 ve %5 NiPc katkılandırılmış nematik sıvı kristal kompozitlerin karanlıkta 0mW ve 100 mW şiddetindeki lazer ışığı altında, 12V, 16V ve 20V gerilimlerindeki akım değerleri.....	57
Çizelge 4. 4 E_{63} 'ün dielektrik parametrelerinin frekans ve manyetik alana bağımlılıkları.....	65
Çizelge 4. 5 $E_{63}+1\%NiPc$ 'ün dielektrik parametrelerinin frekans ve manyetik alana bağımlılıkları.....	69
Çizelge 4. 6 Saf E_{63} , $E_{63}+1\%NiPc$, $E_{63}+3\%NiPc$ ev $E_{63}+5\%NiPc$ için s parametresine lazer ışığı etkisi ve iletkenlik mekanizmaları.....	80

**E₆₃ KODLU NiPc+C₆₁ KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERDE ELEKTRİKSEL VE
MANYETİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

Ömer YILMAZ

Fizik Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zeynep GÜVEN ÖZDEMİR

Bazı özel malzemelerde, sıvı ile katı faz arasında, moleküler yönelim kökenli özellikler sergileyen ara bir faz oluşur. Bu ara fazdaki yapıya sıvı kristal denmektedir. Uygulanan elektrik alan şiddetine bağlı olarak, kontrollü bir şekilde molekül yönelimi yapabilen bu tür moleküllerin varlığı, görüntüleme cihazlarına yeni bir boyut kazandırmıştır. Sıvı kristaller ekran yüzeyinde kapladıkları küçük alanları ve yüksek çözünürlüklerinin yanı sıra optik özellikleri ile de pek çok teknolojik uygulama için avantajlıdırlar. Son yıllarda yapılan çalışmalar sıvı kristallerin sadece LCD ekran panellerinde değil güneş pili ve fiber optik uygulamalar gibi pek çok teknolojik uygulamada da kullanılabileceğini göstermiştir. Bu bağlamda da, her geçen gün sıvı kristal malzemelerin holografiden renk değiştiren akıllı pencere sistemlerine kadar pek çok yeni uygulama alanı keşfedilmektedir. Son yıllarda boya, nano parçacık vb. katkılarla sıvı kristallerin hem elektriksel hem de optik özelliklerinde iyileşmeler kaydedilmiştir. Başka bir deyişle, yapılan katkılandırmalar sıvı kristal malzemelerin hem çalışabildikleri sıcaklık, frekans bandı, yönelme eşik potansiyel farkı, dielektrik anizotropi, dielektrik güç, dielektrik kayıp, relaksasyon frekansı gibi çok önemli kritik parametrelerinde olumlu değişimleri sağlamaktadır. Bu açıdan, bu doktora tez çalışmasında E₆₃ kodlu nematik sıvı kristale %1, %3 ve %5 oranlarında Nikel fitalosiyanın ve %1 oranında PCBM (C₆₁) katkılarının, materyalin elektrik, manyetik ve dielektrik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, aynı numunelere gücü 20-100mW aralığında değişen lazer ışığı uygulanarak; lazer ışığının numunelerin ilgili elektrik, manyetik ve dielektrik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Böylelikle, ilgili numunelerin teknolojik uygulamalar için optimum

düzeyde katkı yüzdeleri ve lazer ışığı gücü gibi parametrelerin belirlenmesi mümkün olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nematik Sıvı Kristal, E₆₃, Dielektrik Parametreler, AC İletkenlik, Nikel Fitalosiyanin, PCBM (Fenil C-61 Butrik asit metil ester).



**INVESTIGATION OF ELECTRIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF NiPc AND
C-61 DOPED E₆₃ NEMATIC LIQUID CRYSTAL**

Ömer YILMAZ

Department of Physics

PhD. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Zeynep GÜVEN ÖZDEMİR

In some special materials, an intermediate phase which exhibits some properties based on molecular orientation is occurred between liquid and solid phases. The structure in this intermediate phase is known as liquid crystal (LC). Existence of this type of molecules whose orientations are controlled by the application of electric field magnitude brings a new dimension to imaging devices. Besides taking a small areas in display units and high resolutions, LCs have an advantages for various technological applications due to their optical properties. Recent works has shown that LCs can be used for not only LC display panels but also various technological applications such as solar cell, fiber optic implements and etc. In this context, day by day a new application fields of LCs from holograpy to smart window systems, which change their colors, have been discovered. In recent years, an improvement of both electric and optic properties of LCs has been observed by using some dopants such as dyes, nano particles etc. In other words, dopants make a positive effect on some important critical parameters of LCs such as working temperature, frequenct band, threshold voltage, dielectric anisotropy, dielectric strength, dielectric loss, relaxation frequency etc. From this point of view, the influence of nickel phthalocyanine (with 1%, 3% and 5% w/w), and 1% PCBM (Phenyl C-61 Butyric Acid Methyl Ester) additives on the electric, magnetic and dielectric properties of E₆₃ nematic LC has been investigated. Moreover,

by application of laser light with the power range between 20-100mW to the same samples, the effect of laser illumination on the electric, magnetic and dielectric properties of the samples has been researched. Hence, it is possible to determine the optimum doping concentration percentage for each dopants and laser light power for the related materials for technological applications.

Keywords: Nematic Liquid Crystal, E₆₃, Dielectric Parameters, Ac Conductivity, Nickel Phthlocyanine, PCBM (Phenyl C-61 butyric acid methyl ester).



1.1 Literatür Özeti

Maddenin katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç ana hali vardır. Bazı kimyasal maddelerin moleküller yapısı, sıvı halde, düzenli bir halde bulunmaya daha yatkındır. Bu tür maddeler katı halden sıvı hale geçerken, sıvı faz oluşmadan önce mezofaz denilen bir ara halden geçerler. Sıvı kristal fazındayken sıcaklık daha da arttırılırsa sıvı hale dönüşürler. İşte katı ile sıvı faz arasında gözlenen bu ara faza sıvı kristal fazı ve bu hali seçileyen materyallere ise sıvı kristal denir. Sıvı kristaller hem kristal hem de sıvı halin özelliklerini belli oranda birlikte gösterir. Son yıllarda sıvı kristaller hem temel araştırma hem de uygulama alanlarında çalışan fizikçilerin, kimyacıların ve biyologların yoğun olarak ilgisini çekmektedir. Sıvı kristaller hem sıvıların özelliklerine (reoloji) hem de katı kristallerin özelliklerine (anizotropi) sahip olmalarına karşın, bu malzemelerin fiziksel özellikleri tümüyle kendilerine özgü özellikler göstermektedir. Sıvı kristal faz 1888'de Friedrich Reinitzer tarafından kolesterilin çeşitleri türevlerinin fiziko-kimyasal özelliklerinin incelenmesi esnasında ilk kez gözlenmiştir. Friedrich Reinitzer ve arkadaşları, kolesteril benzoatın sıcaklığı artırıldığında iki farklı erime noktasına sahip olduğunu tespit etmişlerdir [1,2]. Kolesteril benzoatın 144.5⁰C'lik erime noktasında berrak olmayan (bulanık) bir sıvı faza sahip olduğu ve daha fazla ısıtıldığında ise 178.5⁰C'de berrak sıvı hale dönüştüğünü gözlemlemişlerdir. Alman fizikçi O.Lehmann ise, ısıtma kontrollü bir sistem ile farklı sıcaklıklar altında sıvı kristal faz davranışını gözlemek için polarizasyon mikroskobu kullanarak sıvı kristal yapıları incelemiştir [3].

Sıvı kristaller yüz yıl kadar önce termotropik küçük moleküllerde gözlenmiştir. Lehmann ve Vorlander ise, sıvı kristallerin mikroskobik yapısının niteliksel özelliklerini yorumlamışlardır. G.Friedel sıvı kristallerin sınıflandırmasında nematik, smektik ve kolesterik olmak üzere temel yapılar belirlemiş ve ilgili yapılar arasındaki ilişkileri açıklamıştır [1,4]. Günümüze gelene kadar çok sayıda sıvı kristal mezofazı gözlenmiştir ancak; sıvı kristaller temelde Bölüm 2’de ayrıntıları anlatılan iki ana gruba ayrılırlar: “Termotropik” ve “Liyotropik”. Termotropik sıvı kristallerin faz değişimi, sıcaklığın değişmesiyle gerçekleşirken; liyotropik sıvı kristallerde sıvı kristal fazın gözlenebilmesi için sıcaklık değişiminin yanısıra çözücüdeki sıvı kristal moleküllerinin konsantrasyonu da önem arz etmektedir.

Kronolojik olarak sıvı kristallerin keşfiyle birlikte önemli olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir [5].

Yapılan araştırmalar çoğu proteinin ve hücre zarının sıvı kristal faza sahip olduğunu göstermiştir. 1950’li yıllarda ise polimerik sıvı kristallerin kimyasal ve fiziksel özellikler ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

- ✓ 1888’de Friedrich Reintzer’in kolesteril türevlerinde iki erime noktasını gözlemesi ile sıvı kristallerin keşfi [6].
- ✓ 1890’da Otto Lehman’nın bu yeni fazı “sıvı kristal” hali olarak nitelendirmesi,
- ✓ 1904’de Merck firmasının ilk ticari sıvı kristali piyasaya sunuşu,
- ✓ 1922’de Friedelin’in sıvı kristalleri molekül yapılarına göre “nematik”, “smektik” ve “kolesterik” olarak üç farklı grupta sınıflandırması,
- ✓ 1960’ların sonunda kolesterik sıvı kristallerin kanser teşhisinde, materyal analizlerindeki tahribatsız testlerde ve sıcaklık göstergesi olarak kullanımı
- ✓ 1968’de George Heilmer’in sıvı kristal ekranların ilk örneğini üretmesi,
- ✓ 1970-1971 yılları arasında, Fergason, Schadt ve Helfrich’in bükümlü (twisted) nematik sıvı kristal hücreleri keşfetmesiyle birlikte sıvı kristal ekran (LCD) teknolojisinde yeni bir dönemin başlangıcı,

- ✓ 1980-1990 yılları arasında, sıvı kristal ekranların artık taşınabilir bilgisayarlardan, cep telefonlarına kadar pek çok elektronik cihazda yaygın olarak kullanılmaya başlaması,
- ✓ 1990'lardan günümüze gelene kadar, sıvı kristallerin sadece ekran panellerinde değil güneş pili ve fiber optik uygulamalar gibi pek çok teknolojik uygulamada da kullanılabileceği görülmüştür. Bu bağlamda da, her geçen gün sıvı kristal malzemelerin holografiden renk değiştiren akıllı pencere sistemlerine kadar pek çok yeni uygulama alanı keşfedilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu doktora tezi nematik sıvı kristal moleküllerin elektrik dipol özelliklerine bağlı olarak polarizasyonlarını manyetik (NiPc) ve yarı iletken katkı malzemeleri (PCBM / C-61) ile katkılandırarak güçlendirip; hem lazer ışığı hem de manyetik alan etkisi altında E₆₃ kodlu nematik sıvı kristalin dielektrik ve elektriksel özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamıştır. İlgili katkılar sonucunda dielektrik spektroskopisi parametrelerine bağlı olarak dielektrik sabitleri, soğurma katsayıları, durulma zamanları ve alternatif akım iletkenlik mekanizmalarının detaylı olarak incelenmesi planlanmıştır. Özellikle, Alternatif akım iletkenlik mekanizmalarının düşük ve yüksek frekans bölgelerinde manyetik özellikleri iyileştiren NiPc ve diğer PCBM (C₆₁) katkıları ile değişimlerini ortaya konması suretiyle, ilgili sıvı kristallerin çalışma bölgelerinin tespiti amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

E₆₃ kodlu nematik sıvı kristal dielektrik davranış sergilemektedir. Bu özellikteki sıvı kristal molekülleri moleküler dipol yapısını daha güçlendirmek için farklı özellikteki katkı maddeleri ağırlıkça değişik yüzde oranlarında eklenerek elektriksel, manyetik ve dielektrik özelliklerindeki değişimler incelenmek istenmiştir. Bu bağlamda, ilgili doktora tezi, manyetik ve yarı iletken özellik gösteren malzemeler katkılandırarak E₆₃ kodlu nematik sıvı kristal materyalin manyetik alan ve lazer ışığı altında elektriksel davranışlarının iyileştirilebileceği hipotezine dayanan bilimsel bir araştırmadır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

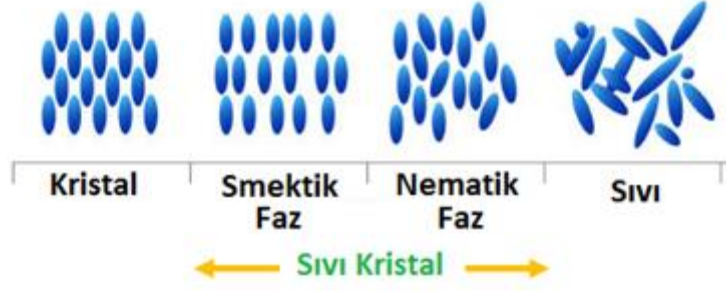
2.1 Bölümün Amacı

Bu bölümde sıvı kristaller hakkında genel bilgiler, sıvı kristallerin sınıflandırması, tezde dielektrik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan temel teori ve denklemler anlatılmaktadır. Bu amaca yönelik olarak, öncelikle dielektrik ve emperdans spektroskopinin temel kavramları verilerek, Debye relaksasyon modeli vb. konular ayrıntılı olarak ifade edilmektedir.

2.2 Sıvı Kristallerin Gruplanması

G.Friedel, sıvı kristallerin sınıflandırılması için, nematik, smektik ve kolesterik olarak genel olarak üç ayrı tip belirlemiş ve yapıları arasındaki ilişkileri açıklamıştır. Aslında mezofaz adı verilen çok sayıda sıvı kristal fazı vardır. Mezofazları oluşturan moleküllerde mesogen adı verilir.

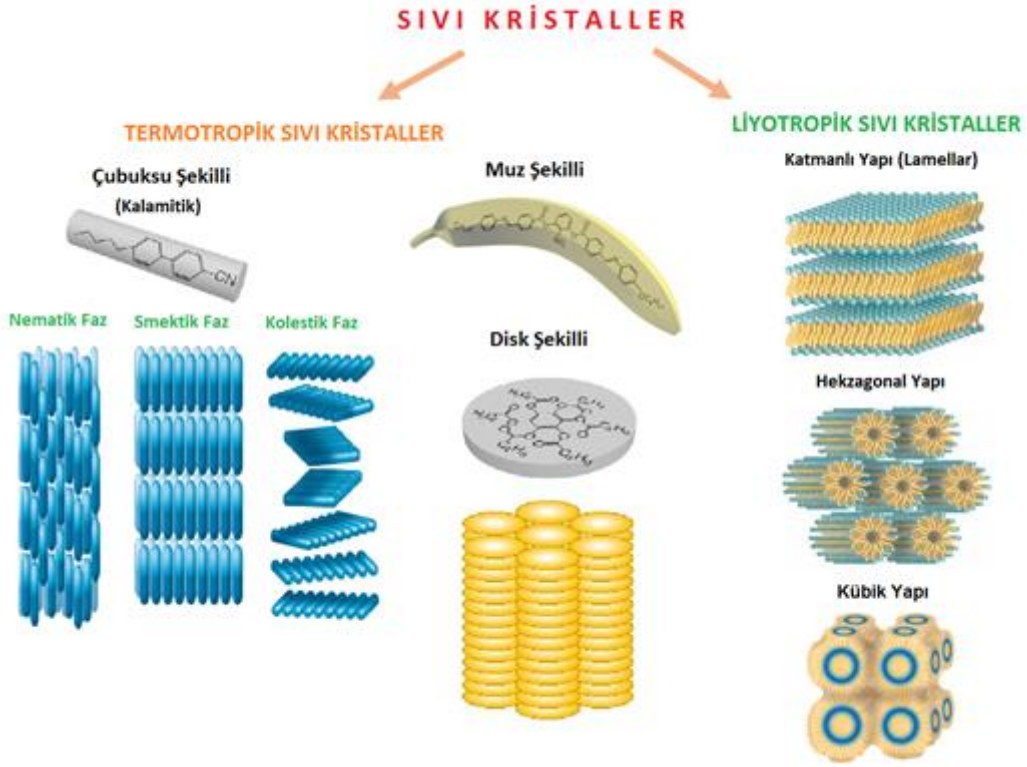
Mezofazlar düzen tiplerine göre karakterize edilirler ve genel olarak iki tip düzen söz konusudur: "Konumsal düzen" ve "yönelimsel düzen" Konumsal düzende moleküllerin herhangi bir çeşit düzende yerleştiği bir örgüsel yapı varken; yönelimsel düzende moleküllerin çoğunlukla belirli bir yöne doğru yönelimi oluşmaktadır. Şekil 2.1'de kristal fazdan sıvı hale faza geçişte, smektik ve nematik mezofazları içeren bir yapı için geçiş diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. 1 Sıcaklık değişimine bağlı olarak kristal örgüden sıvı hale geçiş esnasında smektik ve nematik mezofazları içeren bir sıvı kristalin temsili geçiş diyagramı.

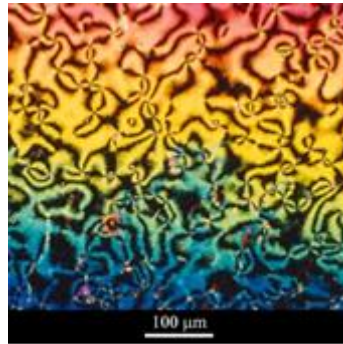
Ayrıca düzen için, düzenin kısa veya uzun mesafeli oluşuna göre bir ayırım da yapılabilir. Kısa mesafe düzeninde moleküllerin sadece birkaç komşu molekülle arasında bir düzen oluşurken, uzun mesafe düzeninde düzenin uzun mesafelerce boyunca ve hatta makroskobik ölçekte devam etmesi söz konusudur. Sıvı Kristal süreçleri temel olarak Termotropik ve Liyotropik olmak üzere ikiye ayrılır (Bakınız Şekil 2. 2).

Termotropik sıvı kristallerde faz değişimi sıcaklığın değişmesiyle gerçekleşirken, liyotropik sıvı kristallerde, sıvı kristal faz geçişi ancak çözücü etkisi ve sıcaklığın değişimi koşullarının birlikteliğiyle elde edilir. Bölüm 2. 3 ve Bölüm 2. 4'te sırasıyla Termotropik ve Liyotropik sıvı kristallerin genel özellikleri verilmektedir.



Şekil 2. 2 Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Şekil 2. 2'deki sınıflandırmadan da görüleceği gibi, çok çeşitli sıvı kristal mezofazlar vardır. Bu mezofazlar, polarize ışık kaynağı kullanan Polarize Optik Mikroskoplarla (POM) incelenen dokuları (texture) arasındaki farklarla tespit edilirler. Şekil 2. 3'te nematik bir sıvı kristal bir polimerin POM ile elde edilen doku resmi verilmektedir.



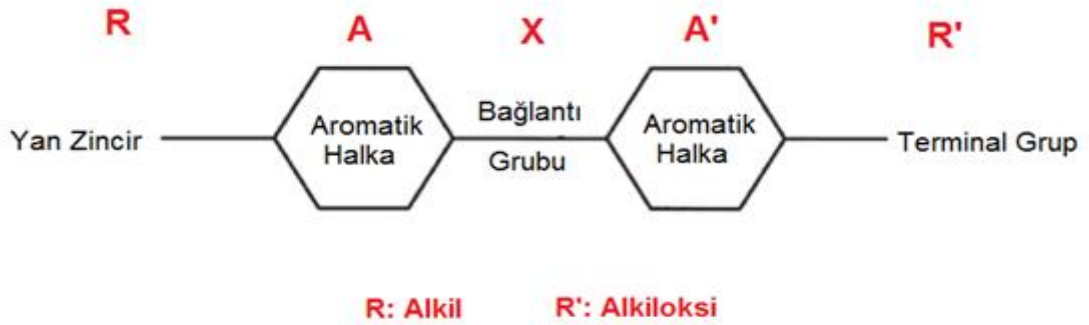
Şekil 2. 3 Nematik sıvı kristal bir polimerin POM görüntüsü [7].

2.3 Liyotropik Sıvı Kristaller

Liyotropik sıvı kristallerin kimyasal yapısı, bir veya birkaç bileşiğin karışımından oluşur. Liyotropik sıvı kristal çözeltisi amfifilik moleküllerden oluşmaktadır. Liyotropik sıvı kristal faz geçişleri hem sıcaklığa hem de maddenin uygun çözücü içinde uygun bir konsantrasyonda olmasına bağlıdır. Bu moleküllerin faz geçişleri çözücü konsantrasyonlarına bağlı olarak değişiklik sergilemektedir. Genel olarak merkeze bağlı iki aromatik halka ile kenarlardaki serbest radikallerden oluşan bir moleküler yapıya sahiptir (Şekil 2. 4).

Liyotropik sıvı kristaller kimya ve gıda endüstrisinden tıba kadar çok geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadırlar.

Amfifilik moleküller, hem hidrofilik hem de hidrofobik özelliklere sahiptir. Aromatik bileşiklerde halkadaki bağlar sırasıyla tek ve çift olmak üzere dönüşümlü olarak kendini tekrar eder. Serbest radikal çiftlenmemiş elektrona sahip atom veya atom grubuna verilen genel bir addır. Bu nedenle kararlı değildir.



Şekil 2. 4 Sıvı kristal molekülün kimyasal yapısı

2.4 Termotropik Sıvı Kristaller

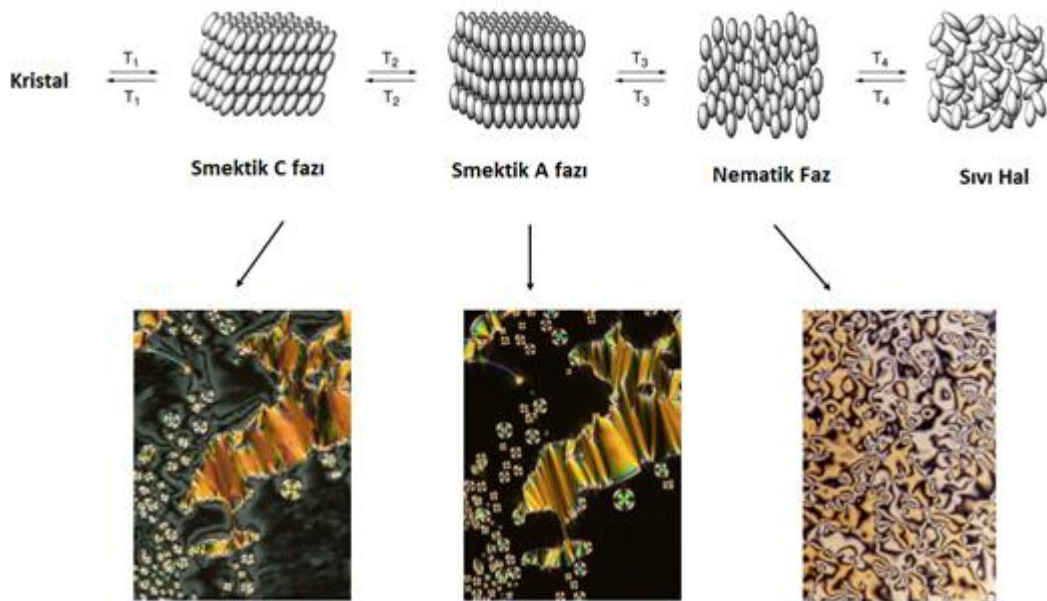
Termotropik sıvı kristaller belirli sıcaklık aralığında oluşurlar, malzemeler söz konusu alanda düşük sıcaklıkta katı kristal, yüksek sıcaklıkta ise izotrop sıvı halinde bulunurlar (Şekil 2. 5). Günümüze değin, doğada ve insanlar tarafından sentezlenen pek çok maddede sıvı kristal faz gözlemlenmiştir. Doğadan örnekler verilecek olunursa, DNA

molekülünün, hücre zarının, yanar döner renkli bazı böceklerin sıvı kristal faza sahip olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, organik maddelerin yaklaşık %1'inde de yüksek sıcaklıklarda izotropik faza geçmeden önce sıvı kristal bir mezofazın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. 5 Termotropik sıvı kristallerde sıcaklıkla faz geçişleri

Şekil 2. 6'da ise yine termotropik bir sıvı kristal için katı halden sıvı hale geçiş arasında gözlemlenen Smektik C, Smektik A ve nematik fazlar ve ilgili mezofazlara ait POM resimleri verilmiştir. Şekil 2. 6'dan da görüleceği üzere, sıvı kristal fazlar arasında nematik faz en az düzenli faz olarak bilinmektedir.



Şekil 2. 6 Kalamitik sıvı kristal moleküllerinde sıvı kristal faz geçişleri ve her bir mezofaza ait POM resimleri [8].

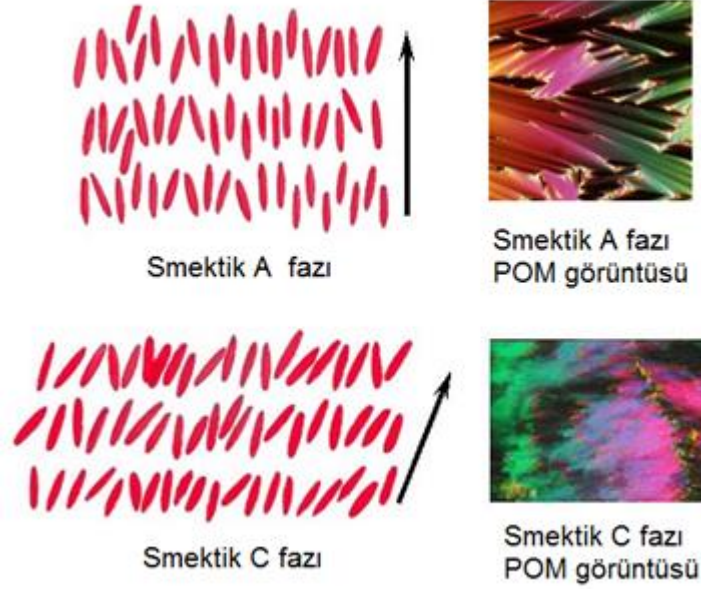
Termotropik sıvı kristaller kendi içinde Enansiyotropik ve Monotropik olmak üzere sıcaklık açısından iki temel gruba ayrılırlar:

Enansiyotropik sıvı kristallerde sıvı kristal faz hem katı halden sıcaklık arttırıldığında hem de sıvı halden sıcaklık düşürüldüğünde gözlenebilir. Ancak; monotropik sıvı kristallerde sıvı kristal faza geçiş sadece soğutma sürecinde gözlemlenebilir. Termotropik sıvı kristal molekül yapılarına bakıldığında genel olarak çubuksu (kalamitik), disk ve muz biçimli yapılar dikkat çeker (bakınız Şekil 2.2). Termotropik sıvı kristallerin büyük bir çoğunluğu çubuk veya disk şeklindeki moleküllerden oluşur. Bu moleküller genellikle merkezi bir sert çekirdekten (genellikle aromatik yapılı) ve esnek bir kuyruktan çoğunlukla alifatik grup) oluşmaktadır. Bu tür termotropik sıvı kristallerin yapıları bloklardan oluşmuş binalara benzer bir görünüme sahiptir. Pratik uygulamaların çoğunda ise çubuksu sıvı kristaller kullanılmaktadır. Çubuksu sıvı kristallerde, moleküller, uzunluk ve genişlik açısından farklılık gösterdiklerinden moleküler anizotropiye sahiptirler. Çubuksu (kalamitik) sıvı kristallerde en çok rastlanan üç yapı olan smektik, kolesterik ve nematik yapıların ayrıntıları sırayla Bölüm 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3'te verilmektedir.

2.4.1 Smektik Fazın Özellikleri

Smektik sıvı kristaller çok farklı yapılar ve özelliklere sahiptirler. Bu fazda moleküller için yönelim düzenine ek olarak konumsal düzen de söz konusudur. Smektik faz konumsal düzene sahip olması nedeniyle katı kristal yapıya daha yakın düzendedir. Smektik fazda moleküllerin tabakalara ayrıldığı gözlenmektedir (Şekil 2.6).

Smektik fazda moleküllerin kendi eksenleri etrafında dönmeleri serbest iken tabakalar arasında geçiş yoktur. Ayrıca ilgili tabaka düzlemlerinin birbiri üzerinden serbest hareket kabiliyetleri olduğu gözlemlenmiştir. Çoğu bileşik birden fazla smektik mezofaza sahiptir. Genel olarak 12 çeşit smektik faz bilinmektedir. Bunlardan bazıları Smektik-A, smektik-B, Smektik-C, Smektik-C*, Smektik-D, Smektik-E, Smektik-F, Smektik-G, Smektik-H Smektik-H* smektikler ve smektik-diskotiklerdir [9,10]. Smektik fazların gözlenme sırası ise sıcaklık azalırken $A \rightarrow C \rightarrow B$ sırasıyla olur. Şekil 2.6'da en çok gözlenen smektik fazlardan Smektik-A ve Smektik-C fazlarının temsili molekül düzeni ve POM resimleri verilmiştir.



Şekil 2. 7 Smektik-A ve Smektik-C fazlarının temsili molekül düzeni ve POM resimleri [11].

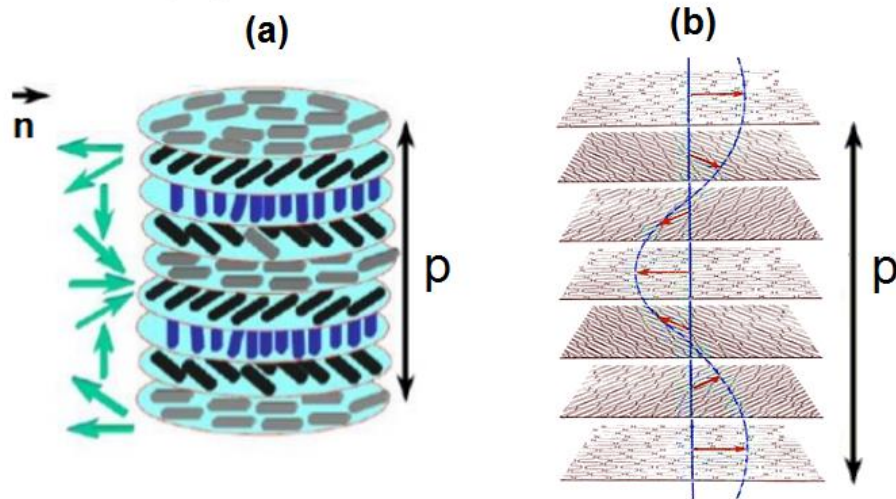
Şekil 2. 7'den de görüleceği üzere, Smektik-A fazında moleküllerin sıvı kristal tabaka düzlemlerine dik bir yönelimi söz konusu iken; Smektik-C mezofazında moleküller sıvı kristal tabaka düzlemlerinin normali ile belirli bir açı yaparlar. Smektik-B fazı ise, hegzagonal bir yapıdadır ve bu tip sıvı kristaller katı kristale benzer özellikler sergilerler.

2.4.2 Kolesterik Fazın Özellikleri

Kolesterik sıvı kristallerde katmanlı bir yapı söz konusudur. Her bir katmanda ise moleküllerin katmanın normali ile yaptığı açı değişmektedir. Başka bir deyişle, Şekil 2. 8(a)'dan da görülebileceği üzere, her bir tabaka için kristal moleküllerinin uzun eksenleri ortalama olarak yön (director) adı verilen ve (\vec{n}) ile gösterilen bir birim vektör yönünde yönelmektedir ve aybı tabaka için (\vec{n}) vektörünün yönü sabitken, tabaka değiştiğinde yön vektörünün yönelimi helise benzeyen bir burulma gösterir (Şekil 2.8(b)). Bu nedenle de kolesterikler spiral adımı, p ile karakterize edilir ve bu spiral hem sağ hem de solda burulur. Spiral adımı moleküllerin aynı yönelim turlarını tamamladıkları (yani 360° dönmelerini tamamladıkları) tabakalar arasındaki mesafeye eşittir (Bakınız Şekil 2.8(b)). Deneysel çalışmalar, kolesterik sıvı kristallerin görünür ışığı yansıttığını (Bragg yansıması) göstermiştir. Dolayısıyla, kolesterik sıvı kristalin spiral adımı da görünür ışığın dalga boyu mertebesinde (400nm < görünür ışık < 700nm) Spiral adımı,

p sıcaklıkla, elektrik ve manyetik alan etkisiyle değişebilir. O halde, spiral adımı bu dış etkenlerle değiştikçe, sıvı kristalden yansıyan ışığın rengi de değişecektir. Bu özelliklerinden ötürü, kolesterik sıvı kristaller 0.01 C°'lik sıcaklık değişimini ayırt edebilmektedirler ve böylelikle sıcaklık sensörü uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Ayrıca, kolesterik sıvı kristaller termal görüntüleme cihazlarında temel bir algılayıcı materyal grubu olarak dikkat çekmektedirler. Bununla birlikte, kolesterik sıvı kristallerin elektronik devrelerin veya mikro yapılardaki kusurlarının belirlenmesinde, şok dalgalarının uçak yüzeyindeki etkilerinin incelemesinde ve hastalıklı dokuların erken teşhisinde kullanıldığı bilinmektedir [12].

Ayrıca, spiral eksenine dik yönde, manyetik ve elektrik alanlar uygulanarak kolesteriğin kiral (chiral) yapısı bozulup nematik yapıyı sistem oluşturmak da mümkündür. Optik olarak kolesterikler iki eksenlidirler ve optiksel eksen spiralin eksenine paralel yöndedir. Bu yapıya kiral nematik faz da denmektedir.



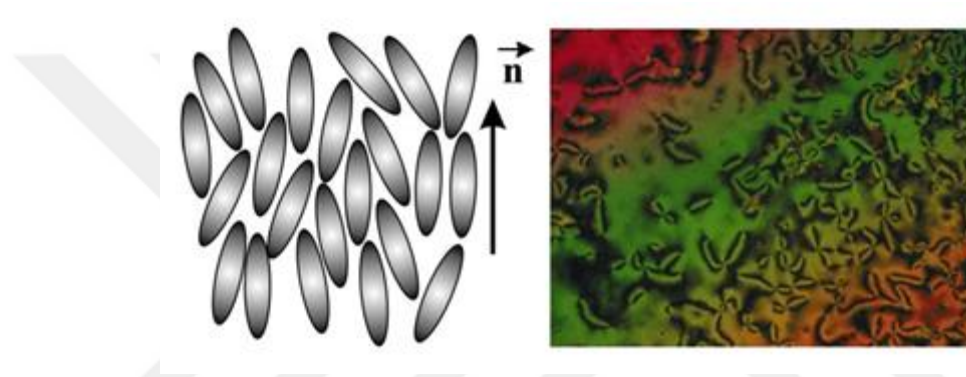
Şekil 2. 8 (a) Kolesterik sıvı kristalde moleküllerin tabakalardaki temsili yönelimi ve (b) \vec{n} vektörünün tabakalarda yöneliminin değişiminin helis burulması ve helis adımının belirlenmesi [13].

2.4.3 Nematik Faz

Termotropik sıvı kristallerde nematik fazdan, smektik fazan daha yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan ve smektik faza göre daha az düzenli olan bir fazdır. Çoğu sıvı kristal, nematik veya kolesterik fazlarla birlikte smektik fazlara da sahiptir. Sıcaklık azaldıkça

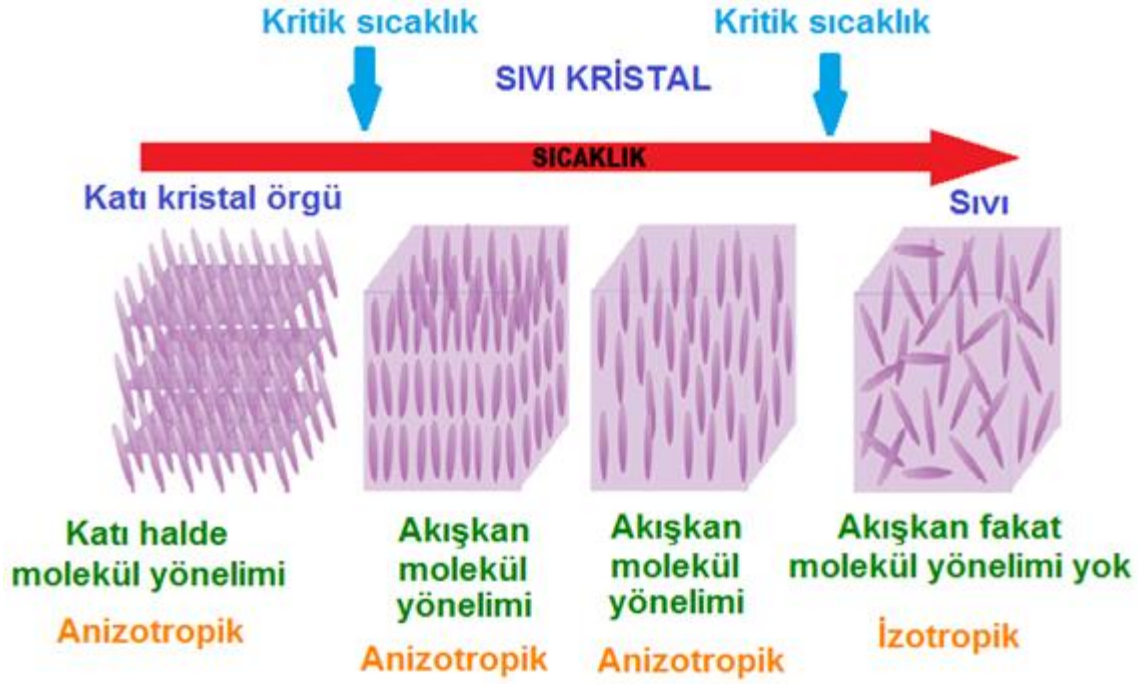
gözlenen fazlar daha yüksek katı kristal düzenini işaret etmektedir. Bu bağlamda nematik faz daima smektik fazdan daha yüksek sıcaklıklarda gözlenmektedir.

Nematik faz adını POM görüntülerindeki iplikçi yapıdan almaktadır. Nematik sıvı kristal yapısı katmanlı değildir ve moleküllerin ağırlık merkezlerinin dizilimi rastgeledir. Nematik fazda sıvı kristal moleküllerinin konumsal bir düzeni yoktur ancak moleküllerin uzun mesafe yönelim düzeni vardır. Şekil 2.9'dan da görüleceği üzere, nematik fazda sıvı kristal moleküllerinin uzun eksenleri ortalama olarak \vec{n} ile gösterilen bir birim vektör yönünde yönelmektedir. Optiksel olarak nematik sıvı kristaller tek eksenlidirler.



Şekil 2. 9 Nematik fazda moleküllerin yönelimi, \vec{n} vektörü ve nematik faza ait POM görüntüsü örneği [14].

Düzenli bir kristal örgüye sahip bazı katıların ısıtılması esnasında kritik bir sıcaklıkta ($T_{\text{nematik-izotropik}}$), nematik sıvı kristal faz gözlemlenir. Sıcaklık arttırılmaya devam edildiğinde ise bir başka kritik sıcaklıkta ($T_{\text{nematik-izotropik}}$) maddenin izotropik sıvı fazına geçişi gerçekleşir ve böylelikle moleküllerin nematik fazda sahip olduğu yönelim düzeni ortadan kalkar. Bu geçiş Şekil 2.10'da temsili olarak gösterilmiştir. Maddenin ısıtılırken katı kristal fazdan nematik sıvı kristal faza geçiş yaptığı $T_{\text{nematik-izotropik}}$ sıcaklığında bulanık bir görünümünün olduğu ve sıcaklık arttırılmaya devam edildiğinde $T_{\text{nematik-izotropik}}$ adı verilen bir sıcaklıkta maddenin sıvı hale geçtiği ve şeffaf görünüm aldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2. 10 Kıta Kristal, Nematik Sıvı Kristal ve izotropik sıvının Sıcaklığa bağı moleköl gösterimi [15,16].

Nematik düzende moleküller birbirlerine göre bir paralel yönelime sahiptirler ve birbirlerine göre bağı hareketlerinde belli oranda serbesttirler. Moleküllerin paralel yönelimi ve bağı hareketlerindeki serbestlik, onlara hem kıta hem de sıvı özelliklerine birlikte sahip olmaları avantajını getirmektedir. Gray ısıtıldığında kıta kristal fazdan nematik faza geçen malzemelerin moleküller arası yan ve taban etkileşimleri oranının, smektiklere göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir [17].

Sıvı kristallerin nematik ve smektik olmaları, moleküllerde atom gruplarının bölüşümüne bağıdır. Genel olarak, anizotropik şekilli çubuksu moleküllerin ve buna bağı olarak bu moleküller arasındaki yöne bağı (anizotropik) kuvvetlerin sıvı kristal fazın oluşmasına olanak tanıdığı bilinmektedir [18,20]. Nematik sıvı kristallerin ısısal kararlılıkları ise genellikle bu dispersiyon kuvvetleri ile belirlenir.

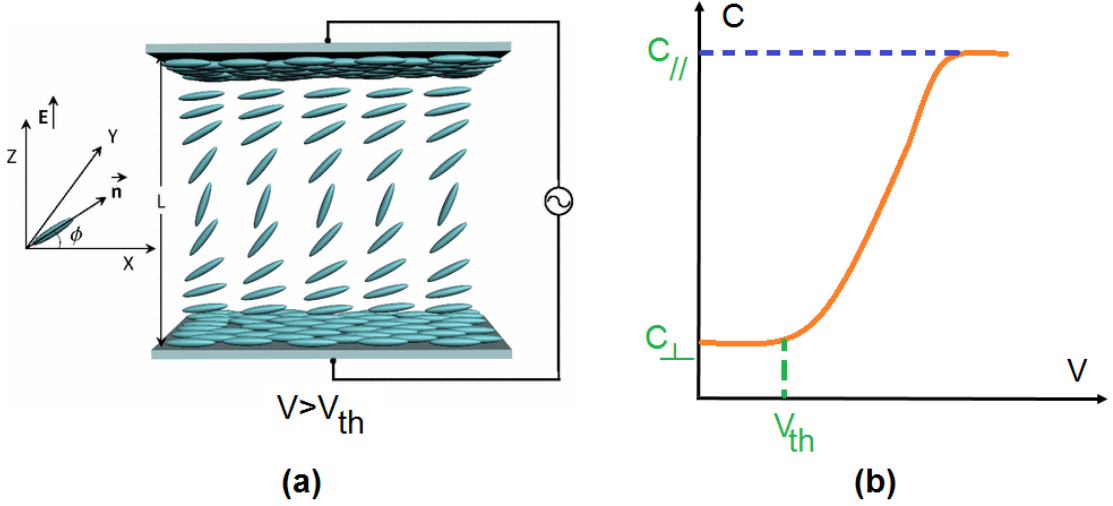
2.5 Elektrik Alanda Sıvı Kristal Moleküllerin Davranışları: Eşik Voltajının ve Dielektrik Anizotropinin Belirlenmesi

Sıvı kristal moleküllerinin dışardan uygulanan elektrik alana verdikleri cevap, onların pek çok endüstriyel uygulamada kullanımına olanak sağlamaktadır. Sıvı kristal

moleküllerinin yön vektörünün uygulanan dış elektrik alanla aynı yönde yönlenmesi sıvı kristal moleküllerinin doğasına bağlıdır. Sıvı kristal moleküller bu açıdan, polar ve apolar moleküller olarak ikiye ayrılırlar. Bilindiği gibi, polar moleküllerde pozitif ve negatif yük merkezleri arasındaki ayırmadan ötürü daimi elektrik dipol momente sahiptirler. Apolar moleküllerde ise dışarıdan uygulanan bir elektrik alan sayesinde moleküldeki yük dağılımının yeniden düzenlenmesi sonucu negatif ve pozitif yük merkezlerinin birbirinden ayrılması sonucu etkileşmeli (indüklenmiş) elektriksel dipoller oluşur. Genellikle, indüklenmiş dipol momentler daimi dipol momentlerden daha zayıftırlar. Sıvı kristal moleküllerinin dış elektrik alandan nasıl etkilendiğini anlamak üzere başlangıçta sıvı kristal moleküllerinin sıvı kristal hücre içine paralel olarak yönlendiğini bir durum göz önüne alınsın (Şekil 2.11).

Sıvı kristal hücreler iki iletken cam, cam yüzeylerinin iç yüzeyini kaplayan ve sıvı kristal moleküllerin paralel veya dik yönde hücre içine yerleşimine olanak sağlayan polyimid tabakadan oluşur. Bu haliyle sıvı kristal hücre paralel plakalı kondansatöre karşılık gelir.

Dış elektrik alan, sıvı kristal hücrenin iletken camları arasına sıfırdan başlayarak artan bir potansiyel fark uygulaması ile oluşturulduğunda, ilk başta moleküllerin yönleminde bir değişiklik gözlenmezken; dışardan uygulanan gerilim farkı belirli bir gerilim değerini, yani eşik gerilimi V_{th} , aştığında, moleküllerin yönelimi elektrik alanına göre dik pozisyondan elektrik alana paralel pozisyona değişir (Şekil 2.11(a)). Bu geçiş Freedericksz geçişi adı verilir ve bu geçişin gözlemlendiği potansiyel farka ise eşik gerilimi, V_{th} , adı verilir. Eşik gerilimi genellikle deneysel olarak sabit bir frekansta yapılan sığa-potansiyel fark (C-V) değişimi deneyleri ile belirlenir. Şekil 2.11(b)'de böyle bir deneye ait potansiyel farka bağlı olarak sığanın değişiminin temsili grafiği verilmiştir [21].



Şekil 2. 11 (a) Dışardan uygulanan elektrik alanla sıvı kristal moleküllerinin yön vektörünün değişiminin şematik gösterimi [22] ve (b) Eşik voltajın, dik ve paralel dielektrik sabitlerin C-V değişiminden belirlenmesi.

Uygulanan potansiyel farka bağlı sığa grafiğinde, sıvı kristal moleküllerinin başlangıçtaki yönelimlerini ilk değiştirdikleri gerilim değeri eşik voltajı olarak tarif edilir. Sıvı kristal moleküllerinin dış elektrik alana dik oldukları andaki sığa değeri C_{\perp} iken, sıvı kristal moleküllerinin elektrik alanla aynı yönde yönlendikleri sığa değeri ise $C_{//}$ olarak alınır.

Sıvı kristal hücre paralel plakalı kondansatör olarak ele alındığında dik ve paralel sığa değerlerinden dik ve paralel dielektrik sabitleri (ϵ_{\perp} ve $\epsilon_{//}$) sırasıyla Denklem (2. 1) ve (2. 2)'ye göre hesaplanabilir:

$$C_{\perp} = \epsilon_{\perp} \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.1)$$

$$C_{//} = \epsilon_{//} \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.2)$$

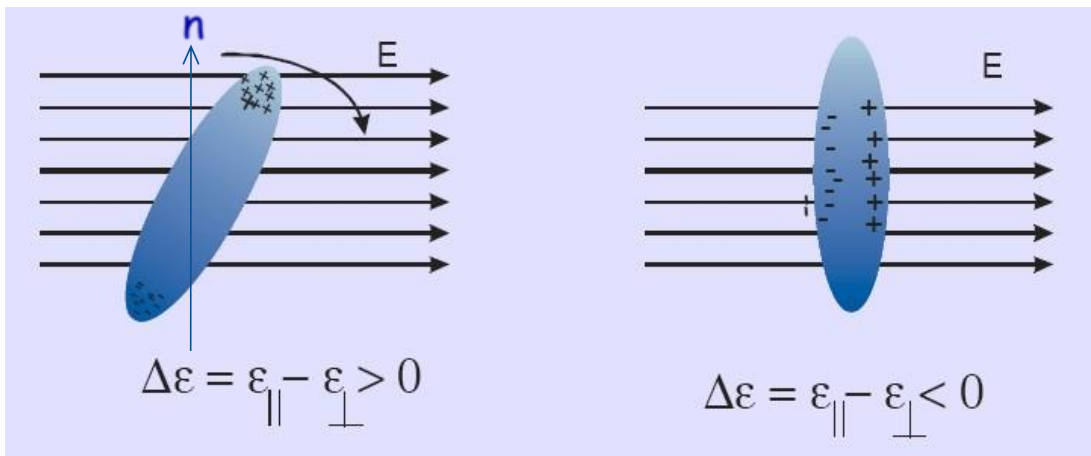
Denklem (2. 1) ve denklem (2. 2) uyarınca belirlenen ϵ_{\perp} ve $\epsilon_{//}$ yardımıyla, dielektrik anizotropi, $\Delta\epsilon$ paralel ve dik yönlerdeki elektriksel geçirgenliklerin farkı ile belirlenir[23,24]. (Denklem (2. 3))

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp} \quad (2.3)$$

$\Delta\epsilon > 0$ ise moleküllerin yönelimi elektrik alana paraleldir ve pozitif tip dielektrik anizotropi (p-tipi $\Delta\epsilon$) adını alır. $\Delta\epsilon < 0$ ise moleküllerin yönelimi elektrik alana dik olur ve negatif tip dielektrik anizotropi (n-tipi $\Delta\epsilon$) adını alır. (Şekil 2.11) sahip olup moleküller gösterimi şekil 2.11'de verilmektedir [25].

Dielektrik anizotropinin pozitif veya negatif oluşu, moleküllerin elektrik dipol momenti bakımından da açıklanabilir. Elektrik dipol momentin yönü, moleküler yönelimle aynı yönde olduğundan; Elektrik dipol moment, uzun molekül eksenine paralel ise, $\Delta\epsilon$ pozitif olur ve moleküller elektrik alanı yönüne yönelme eğiliminde olur [25].

Eğer molekülün taşıdığı dipol moment az ya da çok molekülün uzun eksenine dik olacak şekilde yönelmiş ise şekil 2.12'den de görüldüğü gibi olur ve sıvı kristal molekülü ile elektrik alan birbirine dik pozisyonda olur [26-28].



Şekil 2. 12 Sıvı kristallerde dielektrik anizotropi.

Bununla birlikte, dielektrik anizotropi pozitif ise sıvı kristal moleküller nispeten düşük frekanslarda elektrik alan yönünde yönelirler. Negatif dielektrik anizotropi ise, yanal polar moleküllerin katkısıyla moleküllerin uzun eksenine dik olarak indüklenmiş dipol momentlerin oluşumuyla açıklanabilir. Bununla birlikte, negatif dielektrik anizotropiye sıvı kristaller projeksiyon ekranlarında sıklıkla kullanılmaktadır [29].

2.6 Elektrik Alanda Nematik Sıvı kristal Moleküllerin Davranışlarına Enerji Açısından Bakış

Sıvı kristal moleküllerin \vec{E} elektrik alanında yönelmeleri sonucu sistemin toplam elektriksel potansiyel enerjisi, U

$$U = -\vec{P} \cdot \vec{E} \quad (2.4)$$

ile tanımlıdır. Denklem (2.4)'te \vec{P} polarizasyon vektörü birim hacimdeki dipol moment olarak tanımlıdır ve esasen madde içindeki polarizasyonun derecesini betimler. Dışardan uygulanan \vec{E} elektrik alanıyla \vec{P} polarizasyon vektörü arasında

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E} \quad (2.5)$$

bağıntısı tanımlıdır. Denklem (2.5)'te ε_0 ve χ sırasıyla boş uzayın elektriksel geçirgenliğini ve dielektrik duygunluğu temsil etmektedir. Uygulanan elektrik alan sıvı kristalin moleküler eksene paralel ise, moleküler yönelim eksenine paralel polarizasyon (Denklem (2.6)) olurken; dış elektrik alan moleküler yönelim eksenine dik ise dik bir polarizasyon (Denklem (2.7)) oluşur.

$$P_{//} = \varepsilon_0 \chi_{//} E_{//} \quad (2.6)$$

$$P_{\perp} = \varepsilon_0 \chi_{\perp} E_{\perp} \quad (2.7)$$

Nematik sıvı kristal moleküllerin yönelimi z-ekseni yönünde seçilip (2.5) denklemini tensörel formda yazılırsa

$$\begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} = \varepsilon_0 \begin{pmatrix} \chi_{\perp} & 0 & 0 \\ 0 & \chi_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \chi_{//} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

denklemini elde edilir.

Elektriksel yer değiştirme vektörü ise

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \varepsilon_0 \vec{E} + \varepsilon_0 \chi \vec{E} = \varepsilon \vec{E} \quad (2.9)$$

ile tanımlıdır. Denklem (2.9)'de $\varepsilon = \varepsilon_0(1 + \chi)$ ile tanımlıdır ve yöne bağlı dielektrik sabitini temsil etmektedir.

Bu durumda net polarizasyon vektörü,

$$\vec{P} = \varepsilon_0 [\chi_{\perp} \vec{E} + \Delta\chi (\vec{E} \cdot \vec{n}) \vec{n}] \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Denklem (2.10)'de $\Delta\chi = \chi_{\perp} - \chi_{//}$ ile verilir. Bu koşulda sistemin serbest enerji yoğunluğuna elektrik alanının varlığı dolayısıyla eklenen ek enerji terimi,

$$U = -\frac{1}{2} \vec{D} \cdot \vec{E} = -\frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 - \frac{1}{2} \varepsilon_0 \Delta\chi (\vec{E} \cdot \vec{n})^2 \quad (2.11)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Sıvı kristaller dışardan uygulanan manyetik alanla da makroskobik olarak belirli bir düzende sıralanabilirler. Manyetik yönelme sıvı kristallerin anizotropik manyetik enerjisinden kaynaklanmaktadır.

$$U_m = \int_0^m \vec{B} \cdot dM \quad (2.12)$$

burada B manyetik alan, M ise manyetizasyondur. Manyetik tork yoğunluğu ise;

$$\vec{\tau}_{Mag} = \vec{M} \times \vec{H} \quad (2.13)$$

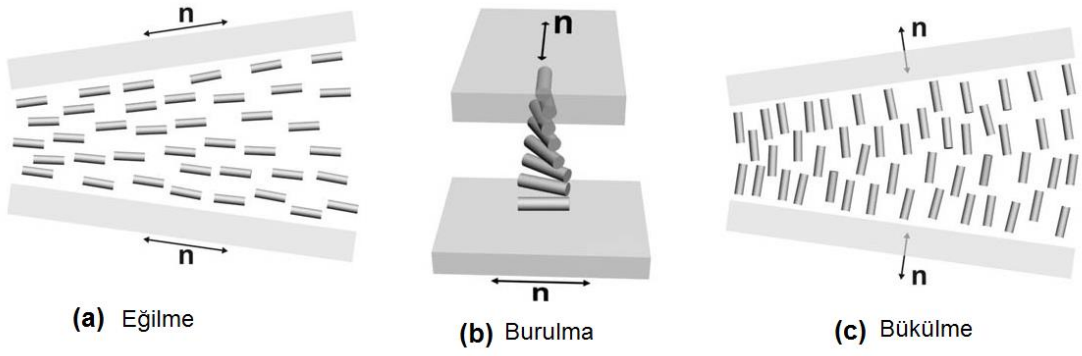
ile tanımlıdır. Manyetik tork da elektriksel tork gibi sıvı kristallerdeki alan etkisindeki olaylarda önemli bir rol oynamaktadır [26]. Zira bu tez çalışmasında da manyetik alan uygulamasıyla moleküller yönelmenin kolaylaştığı görülmüştür.

Sıvı kristal moleküllerinin yön vektörünün dış elektrik alan etkisiyle yönelimini değiştirmesi esnasında, sıvı kristal moleküllerinin sistemin serbest enerjisini, f_e , minimum seviyede tutacak şekilde bir yönelime geçtiği görülmektedir. Denklem (2.4)'te ϵ_0 boş uzayın elektriksel geçirgenliğidir. Denklem (2.11)'den de görülebileceği üzere, $\Delta\epsilon > 0$ olduğunda enerjinin minimum olması $\vec{n} // \vec{E}$ koşulunda elde edilirken; $\Delta\epsilon < 0$ olması durumunda enerjinin minimum olması $\vec{n} \perp \vec{E}$ elde edilir [30].

Bölüm 2. 5'de ifade edildiği gibi dış elektrik alan etkisi altında moleküllerin yönelimlerini değiştirebilmeleri eşik bir potansiyel farkının yani elektrik alanın aşılması gerekmektedir. Bu durumda moleküllerin düzenli oldukları bir durumdan yönelimin deforme olduğu bir başka duruma geçiş söz konusu olur. Nematik sıvı kristallerde deforme olmuş bu yeni durumda sistemin toplam serbest enerjisi,

$$f = \frac{1}{2}K_{11}(\vec{\nabla} \cdot \vec{n})^2 + \frac{1}{2}K_{22}(\vec{n} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{n})^2 + \frac{1}{2}K_{33}(\vec{n} \times \vec{\nabla} \times \vec{n})^2 - \frac{1}{2}\epsilon_0\Delta\epsilon(\vec{E} \cdot \vec{n})^2 \quad (2.14)$$

ile verilir. Burada K_{11} , K_{22} ve K_{33} sırasıyla eğilme, burulma ve bükülme elastik sabitleridir. Elektrik alan etkisiyle nematik sıvı kristal molekül yönelimlerinde görülen bu deformasyonların temsili gösterimleri Şekil 2. 13'deki gibidir.



Şekil 2.13 Nematik sıvı kristal moleküllerinde (a) Eğilme (b) Burulma (c) Bükülme deformasyonlarının temsili gösterimi.

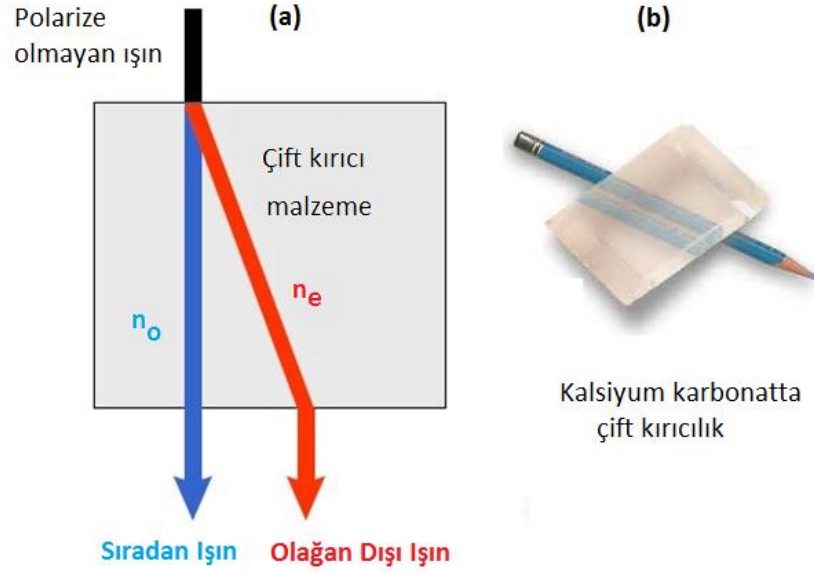
İlgili deformasyonların gözlenebilmesi için uygulanması gereken eşik elektrik alan değerleri ise Denklem (2.15)'de verilmektedir.

$$(E_{th})_{eğilme} = \frac{\pi}{d} \sqrt{\frac{K_{11}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \quad (E_{th})_{burulma} = \frac{\pi}{d} \sqrt{\frac{K_{22}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \quad (E_{th})_{bükülme} = \frac{\pi}{d} \sqrt{\frac{K_{33}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)'de d parametresi sıvı kristal hücre içindeki sıvı kristal tabakanın kalınlığını temsil etmektedir [31].

2.7 Sıvı Kristallerin Optik Özellikleri

Sıvı kristaller, molekülleri arasındaki anizotropik bağ kuvvetleri nedeniyle, çift kırıcılık sergilerler. Genel olarak çift kırıcı malzemeler iki kırılma indisine sahiptirler. Malzemenin molekülleri arasındaki bağ kuvvetleri bakımından örneğin y ve z eksenleri izotropikse, x-ekseni malzemenin optik eksenini adını alır. Optik eksen boyunca ilerleyen bir ışın demetinin elektrik alan bileşeni daima optik eksene dik kalacağından; bu ışına "sıradan ışın" denilir. Sıradan ışın malzeme içinde daima n_0 "sıradan kırılma indisi"ne uygun olarak hareket eder. Bununla birlikte, çift kırıcı malzemelerde gelen ışığın elektrik alan vektörü optik eksene paralel ise bu ışın "olağan dışı ışın" adını alır ve n_e "olağan dışı kırılma indisi" ne göre kırılır. Şekil 2.14(a)'da çift kırıcı malzemelerde polarize olmayan ışığın sıradan ve olağan dışı ışınlar olarak kırılmasının temsili gösterimi verilmektedir. Şekil 2.14(b)'de ise çift kırıcı malzemelere örnek olarak kalsiyum karbonattaki durum gösterilmiştir.



Şekil 2. 14 (a) Çift kırıcı malzemelerde polarize olmayan ışığın davranışı (b) Kalsiyum karbonatta çift kırıcılık [32].

Çift kırıcı malzemelerde sıradan ve olağan dışı kırılma indisleri, c ışığın boşlukta yayılma hızı olarak sırasıyla Denklem (2.16-a) ve (2.16-b)'deki gibi tanımlanır:

$$n_e = \frac{c}{v_{//}} \quad (2.16-a)$$

$$n_o = \frac{c}{v_{\perp}} \quad (2.16-b)$$

Denklem (2.16-a) ve(2.16-b)'deki $v_{//}$ ve v_{\perp} sırasıyla elektrik alana paralel ve dik yöndeki hız bileşenlerini temsil etmektedir. Çift kırıcı malzemeler için çift kırıcılığın ölçüsü kırıcılık anizotropisi (veya optik anizotropi) , Δn ile ifade edilir:

$$\Delta n = n_e - n_o \quad (2.17)$$

Denklem (2.17)'ten de görüleceği üzere, optik eksene paralel yayılan demetin kırılma indisinin dik yayılan bileşenden daha büyük olması halinde pozitif optik anizotropi (yani $\Delta n > 0$) durumu oluşurken; küçük olması halinde negatif optik anizotropi (yani $\Delta n < 0$) söz konusu olur [33]. Optik anizotropinin negatif veya pozitif oluşuna ve değerine göre ilgili sıvı kristalin hangi optik temelli teknolojik uygulamada kullanılabileceği tespit edilir. Nematik sıvı kristallerde de polarize olmayan ışık sıvı kristal hücre içine girdiğinde, biri yavaş (sıradan ışın) diğeri ona göre hızlı (olağan dışı)

lerleyen iki ışın demetine ayrılır. Genel olarak nematik sıvı kristallerde n_0 yaklaşık 1.5 değerini alırken; Δn 0.05 ile 0.5 arasında değişmektedir.



SPEKTROSKOPİK BİLGİLER

3.1 Empedans ve Dielektrik Spektroskopisi

Bu bölümde öncelikle empedans ve dielektrik spektroskopisinin uygulama alanları, temel ölçüm ve hesaplama teknikleri ifade edildikten sonra, iletkenlik mekazimalarına değinilecektir.

3.2 Empedans Spektroskopide Temel Kavramlar

Empedans spektroskopisi (ES) pek çok malzemenin elektriksel karakterizasyonu için sıklıkla kullanılan bir ölçüm tekniğidir. ES malzemelerdeki korozyon tespitinden, pil teknolojilerinde uygun malzeme ve elektrot seçimine, yarıiletkenlerde fotovoltaiik çalışmalardan iletkenlik mekanizması tayinine kadar çok geniş bir yelpazade uzun yıllardır kullanılan etkin bir ölçüm metodu'dur [34-40]. ES sıvı kristallerin elektriksel özelliklerinin incelenmesinde de sıklıkla kullanılan bir ölçüm metodu'dur[41]. Empedans spektroskopisi en genel anlamda bir devrenin alternatif akım (ac) veya gerilim uygulamasına karşılık olarak verdiği frekansa bağlı cevabı inceleyen bir ac teoridir. Kısaca dc (doğru akım) ve ac teori kıyaslanacak olunursa, dc bir devrede (başka bir deyişle sıfır frekanslı bir gerilim uygulandığında) elektron akışına karşı koyan tek unsur Ohm Yasası uyarınca direnç (R)'dir:

$$V = IR \quad (3.1)$$

Ac devre teorisinde ise, frekansı sıfırdan farklı bir akım ($I = I_{max} \sin(\omega t + \phi)$) uygulandığından; Denklem (3.1)'in eşdeğeri olarak

$$V = IZ \quad (3.2)$$

ifadesi yazılır. AC devrelerde dirence ek olarak kondansatör (C) ve indüktör (L) de elektron akışına karşı koyduklarından; Denklem(3.2)'de R'nin yerini empedans, Z alır. Empedansın birimi de direnç gibi Ohm'dur.

Çok kısaca direnç ve empedans arasındaki farka değinilecek olunursa, her iki terim de devrede elektron akışına karşı koymanın bir ölçüsü iken; DC devrelerde bunu sadece direnç gerçekleştirirken, AC devrelerde dirence ek olarak kondansatör ve indüktör de elektron akışına karşı koyar. Bunun sonucu olarak DC devrelerde direnç skaler iken, ac devrelerde empedans kompleks bir büyüklüktür(Denklem 3.3):


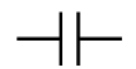

$$Z^* = Z' + jZ'' \quad (3.3)$$

Denklem(3. 3)'de $j = \sqrt{-1}$ ile tanımlıdır. Bu bağlamda empedansın gerçek ve sanal kısımları Denklem (3.4-a) ve (3.4-b)'deki gibi ifade edilebilir:

$$Z' = R \quad (3.4-a)$$

$$Z'' = X_L - X_C \quad (3.4-b)$$

Denklem (3.4-b)'deki X_L ve X_C sırasıyla kapasitif ve indüktif reaktansları temsil etmektedir. Şekil 3.1'de bazı devre elemanlarının akım-gerilim ilişkileri ve empedans karşılıkları gösterilmektedir.

		Elektriksel bağıntı	Empedans
Direnç		$V = IR$	$Z^* = Z' = R$
Kondansatör		$I = C \frac{dV}{dt}$	$Z^* = Z'' = -j \frac{1}{\omega C}$
İndüktör		$V = L \frac{dI}{dt}$	$Z^* = Z'' = j\omega L$

Şekil 3. 1 Direnç, kondansatör ve indüktörün empedans gösterimleri ve akım-gerilim bağıntıları.

Kompleks empedansın şiddeti ve faz açısı ise sırasıyla Denklem (3.5) ve (3.6)'da tanımladığı gibidir:

$$|Z^*| = \sqrt{(Z')^2 + (Z'')^2} \quad (3.5)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{Z''}{Z'}\right) \quad (3.6)$$

Kompleks admitans, Y^* ise kompleks empedansın tersi ile Denklem (3.7)'deki gibi ifade dilir:

$$Y^* = \frac{1}{Z^*} = Y' + jY'' = G + jB \quad (3.7)$$

Denklem (3.7)'de G ve B sırasıyla iletkenliği ve sanal iletkenliği tarif etmektedir ve Denklem (3.8)'deki gibidir:

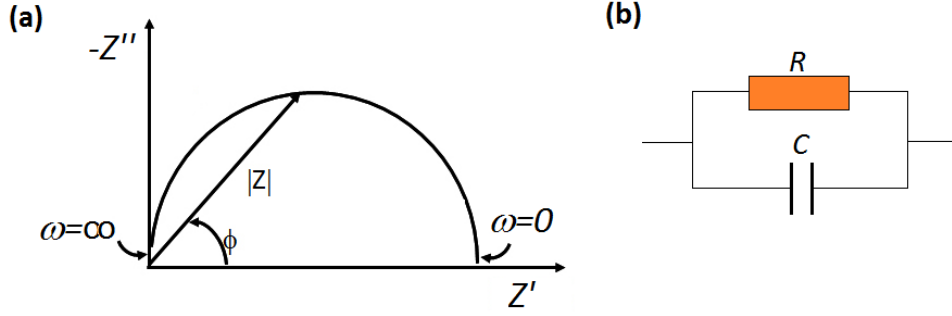
$$G = \frac{R}{R^2+X^2} \quad \text{ve} \quad B = -\frac{X}{R^2+X^2} \quad (3.8)$$

3.3 Empedans Spektroskopisinde Eşdeğer Devre Modellenmesi

ES sonucu elde edilen frekansa bağlı verilerden eşdeğer devre modellemesinin yapılmasının, ilgilenilen sistemin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi açısından büyük bir önemi vardır. Eşdeğer devre modellemesi aslında sistemin ideal direnç, kondansatör ve indüktör içeren bir devre karşılığının ifade edilmesi anlamına gelmektedir. Eşdeğer devre analizlerinde belirlenen direnç değeri çoğunlukla yük akışı esnasında maddenin hacimsel olarak gösterdiği (bulk resistance) direnci temsil ettiği gibi; elektrot yüzeyindeki yük transferi sürecinde ortaya çıkan direnci de ifade edebilir. Eşdeğer devre analizlerinde belirlenen kondansatör ve indüktörler ise, uzay-yük polarizasyon bölgeleriyle ilişkilendirilebilir.

Eşdeğer devre modellemesinin yapılabilmesi için kompleks empedansın gerçek ve sanal bileşenlerinin zamanla değişimleri yardımıyla, Nyquist grafiği adı verilen ve frekanstan bağımsız olarak çizilen $Z'' = f(Z')$ değişimlerinden yararlanılır (Şekil 3. 2(a)).

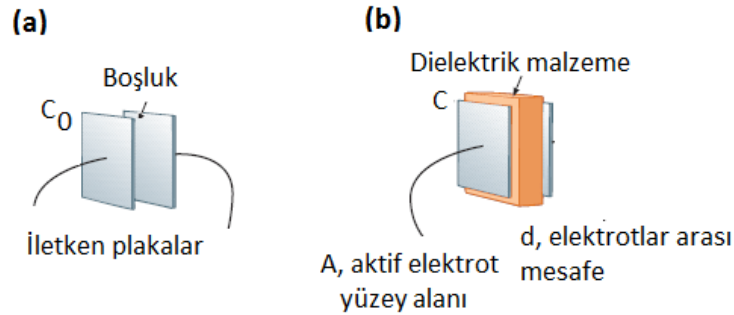
Şekil 3. 2(a)'ya göre sistemin eşdeğer devresi ise paralel bağlı direnç ve kondansatör olarak ele alınmaktadır (Şekil 3. 2(b)).



Şekil 3. 2 Basit bir elektrokimyasal sistemin (a) Nyquist grafiği ve (b) Eş değer devresi.

3.4 Empedans Spektroskopisi ile Dielektrik Parametrelerin Belirlenmesi

Dielektrik özellikleri belirlenecek malzeme genellikle iki iletken plaka veya iletken cam arasına yerleştirilerek empedans analizör ile ölçümler gerçekleştirilir. İki iletken plaka arasına yerleştirilen dielektrik malzeme ile Şekil 3. b'de görülen paralel plakalı bir kondansatör elde edilir ve ilgili kondansatörün sığası ölçülerek dielektrik sabitinin reel değeri hesaplanmaktadır. Şekil 3. 3' de arasında boşluk ve dielektrik malzeme konmuş iki paralel plakalı kondansatörün şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 3. 3 Aralarında (a) boşluk (b) dielektrik malzeme bulunan paralel plakalı kondansatörlerin şematik gösterimi.

İletken plakalar arasındaki d kalınlıklı bölgede boşluk verken sığa C_0 iken, dielektrik malzeme ile doldurulduğunda sığa C 'dir:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (3.9)$$

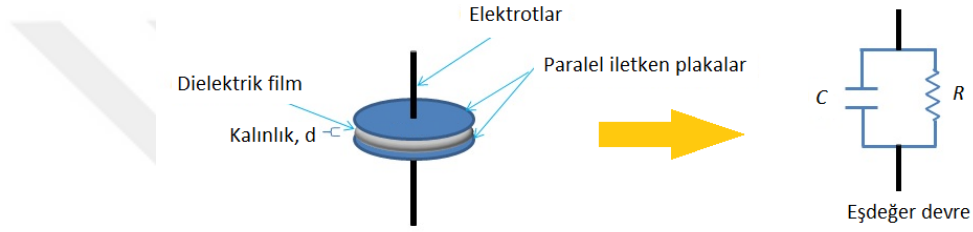
$$C = \epsilon' \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (3.10)$$

Denklem (3.10)'dan da görülebileceği üzere, dielektrik sabitinin gerçek kısmı (ϵ'), açılal frekansa bağlı olarak değişmektedir ve C/C_0 oranına eşittir.

Şekil 3.3(b)'deki dielektrik malzeme dolu paralel plakalı kondansatör alternatif akım kaynağına bağlandığında, ilgili sistemin eşdeğer devresi paralel bağlı direnç ve kondansatör olarak ifade edilir (Şekil 3. 4). Buna bağlı olarak, dielektrik malzemenin açısıl frekansa bağlı olarak gerçek ve sanal dielektrik sabitleri sırasıyla Denklem (3.11) ve (3.12)'deki gibidir:

$$\varepsilon'(\omega) = \frac{C}{C_0} \quad (3.11)$$

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{1}{R\omega C_0} \quad (3.12)$$



Şekil 3. 4 Paralel plakalı kondansatör metodu ile dielektrik sabitinin belirlenmesi ve sistemin eşdeğer devresi.

Denklem (3.11) ve (3.12)'ye göre, kompleks empedans, $Z^*(\omega)$ ve kompleks dielektrik fonksiyonu, $\varepsilon^*(\omega)$ arasındaki ilişki Denklem (3.13)'deki gibi elde edilir:

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega) = -\frac{j}{\omega C_0 Z^*(\omega)} \quad (3.13)$$

Denklem (3.13)'den de görülebileceği üzere empedans spektroskopisi ile malzemenin dielektrik özelliklerinin de belirlenmesi mümkündür.

Dielektrik sabitinin gerçek kısmı malzemenin kutuplanabilmesinin veya yük depolanmasının bir ölçüsünü temsil ederken; imajiner bileşeni ise iyonik iletim ya da kutuplanmadan kaynaklanan enerji kaybının ölçüsünü belirler.

3.5 Dielektrik Mekanizmalar ve Dielektrik Spektroskopisi

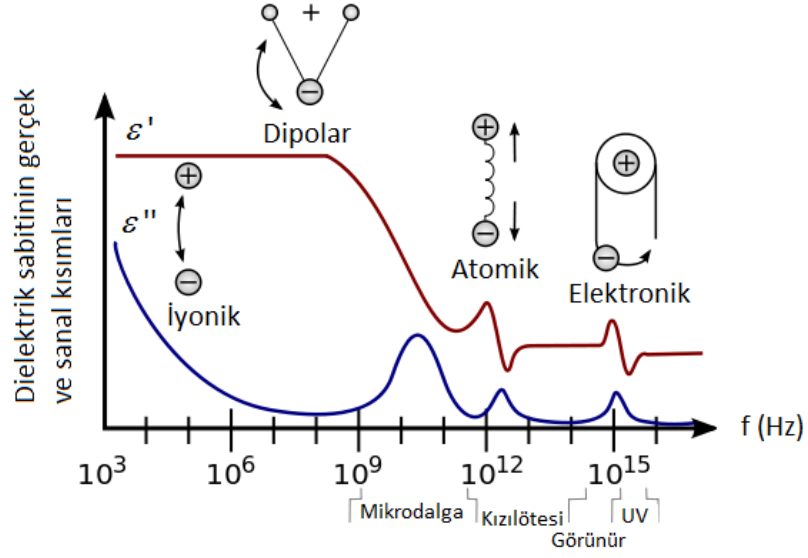
Bir malzemeye elektromanyetik dalga gönderildiğinde malzeme içindeki atomlar, moleküller, serbest yükler ve kusurlar konumlarını yeniden düzenlerler. Dışardan uygulanan bu Alana göre moleküllerin dinamik olarak polarizasyonlarını değiştirmelerine “relaksasyon” (gevşeme) denir. Malzemenin dış alana cevabı maddenin fazına ve örgü yapısına bağlıdır. Çoğu katı malzemedeki moleküller uygulanan alana karşılık gözle görülür derecede dönüş yapamazlar; dolayısıyla da sayısal olarak relaksasyon küçük değerlerde gözlenirken, elektriksel geçirgenlik de küçüktür. Maddenin kristallenme derecesi, daimi dipollerin varlığı, serbest yüklerin mobilitesi ve mevcut kusurların toplamı malzemenin dielektrik cevabına katkıda bulunurlar. Yüksek frekanslarda materyalin elektriksel cevabı uygulanan alanın gerisinde kalır ve bu durumda kayıp faktörünü de beraberinde getirir. Kayıp tanjantı ($tg\delta$) ise

$$tg\delta = D = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (3.14)$$

ile tanımlıdır. Çok düşük kayıplı malzemelerde $tg\delta \approx \delta$ olarak kabul edilebilir.

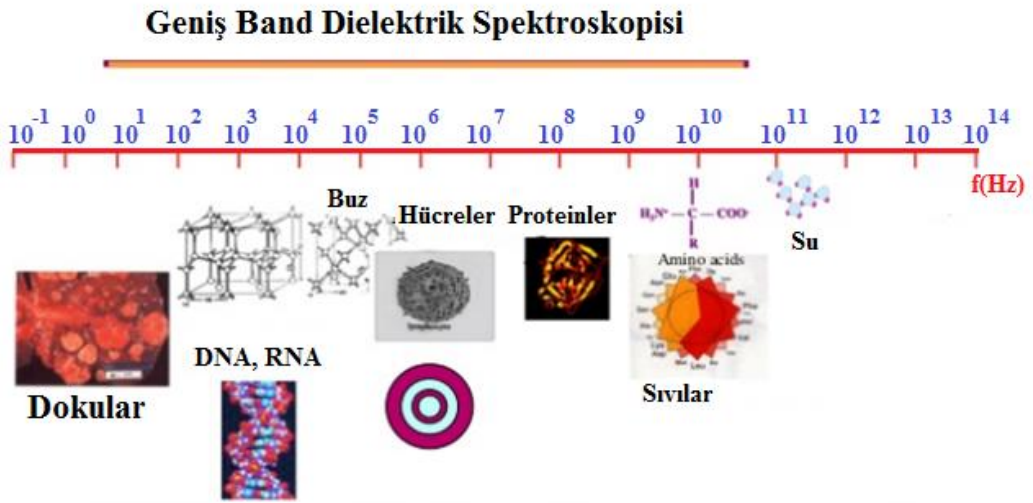
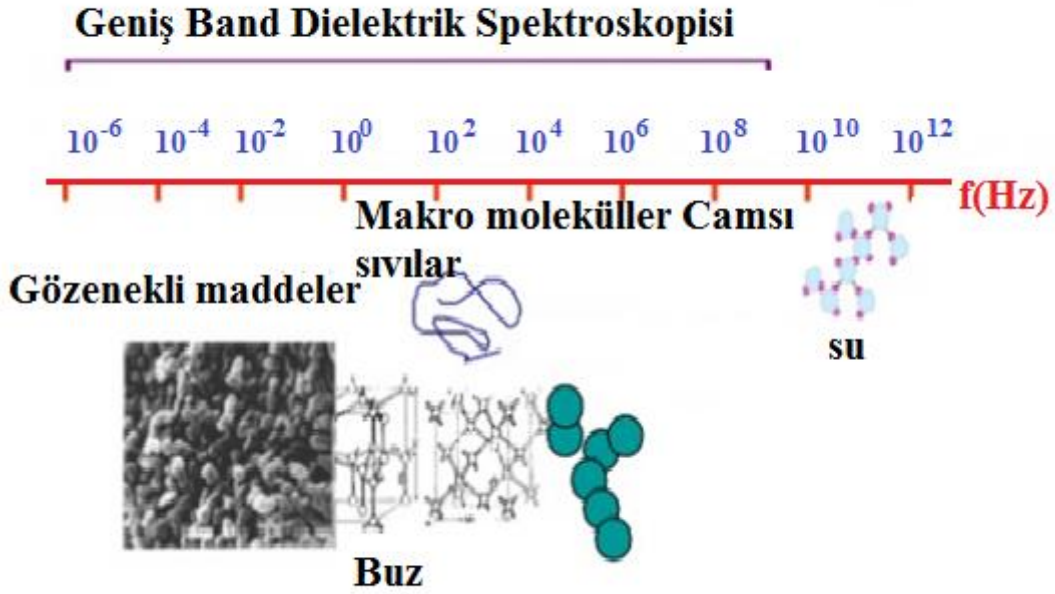
Bir malzemenin elektriksel geçirgenliğine katkıda bulunan pek çok dielektrik mekanizma veya polarizasyon etkisi vardır. Dielektrik malzeme elektrik alanla yerlerini değiştirebilen elektriksel yük taşıyıcılarına sahiptir. Malzemedeki yükler pozitif ve negatif yüklerin zıt yönde hareket etmesini sağlayacak şekilde elektrik alanı dengelemek için polarize olurlar.

Mikroskobik seviyede pek çok dielektrik mekanizma malzemenin dielektrik davranışına katkıda bulunabilir. Her bir dielektrik mekanizmanın karakteristik bir kesim (cut off) frekansı vardır. Frekans arttıkça, yavaş mekanizmalar yerini hızlı mekanizmalara terk ederler ve sanal dielektrik sabitine katkıda bulunurlar. Bu durum kendini sanal dielektrik sabitinde kritik bir frekansta tepe noktası (maksimum değer) olarak gösterir (Şekil 3.5). Her bir malzemenin her bir dielektrik mekanizma için farklı bir kesim frekansı mevcuttur.



Şekil 3. 5 Dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısım spektrumu [42].

Şekil 3.5'den de görüleceği üzere, dielektrik spektroskopisi sayesinde deneysel olarak farklı polarizasyon mekanizmalarını ayırt etmek mümkün olabilmektedir. Modern dielektrik spektroskopisinde ise -170°C 'den $+500^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar değişen geniş bir sıcaklık aralığında ve 10^{-6} - 10^{12} Hz gibi çok geniş bir frekans bandında ölçüm yapılabilmektedir. Ölçüm frekans bandı genişledikçe dielektrik spektroskopisi sayesinde incelenen sistemler de geniş bir yelpazede çeşitlilik göstermeye başlamıştır. Şekil 3.6'da modern dielektrik spektroskopisinde frekans bandı ve ona karşılık dielektrik özellikleri belirlenebilen sistemler temsili olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. 6 Geniş band dielektrik spektroskopisi ile ölçüm yapılan yoğun madde sistemleri ve biyolojik yapılar.

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi dört temel polarizasyon mekanizması mevcuttur:

- ✓ İyonik polarizasyon
- ✓ Dipolar polarizasyon
- ✓ Atomik polarizasyon
- ✓ Elektronik polarizasyon

- **İyonik Polarizasyon:** İyonik relaksasyon iyonik iletkenliği ve ara yüzey yük kutuplanmasını içerir. İyonik iletkenlik düşük frekanslarda (yaklaşık 10^4 Hz) baskın olduğundan, sadece kayıp oluştururlar. Ara yüzey relaksasyonu heterojen sistemlerde yük taşıyıcıları ara yüzeyde tuzaklanırlar.
- **Dipolar (Yönlenim) Polarizasyonu:** Bir molekül genel olarak atomların bir veya daha fazla elektronunu paylaşarak bir araya gelmesi suretiyle oluşur. Elektronların bu yeni düzenlenişi yük dağılımında bir dengesizliğe neden olur ki; bu da daimi bir dipol moment yaratır. Bu dipol momentler elektrik alan yokken rastgele yönlere yönelirken; elektrik alan uygulandığında elektrik dipole etkiyen tork sonucu elektrik dipoller elektrik alan yönünde dönerek sıralanırlar. Dipollerin yönelmesine eşlik eden sürtünme ise dielektrik kayıplara katkıda bulunur. Elektrik dipolün dönüşü genellikle mikrodalga bölgesindeki relaksasyon frekansında (yaklaşık 10^8 Hz) gerçekleşir ve bu frekansta dielektrik sabitinin hem gerçek ve sanal bileşeninde bir değişim gözlenir.
- **Atomik Polarizasyon:** Atomik polarizasyon atom çekirdeğinin dışardan uygulanan elektrik alanla yeniden yönelmesi sonucunda yaklaşık 10^{12} Hz frekans bölgesinde gözlenir.
- **Elektronik Polarizasyon:** Elektronik polarizasyon nötr atoma dışardan uygulanan elektrik alanla çekirdeği çevreleyen elektron yoğunluğunun çekirdeğe göre yer değiştirmesi sonucu 10^{16} Hz civarında gözlenir.

3.6 Relaksasyon Zamanı, τ

Relaksasyon zamanı, τ moleküllerin mobilitesinin bir ölçüsüdür. Relaksasyon zamanı elektrik alanda yerdeğiştirme yaparak sıralanmış bir sistemin, dipollerinin rastgele sıralandığı denge durumunun $1/e$ 'sine dönmesi için gerekli süre olarak tarif edilir.

Dielektrik relaksasyon zamanı, açısal relaksasyon frekansı ile R direnci ve C kapasitansı olan bir dielektrik malzeme için,

$$\omega_{max} \cdot \tau = \omega_{max} R C = 1 \quad (3.15)$$

ile tarif edilir. Maksimum açısal frekansı $\omega_c = 2\pi f_c$ olduğu düşünülürse, relaksasyon zamanı

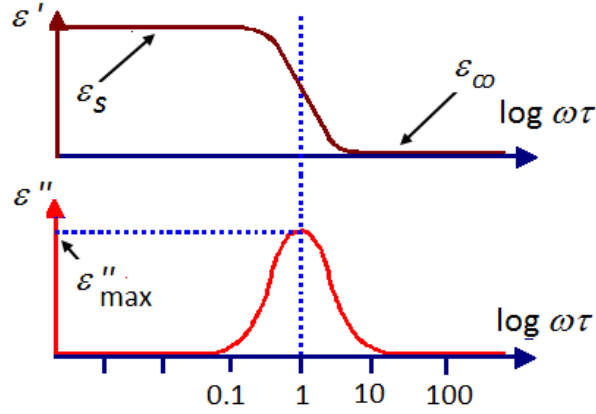
$$\tau = \frac{1}{(2\pi f_c)} = RC \quad (3.16)$$

ile ifade edilebilir.

Relaksasyon frekansı, malzemenin rezonans frekansına karşılık gelir. Elektrik alanın frekansı, relaksasyon frekansından küçük ise polarizasyonu kolaylıkla oluşur ve dipoller elektrik alanı izler. Bu durumda dielektrik kayıplar, ihmal edilecek kadar az olmaktadır. Elektrik alanın frekansı, relaksasyon frekansı bölgesine denk geldiğinde ise, polarizasyon elektrik alana uymakta zorlanır ve faz farkı artar. Bu durumda kayıplar maksimum olur. Frekans artmaya devam ederse, polarizasyon oluşmaz ve dielektrik sabiti hızla azalırken; dielektrik kayıp olmaz.

3.7 Debye Bağıntısı

Tek bir relaksasyon zamanı sabitine sahip malzemeler frekansa bağlı olarak dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısımlarının açısal frekansa bağlılıkları Debye bağıntısı uyarınca modellenirler.



Şekil 3. 7 Debye tipi dielektrik dispersiyon eğrisinin genel gösterimi.

Şekil 3.7'deki dielektrik sabitinin gerçek bileşeninin frekansla değişimi incelenecek olunursa, düşük frekanslarda dielektrik sabiti frekansa bağımsız iken, frekans arttırıldıkça frekansla azalmaktadır. Düşük frekans bölgesindeki frekansa bağımsız dielektrik sabitine statik anlamında ϵ_s yüksek frekans bölgesindeki değerine ise ϵ_∞ adı verilir. ϵ_s ve ϵ_∞ değerleri yardımıyla dielektrik güç ($\Delta\epsilon'$) hesaplanabilir:

$$\Delta\epsilon' = \epsilon_s - \epsilon_\infty \quad (3.17)$$

Dielektrik güç parametresinin sayısal değerine bakılarak malzemelerin ne ölçüde dielektrik özellik sergilediği belirlenebilir. Diğer taraftan, Şekil 3.7'deki dielektrik sabitinin sanal bileşeninin frekansla değişimi incelendiğinde relaksasyon zamanı (τ), ϵ''_{\max} değerine karşılık gelen $\omega\tau$ değeri yardımıyla belirlenebilir.

Kompleks dielektrik sabiti, Debye denklemi ile Denklem (3.18)'deki gibi verilir:

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau} = \epsilon_\infty + \frac{\Delta\epsilon'}{1 + j\omega\tau} \quad (3.18)$$

Denklem (3.18) ile verilen Debye denklemi ideal, tek bir relaksasyona sahip ve birbiriyle etkileşmeyen dipollerden oluşan bir sistemin alternatif bir elektrik alana dielektrik cevabını tarif etmektedir. Bu relaksasyon modeli ilk defa 1913 yılında Peter Debye tarafından önerilmiştir ve adını da buradan almaktadır [43].

Doğada çok az sayıda malzeme tek bir relaksasyon zamanına sahiptir Debye modeline uygun relaksasyon özellikleri sergiler. Bununla birlikte, Debye denklemine çeşitli modifikasyonlar yapılarak önerilmiş başka deneysel dielektrik relaksasyon

mekanizmaları da vardır: Cole-Cole denklemi, Cole-Davidson Denklemi, Havriliak Negami denklemi vb.

Cole-Cole denklemi genellikle dielektrik kayıp pikinin simetrik bir genişlikte olduğu sistemlere uygulanırken; Cole-Davidson denklemi dielektrik kayıp pikinin asimetrik bir genişlikte olduğu sistemlere uygulanmaktadır. Havriliak-Negami denklemi ise hem simetrik hem de asimetrik durumu birlikte ele alan bir yaklaşımdır.

Cole-Cole denklemi

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (3.19)$$

ile verilmektedir [44,45].

Denklem (3.19)'daki α relaksasyon genişliği veya dağılım parametresi olarak adlandırılır. Denklem (3.19)'dan de görüleceği üzere, Cole-Cole denklemi $\alpha=0$ olduğunda Debye denklemine indirgenir. Cole-Cole modeline göre α parametresi sıfır ile bir arasında değer almaktadır ve α 'nın alacağı değere göre farklı dielektrik spektral şekiller söz konusudur. Kompleks dielektrik sabitinin gerçek ve sanal bileşenleri Denklem (3.19)'dan aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

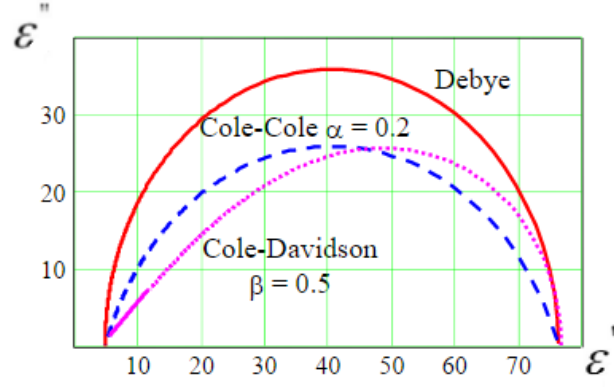
$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_\infty + (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty) \frac{1 + (\omega\tau_0)^{1-\alpha} \sin \frac{1}{2}\alpha\pi}{1 + 2(\omega\tau_0)^{1-\alpha} \sin \frac{1}{2}\alpha\pi + (\omega\tau_0)^{2(1-\alpha)}} \quad (3.20)$$

$$\varepsilon''(\omega) = (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty) \frac{(\omega\tau_0)^{1-\alpha} \cos \frac{1}{2}\alpha\pi}{1 + 2(\omega\tau_0)^{1-\alpha} \sin \frac{1}{2}\alpha\pi + (\omega\tau_0)^{2(1-\alpha)}} \quad (3.21)$$

Cole-Davidson denklemi ise

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{(1 + j\omega\tau)^\beta} \quad (3.22)$$

ile tanımlıdır. Denklem (3.22)'de β zaman sabitinin asimetrik dağılımını temsil eden dağılım parametresidir [46]. $\beta=0$ olduğunda Cole-Davidson denklemi yine Debye denklemine indirgenmektedir. Şekil 3. 8'de temsili olarak Debye, Cole-Cole ve Cole-Davidson modellerine ait $\varepsilon'' = f(\varepsilon')$ grafikleri verilmektedir. Debye modelinde $\varepsilon'' = f(\varepsilon')$ grafiği tam bir yarım çember iken, Cole-Cole ve Cole-Davidson modellerinde yarım çember durumu bozulmaktadır.



Şekil 3. 8 Debye, Cole-Cole ve Cole-Davidson modellerinin $\epsilon'' = f(\epsilon')$ grafiklerinde temsili gösterimi

Havriliak-Negami relaksasyon modeli ie yine Debye relaksasyon modelinin deneysel bir modifikasyonudur ve hem dielektrik dağılım eğrisindeki asimetriyi ve genişliği birlikte ele alır. Havriliak-Negami relaksasyon modeli bazı polimerlerin dielektrik relaksasyon mekanizmalarını açıklamakta oldukça başarılıdır [47,48]. Havriliak-Negami relaksasyon modeli α ve β dağılım parametrelerinin ikisini de içermektedir:

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{(1 + (j\omega\tau)^\alpha)^\beta} \quad (3.23)$$

Aslında tüm bu deneysel relaksasyon modelleri belirli koşullar altında ve belirli bir malzeme grubunun dielektrik relaksasyon mekanizmalarını açıklamakta başarılıdır.

4.1 Hücrelerin Hazırlanması, Homojenli Hücre Temini ve Hücrelerin Katkılandırması

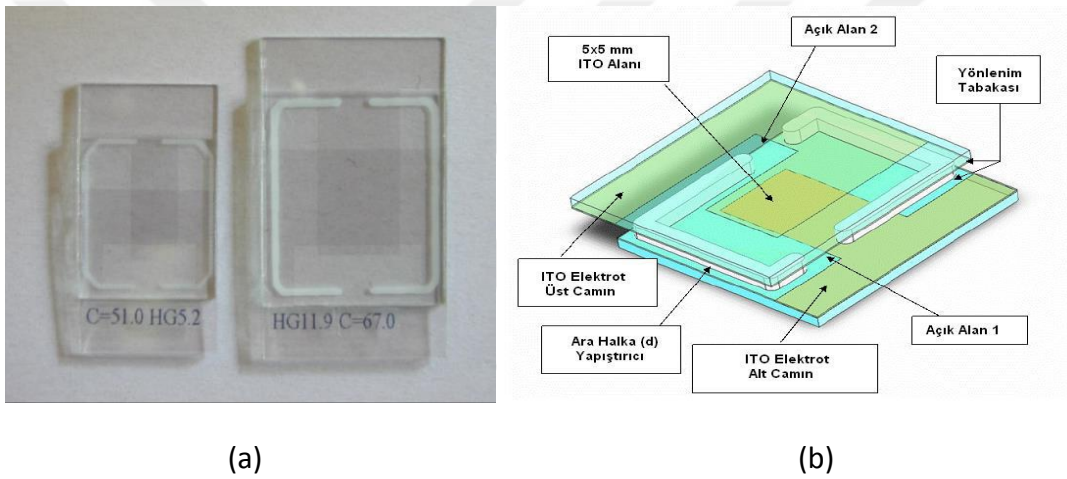
Elektro-optik ve manyetik ölçümler için sekiz adet 9.8 μ m kalınlığında test hücresi hazırlanmıştır. Oluşturulan hücrelerde NiPc oranı ağırlıkça 1%, 3% ve 5 % oranında katkılandırırken, PCBM (C_{61}) oranı 1 % de sabit tutulmuştur. Sıvı kristal ve katkı maddeleri oluşturulan karışımlarda homojen bir dağılımın sağlanması amacıyla tüm kompozit yapılar 50⁰C derecede ultrasonike su banyosunda yaklaşık bir gün boyunca karıştırılmıştır. Homojen yönelime sahip ITO (indiyum kalay oksit) kaplı sıvı kristal ölçüm hücreleri Polonyadaki AWAT firmasından hazır olarak temin edilmiştir. Elde edilen kompozit yapılar izotropik fazda kapilary (ince kılcal borular) yöntemi ile hücrelere doldurulmuştur. Bu sıvı kristal hücrelerde 1-) Saf E_{63} , 2-) $E_{63}+1\%NiPc$, 3-) $E_{63}+3\%NiPc$, 4-) $E_{63}+5\%NiPc$, 5-) $E_{63}+1\%C_{61}$, 6-) $E_{63}+1\%C_{61} +1\%NiPc$, 7-) $E_{63}+1\%C_{61}+3\%NiPc$ ve 8-) $E_{63}+1\%C_{61}+5\%NiPc$ olmak üzere toplamda sekiz farklı malzeme bulunmaktadır.

4.2 Sıvı Kristal Boş Hücrelerin Yapısı

Sıvı kristallerin doldurulduğu boş hücrelerde, ITO kaplı iki tabakanın arasında belli bir kalınlık korunmakta ve hücreye sıvı kristal dolumu için iki küçük açık alan bırakılmaktadır. Bu hücrelerin ITO kaplı yüzeyinde moleküler yönelimini sağlamak için düzenli mikro kanallar oluşturulmuştur. Hücrelerde iki tarafın açık bırakılması, boş

hücreye sıvı kristal malzemenin kılcal (capillary) kuvvet ile içeriye homojen olarak çekilmesini sağlamak içindir.

Bu deneysel çalışma için, farklı konsantrasyonlarda NiPc ve C₆₁ katkılandırılmış nematik sıvı kristallerin elektriksel ve optik özelliklerinin analizleri belirlemekte kullanılmak üzere 9.8 µm kalınlığında yatay (planar) yönelimli boş sıvı kristal hücreler kullanılmıştır. İlgili hücrelerin yapısı Şekil 4.1'de gösterildiği gibi olup, iki iletken cam tabakalarda (ITO) düzlemsel yönelimi sağlayacak biçimde kılcal yarıklar mevcuttur. Şekil 4.1b'da 3-boyutlu boş hücrenin şematik gösterimi yer almaktadır. Bu şekilde hazırlanmış hücreler, belli işlemler ile hazırlanmış sıvı kristal molekül çözeltisinin, istenilen moleküler yönelimi ile dolumunda kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 4. 1 Boş Sıvı Kristal hücre yapısı; a) Gerçek Görüntüsü. b) Şematik gösterimi[49].

4.3 Hücreler ve Yapıları

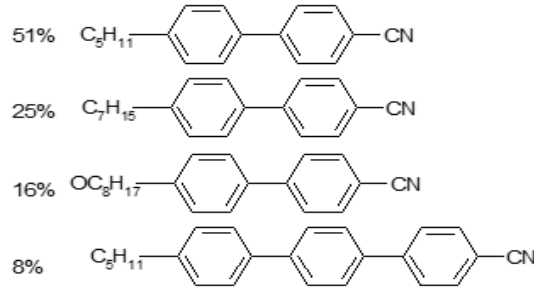
1-) Saf E₆₃, 2-) E₆₃+1%NiPc, 3-) E₆₃+3%NiPc, 4-) E₆₃+5%NiPc, 5-) E₆₃+1%C₆₁, 6-) E₆₃+1%C₆₁+1%NiPc, 7-) E₆₃+1%C₆₁+3%NiPc ve 8-) E₆₃+1%C₆₁+5%NiPc olmak üzere toplamda 8 adet ölçüm hücresi Şekil 4. 2'deki gibidir.



Şekil 4. 2 Saf E₆₃, NiPc+C₆₁ katkılı sıvı kristal hücrelerinin toplu görüntüsü.

4.3.1 E₆₃ Molekül Yapısı

E₆₃ kodlu nematik sıvı kristal Merck firmasından temin edilmiştir. Şekil 4.3'ten de görüleceği üzere E₆₃ kodlu sıvı kristal, dört farklı nematik sıvı kristalin karışımından (%51 K15(5CB), %25 K21(7CB), %16 M24(8OCB) ve %8 T15(5CT)) oluşmaktadır.



Şekil 4. 3 E₆₃ Saf maddenin molekül yapısı

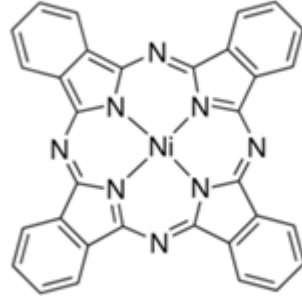
Saf E₆₃ sıvı kristal için 22 °C'de kimyasal yapısına ait faz geçişi sıcaklıkları, optiksel özellikleri, dielektrik anizotropi ve eşik voltaj V_{th} değerleri Çizelge 4. 1'de özetlenmiştir

Çizelge 4. 1 Saf E₆₃ sıvı kristal için kimyasal yapısına ait faz geçişi sıcaklıkları, optik özellikleri, dielektrik anizotropi ve V_{th} değerleri.

Kod	$T_e(^{\circ}C)$	$T_{Ni}(^{\circ}C)$	n_e	n_o	Δn	$K_{11}(pN)$	$\Delta\epsilon$	$V_{th}(V)$
E ₆₃	58	87	1.754	1.525	0.229	11.2-12.6	14.6	0.93-1.01

4.3.2 NiPc Molekül Yapısı

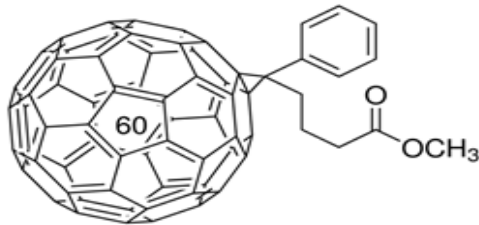
E₆₃ kodlu nematik sıvı kristali katkılandırmakta kullanılan ilk katkı maddesi olan Nikel(II) fitalosiyenin C₃₂H₁₆N₈Ni (NiPc), Sigma Aldirich'ten satın alınmıştır. Şekil 4.4'te ise NiPc'nin molekül şeması verilmektedir.



Şekil 4. 4 Nikel, (II) fitalosiyenin molekül yapısı

4.3.3 PCBM (C₆₁) Molekül Yapısı

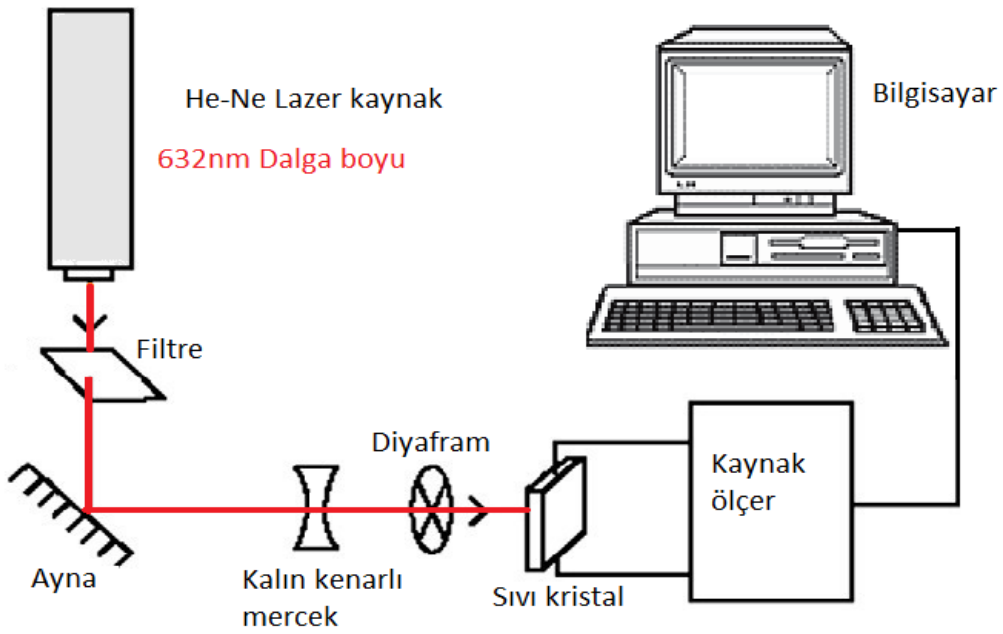
İkinci katkı malzemesi olarak seçilen %99 saflık derecesine sahip Fenil-C₆₁-Butirik-Asit-Metil Ester PCBM veya kısa adı C₆₁ Sigma Aldirich'ten satın alınmıştır. PCBM'in molekül yapısı ise şekil 4.5'te verilmektedir.



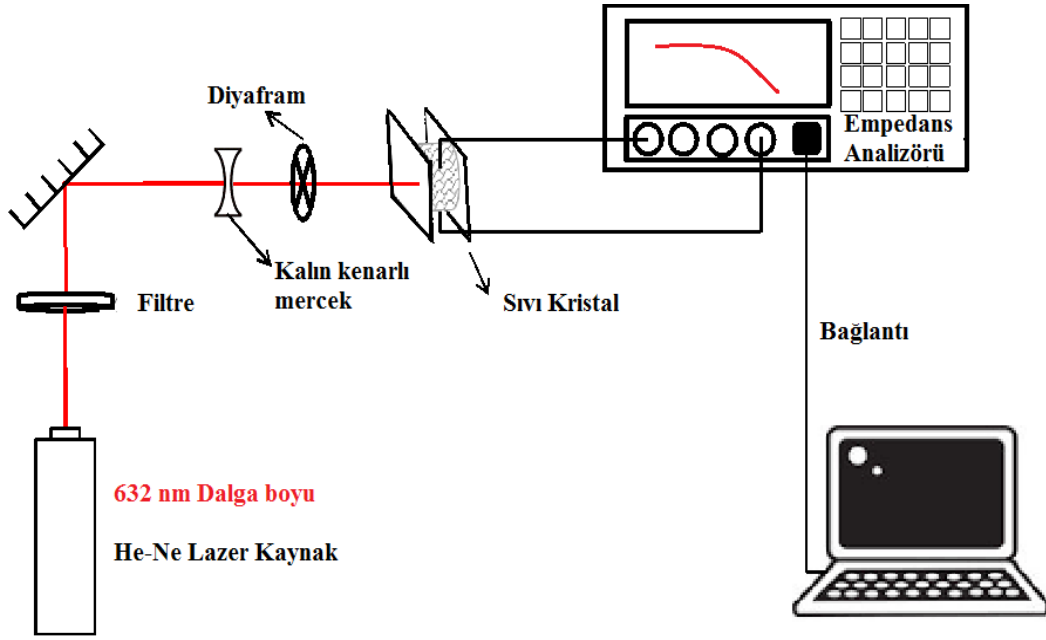
Şekil 4. 5 PCBM (C₆₁) molekül yapısı

4.4 Elektro-Optik Ölçüm Sistemi

Elektro-optik ölçümler için kurulan deneysel düzenek Şekil(4. 6)' da verilmiştir. 100 mW gücünde 632 nm dalga boyuna sahip He-Ne lazer ışık kaynağı olarak seçilmiştir. Akım voltaj ve foto iletkenlik ölçümlerinde Keithley 2400 source-meter kullanılmış, ölçümler hem karanlık hemde ışık altında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde lazer kaynağı önüne konulan filtre ile şiddet ayarı değiştirilirken, kullanılan ıraksak mercek ile de lazer demetinin genişletilerek; ışığın sıvı kristal hücrenin tüm yüzeyi üzerine düşmesi sağlanmıştır.



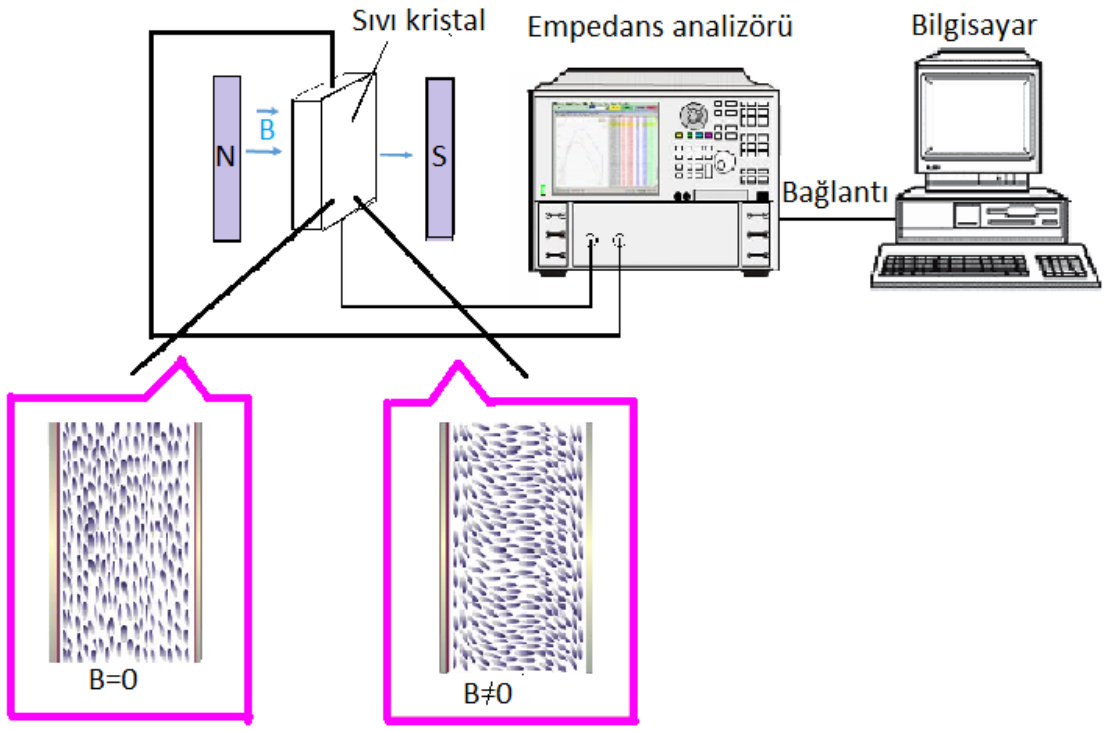
Şekil 4. 6 Elektro-optik ölçümler için kurulan deneysel Akım-Voltaj ölçüm düzeneği.



Şekil 4. 7 Elektro-optik ölçümler için kurulan deneysel Empedans ölçüm düzeneği Dielektrik ölçümleri için deneysel düzenek ise, şekil 4.7’de gösterilmiştir. Yine 632 nm dalga boyu uzunluğunda, Helyum-Neon lazer kaynak (0-100mW şiddetinde) filtre ve iraksak mercek kullanılmıştır. Dilelektrik ölçümler, Nova-Kontrol Empedans Analizör ile 100 Hz – 20MHz frekans aralığında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

4.5 Manyetik Alan Altında Elektriksel Ölçüm Sistemi

Hazırlanan sıvı kristallerin elektriksel özelliklerine manyetik alan etkisi ise, sıvı kristal hücrelere dik gelecek şekilde manyetik alan uygulanması ile oluşturulan düzenele ölçülmüştür. Bu deney düzeneğinde kullanılan elektromıknatis 1 Teslalık manyetik alan oluşturabilme özelliğinde olup ölçüm seti Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Bu ölçüm sisteminin laboratuvar ortamındaki görüntüsü ise Şekil 4.9’da da gösterilmektedir.



Şekil 4. 8 Manyetik alan altında elektriksel ölçüm düzeneği(Deney sistemine ait)

MANYETİK ALAN ALTINDA ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM DÜZENİĞİ



a)Manyetik alan

b) Güç kaynağı



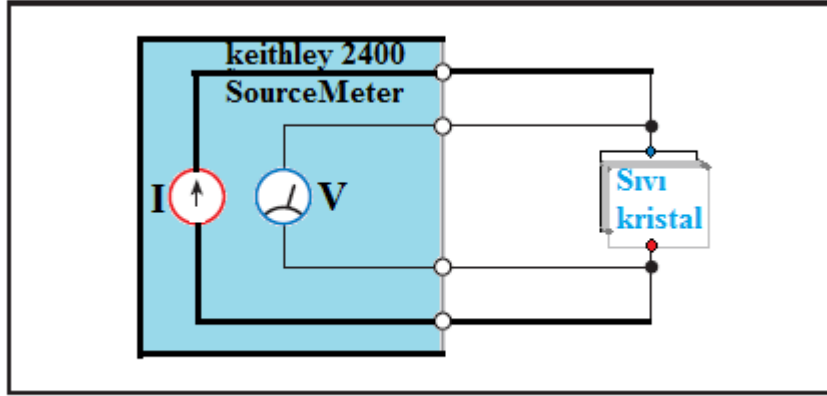
c) Empedans analizörü

d) Bilgisayar kontrollü empedans ve I-V ölçümü

Şekil 4. 9 Manyetik alan altında elektriksel ölçüm düzeniği(Deney ortamına ait)

4.6 Sıvı Kristal Akım-Voltaj (I-V) Ölçüm Düzenegi

İçi saf E_{63} ve katkılı E_{63} ile doldurulmuş sıvı kristal hücrelerin akım-voltaj (I-V) değışimleri Şekil 4.10'daki ölçüm sistemi yardımıyla belirlenmiştir. Karalık ve lazer ışığı altındaki I-V ölçümleri, Keithley 2400 SourceMeter ile gerçekleştirilmiştir.

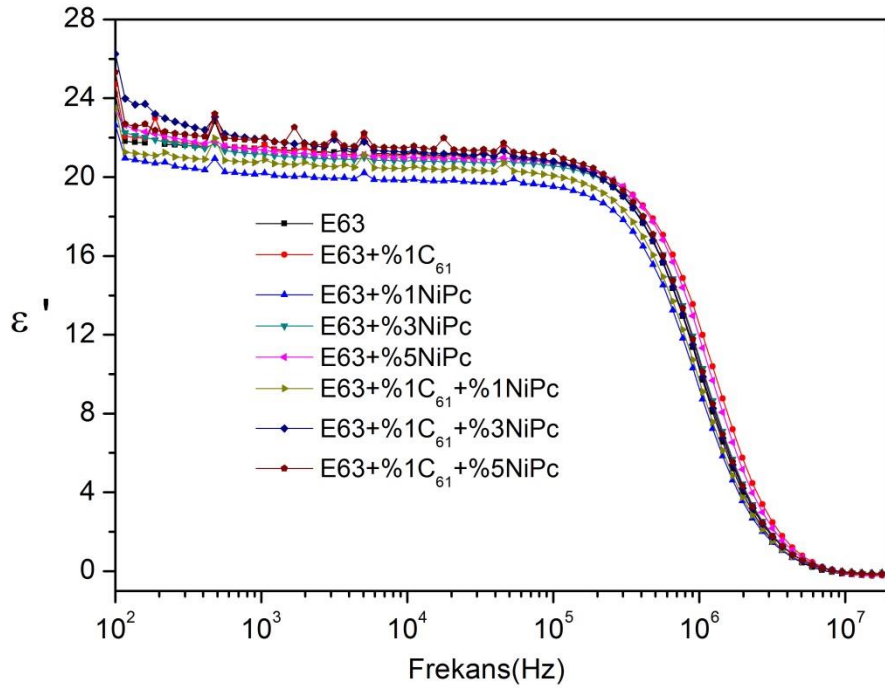


Şekil 4. 10 Dolu Sıvı Kristal hücrenin Akım-Voltaj (I-V) düzenegi

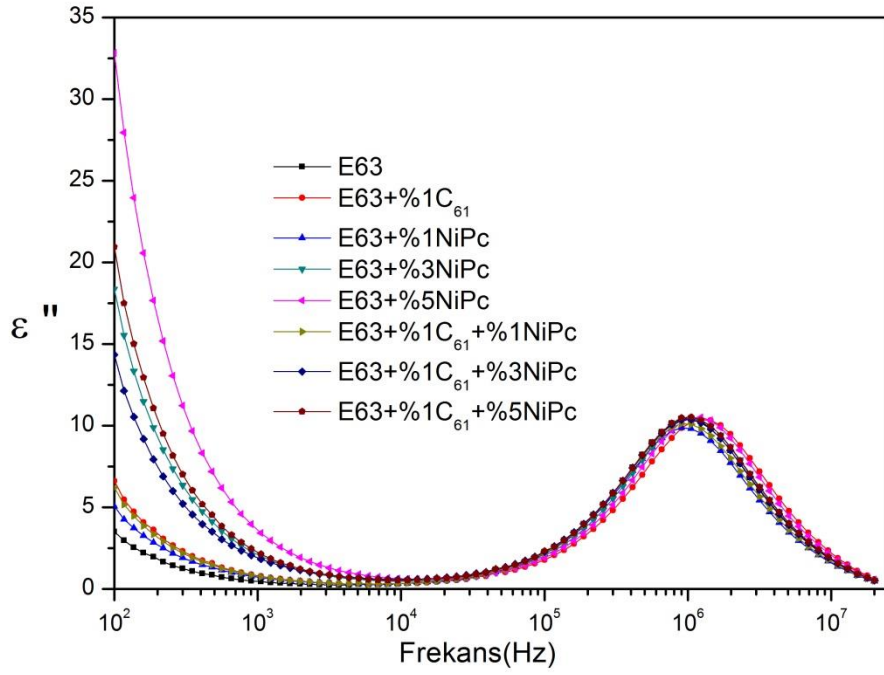
4.7 Saf E_{63} ve $E_{63}+NiPc+C_{61}$ Katkılı Numunelerin Dielektrik Parametrelerle Lazer Işığın Etkisi

4.7.1 Frekansa Bağlı Ölçümler

100Hz-10MHz frekans aralığında saf E_{63} , $E_{63}+1C_{61}$, $E_{63}+1NiPc$, $E_{63}+3NiPc$, $E_{63}+5NiPc$, $E_{63}+1C_{61}+1NiPc$, $E_{63}+1C_{61}+3NiPc$ ve $E_{63}+1C_{61}+5NiPc$ katkılı numunelerin dielektrik sabitlerinin gerçek ve sanal kısımlarının frekansla değışimleri sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmektedir.

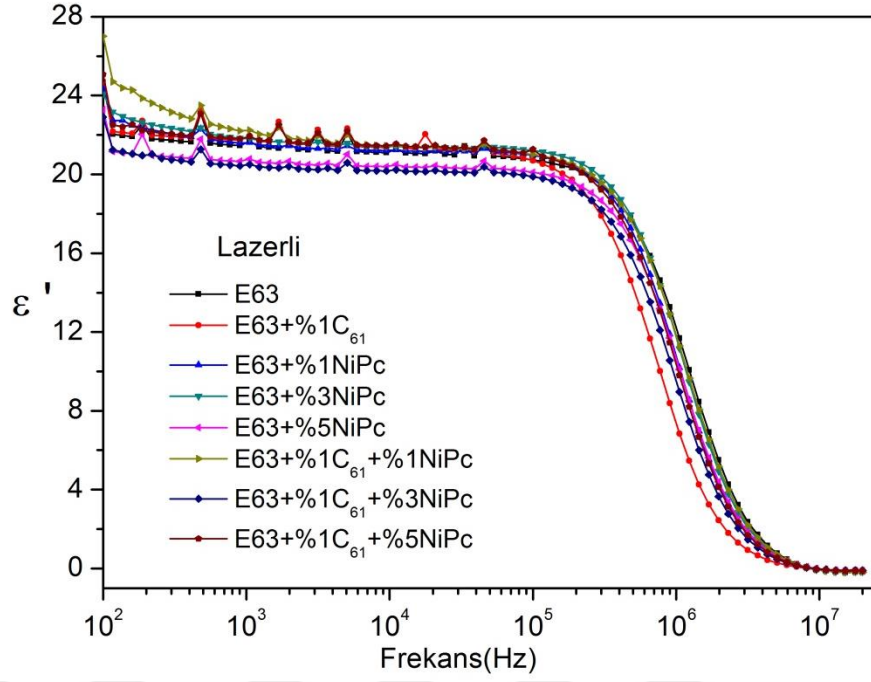


Şekil 4. 11 Saf E₆₃, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc ve E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkıli numunelerin dielektrik sabitlerinin gerçek kısımlarının (ϵ') frekans(f)'a bağlı değişimleri.

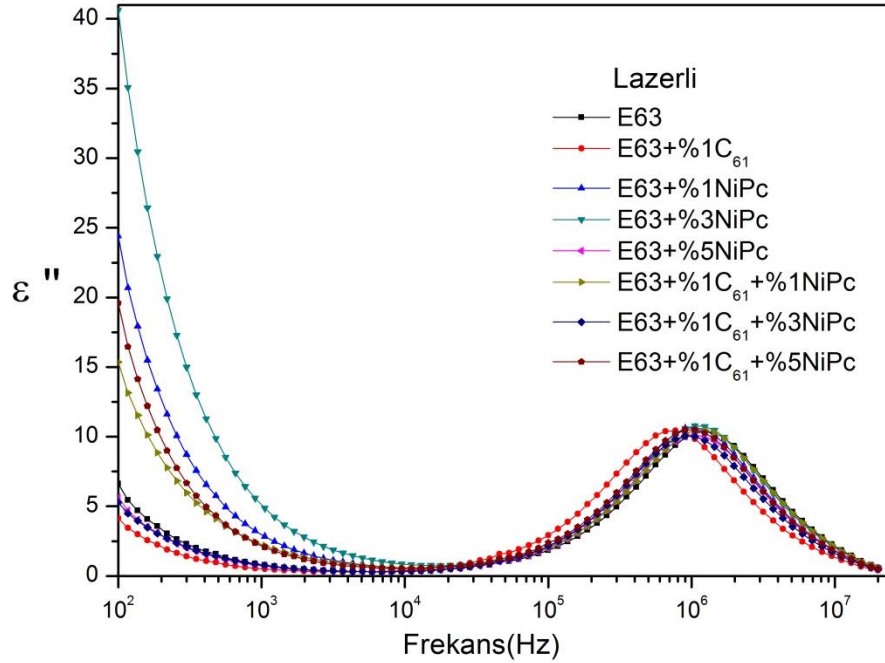


Şekil 4. 12 Saf E₆₃, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc ve E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkılı numunelerin dielektrik sabitlerinin sanal kısımlarının (ϵ'') frekans(f)'a bağlı değişimleri.

Şekil 4. 7'deki düzenek yardımıyla ise, 100 Hz-10MHz frekans aralığında 100mW şiddetinde 632nm dalga boylu lazer ışığı etkisinde Saf E₆₃, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc ve E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkılı numunelerin dielektrik sabitlerinin gerçek ve sanal kısımlarının frekansla değişimleri sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmektedir.



Şekil 4. 13 Lazer ışığı etkisi altında (632nm) saf E₆₃, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc ve E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkıli numunelerin dielektrik sabitlerinin gerçek kısımlarının (ϵ') frekans(f)'a bağlı değişimleri.



Şekil 4. 14 Lazerli Saf E₆₃, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkıli numunelerin Dielektrik sabitlerinin sanal kısımlarının(ϵ''), frekans(f)'a bağlı değişimleri

Şekil 4.11 ve Şekil 4.13'deki veriler yardımıyla, ilgili numunelerin dielektrik güç (strength) parametreleri Denklem 3.17'de verilen $\Delta\varepsilon' = \varepsilon_s - \varepsilon_\infty$ ile hesaplanmıştır. Kritik frekansları (relaksasyon frekansları) ise Şekil 4.12 ve Şekil 4.14'den tespit edilmiş olup, tüm sonuçlar Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

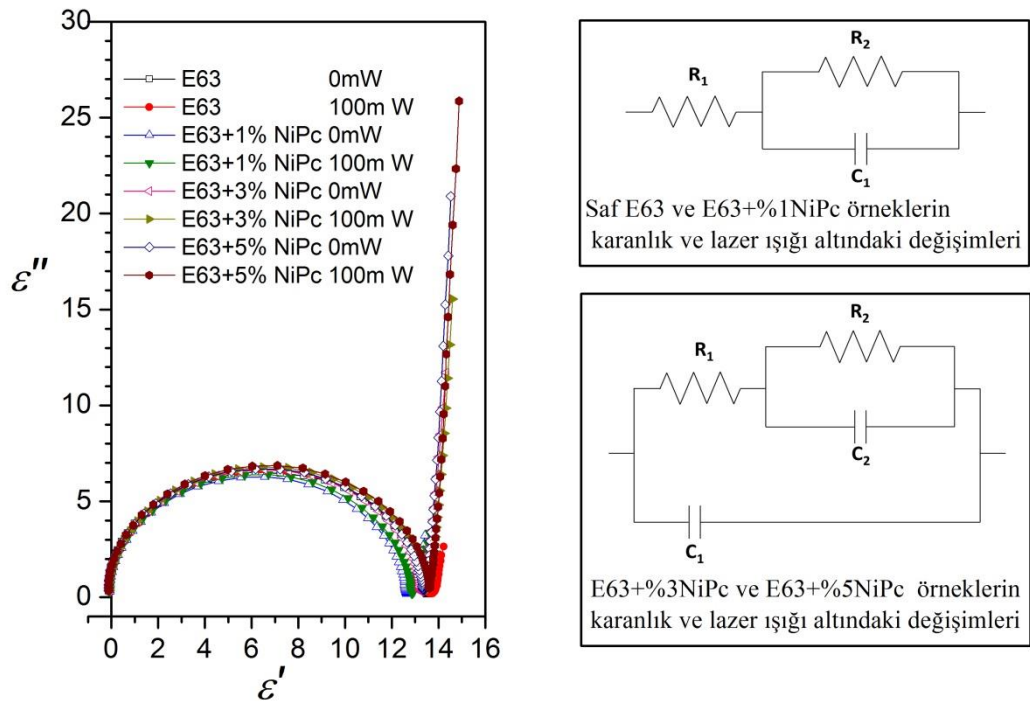
Çizelge 4. 2 Saf E₆₃, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkılı numunelerin dielektrik güç ve kritik frekans değerlerine lazer ışığının etkisi.

Numuneler	Lazersiz(0mW)	Lazerli(100mW)	Kritik Frekans, f _c (Hz)	
	$\Delta\varepsilon_{\text{Lazersiz}}$	$\Delta\varepsilon_{\text{Lazerli}}$	f _{c(Lazersiz)} (MHz)	f _{c(Lazerli)} (MHz)
Saf E ₆₃	24.34	24.84	1.053	1.055
E ₆₃ +%1C ₆₁	24.93	24.61	1.232	1.234
E ₆₃ +%1NiPc	22.73	24.43	0.901	0.899
E ₆₃ +%3NiPc	23.66	24.23	1.052	1.055
E ₆₃ +%5NiPc	23.57	23.39	1.233	1.234
E ₆₃ +%1C ₆₁ +%1NiPc	23.58	27.19	0.897	0.902
E ₆₃ +%1C ₆₁ +%3NiPc	26.38	22.99	1.056	1.057
E ₆₃ +%1C ₆₁ +%5NiPc	25.46	25.20	1.056	1.053

Çizelge 4.2'deki sonuçlar değerlendirildiğinde, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc ve E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc numuneler hariç, katkıların dielektrik gücü düşürerek malzemenin dielektrik özelliklerini iyileştirdiği yorumu yapılabilir. Bununla birlikte, %5 NiPc katkılı, %1C₆₁+%3NiPc ve %1C₆₁+%5NiPc katkılı numuneler hariç, relaksasyon frekanslarının değişik katkı yüzdelerinde düşmüş olması, moleküler yönelimin daha düşük frekanslarda elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca lazer ışığı ile E₆₃+%1NiPc

numusunda lazer ışığı ile çalışılan tüm numuneler arasındaki en düşük relaksasyon frekansı değeri elde edilmiştir.

İlgili numunelerin Cole-Cole grafikleri ($\epsilon''=f(\epsilon')$) ve eşdeğer devre analizleri ise lazersiz ve 100mW lazer ışığı etkisi altında ayrı ayrı incelenmiştir. Tüm sıvı kristal numunelerin karanlıkta (0mW) ve lazer ışığı altında (100mW) Cole-Cole değişimleri ve eşdeğer devre analizleri Şekil 4.15'de verilmektedir.

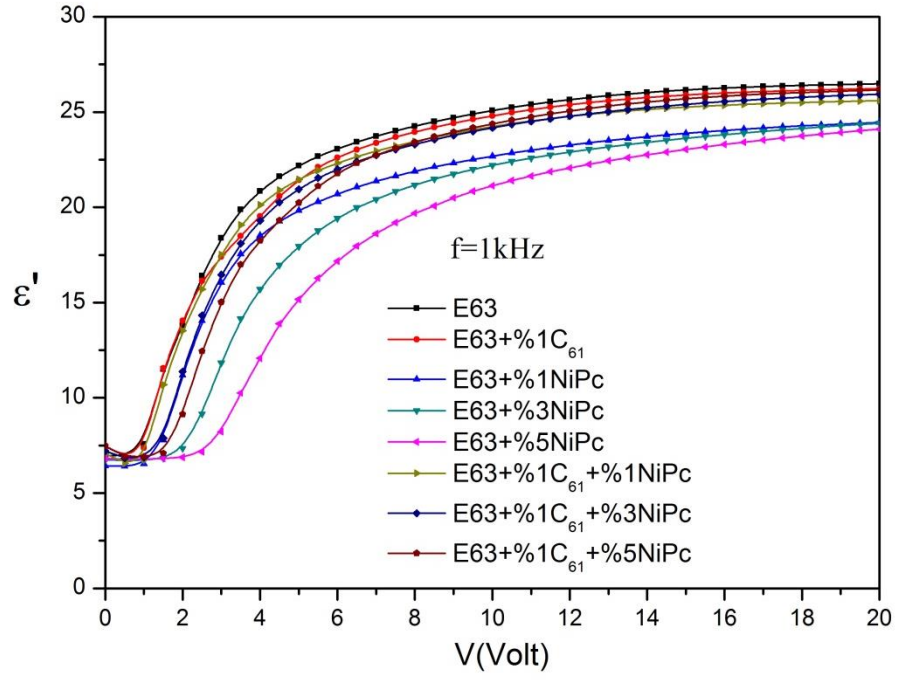


Şekil 4. 15 Karanlık ortam ve lazer ışığı koşullarında, sıvı kristallerin Cole-Cole eğrileri ve eş değer devre analizleri.

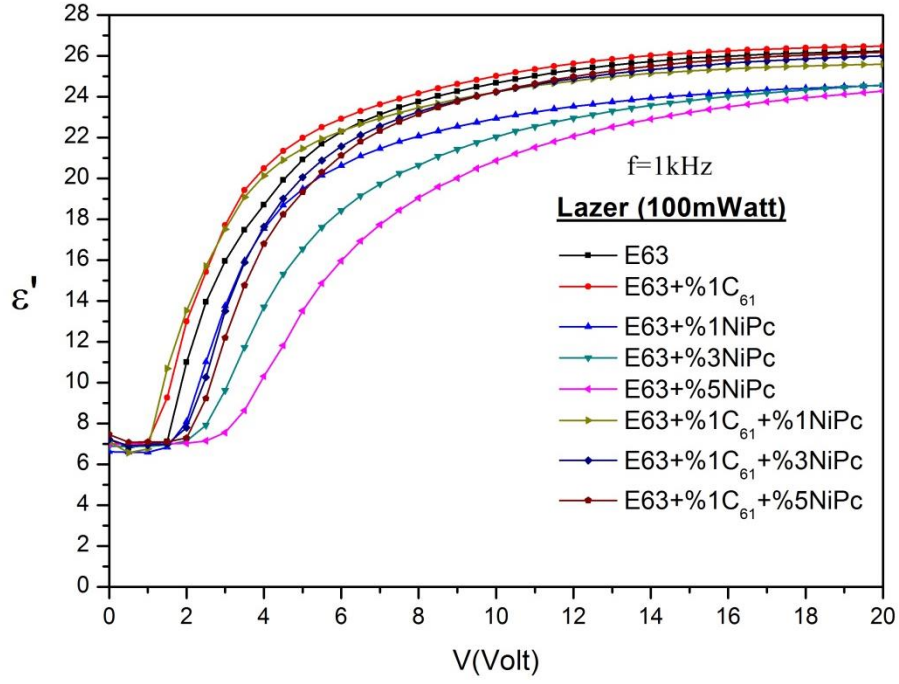
Şekil 4.15'te verilen Cole-Cole eğrilerinden, saf E_{63} 'ün %1NiPc katkılı numunenin eşdeğer devresi ile %3NiPc ve %5NiPc katkılı numunelerin eşdeğer devrelerin farklı olduğu görülmektedir.

4.7.2 Saf E₆₃ ve E₆₃+NiPc+C₆₁ Katkılı Numunelerin Lazer Işığın Etkisi Altında Gerilime Bağlı Olarak Dielektrik Parametrelerinin Değişimi

Saf ve NiPc katkılı sıvı kristallerin dielektrik sabitlerinin dışardan uygulana gerilime göre değişimleri karanlıkta ve lazer ışığı (100mW) altında sırasıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmektedir.



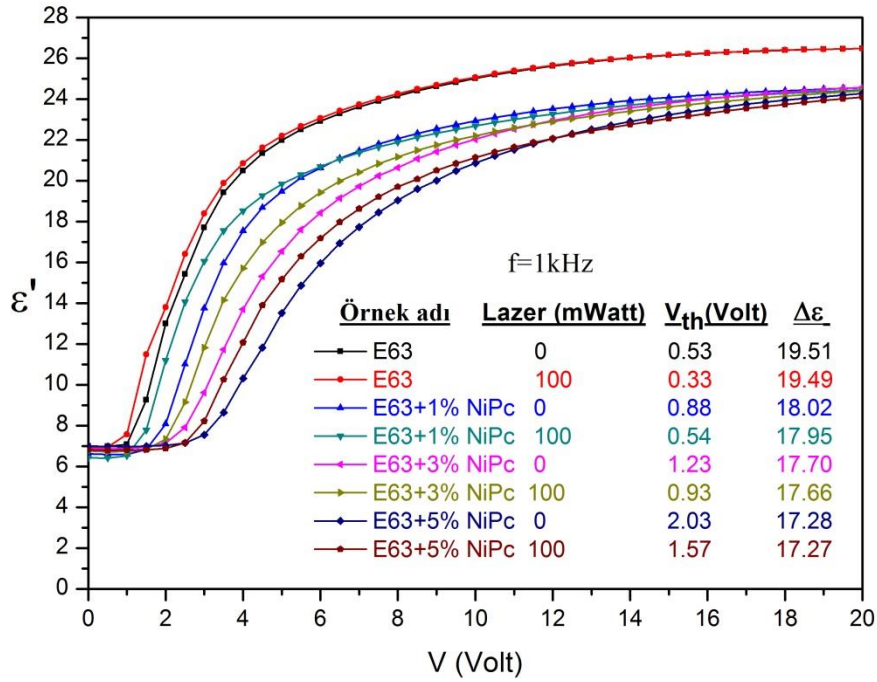
Şekil 4. 16 Saf E₆₃, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkılı numunelerin $f=1\text{kHz}$ 'de ϵ' -V değişimleri.



Şekil 4. 17 Saf E₆₃, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkıli numunelerin Lazer(100mWatt) ışığı altında f=1kHz'de ε'-V değişimleri.

Lazer ışığının eşik voltajı (V_{th}) ve dielektirik anizotropi ($\Delta\epsilon$) üzerine etkisini daha iyi vurgulayabilmek için, sadece saf E₆₃ ve NiPc katkıli E₆₃ sıvı kristallerin eşik voltajı ve dielektirik anizotropi değerleri Denklem 2.3'de verilen $\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp}$ ifade yardımıyla hesaplanmıştır ve ilgili değerler Şekil 4. 18'de verilmiştir. Zira C₆₁ katkıli, sıvı kristallerde katkının ilgili parametreler etkisinin az olduğu tespit edilmiştir.

Karanlık ve lazer ışığı altında ilgili numunelerin 1 kHz frekansındaki ε'-V değişimleri incelenecek olunursa, düşük voltajlar için bütün sıvı kristaller numunelerin dielektirik sabitinin gerçek bileşenlerinin hemen hemen sabit olduğu görülmektedir. Eşik voltaj (V_{th}) adı verilen ve her numune için farklı bir votaj değerinden sonra ε' değerleri artmaktadır. Buna bağlı olarak, Şekil 4.18'de gösterildiği gibi sıvı kristallerin moleküler yönelmesi doyuma ulaşmaktadır.



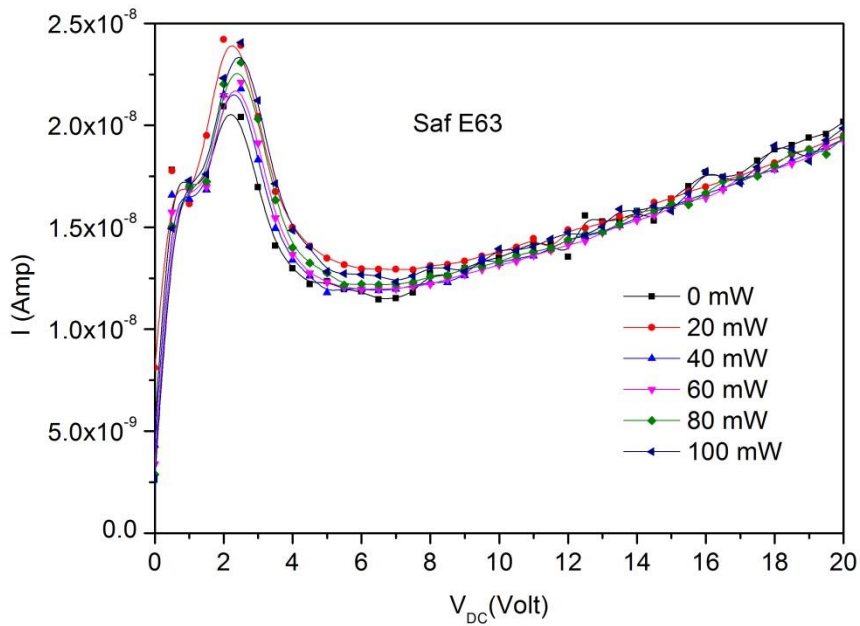
Şekil 4. 18 f=1kHz'de, lazerli(100mWatt) ve lazersiz(0mWatt) durumda ϵ' -V değişimleri, eşik voltaj ve dielektrik anizotropi değerleri.

Şekil 4.18'deki Tablo değerlerine göre, NiPc katkılama ile V_{th} artmakta, lazer ışığı uygulanması ile birlikte ise azalmaktadır. Dolayısıyla, lazer uygulamasının her bir numune için moleküler yönelimi daha düşük bir elektrik alan uygulaması ile elde edilmesine olanak sağladığı ve teknolojik uygulamalar için bir avantaj getirdiği görülmektedir. Dielektrik anizotropi ise NiPc katkılmasıyla azalırken lazer ışığı uygulamasıyla dielektrik anizotropinin daha da azaldığı görülmektedir. Hem dielektrik anizotropinin hem de eşik voltajın lazer ışığı etkisi ile düşmesi her zaman birlikte gözlenebilir bir durum değildir. Lazer ışığı etkisiyle numunelerdeki moleküllerin düzeninde bir değişiklik yaratılmış olup; sıvı kristalin moleküler yönelimini ifade eden değişim olma olasılığı oldukça yüksektir [50]. Bu değişimine bağlı olarak, molekülleri yönlendirmek için gereken enerjide de bir azalma söz konusu olup, eşik voltaj değerlerinde de bir düşüş kaydedilmiştir.

Ayrıca $\Delta\epsilon'$ nin değeri katkı olarak kullanılan moleküllere bağlı olarak da büyük ölçüde değiştirilebilir. Bu olgu ise literatürde "Misafir-ev sahibi"(guest-host) etkisi olarak bakılır [51].

4.7.3 Saf E₆₃ ve E₆₃+NiPc+C₆₁ Katkılı Numunelerin Akım- Gerilim (I-V) Ölçümleri

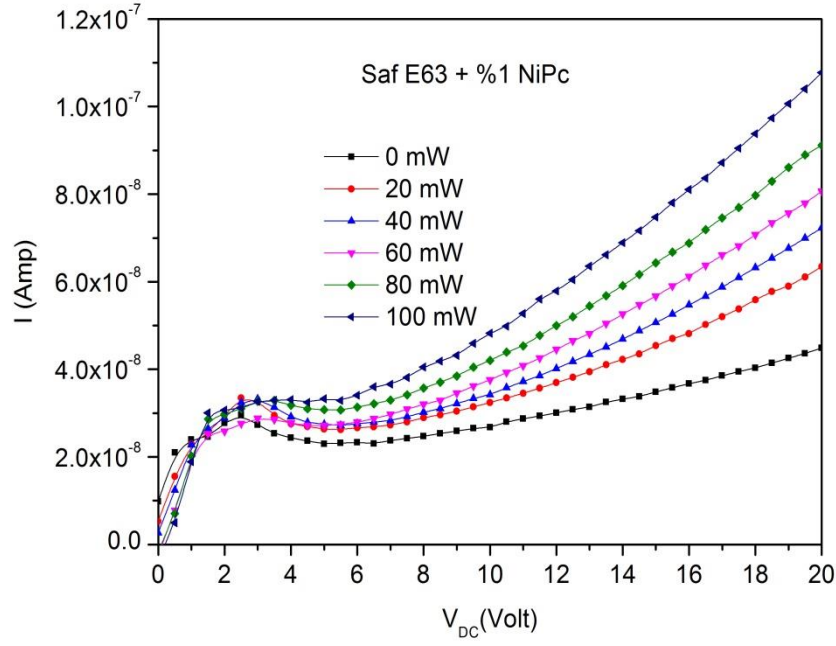
Akım-voltaj ölçümleri için Şekil 4. 6'da verilen deneysel düzenek kullanılmıştır. 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası değişen şiddette lazer ışığı saf E₆₃, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc, E₆₃+%5NiPc, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc ve E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc katkıli numuneler için akım-voltaj (I-V) değişimleri sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmektedir.



Şekil 4. 19 Nematik saf E₆₃, 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Voltaj (I-V) özellikleri.

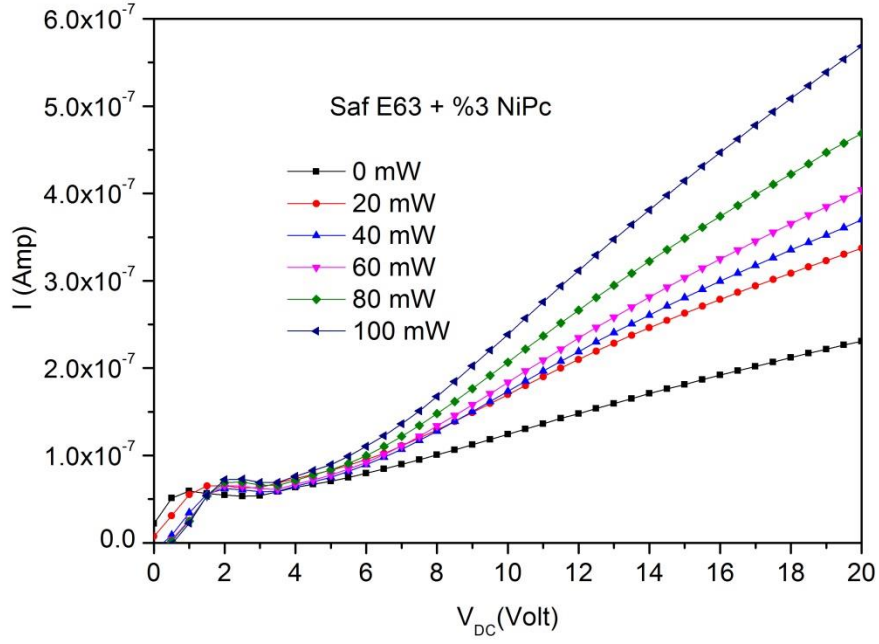
Şekil 4. 19'dan da görüleceği üzere lazer ışık şiddeti 0-100mW arasında hangi değerleri alırsa alsın saf E₆₃ sıvı kristali VCNR (voltaj kontrollü negatif direnç) (Bakınız Ek-1) davranışı sergilemektedir. Akım-voltaj değişimde kendini lineer olmayan ya da başka bir deyişle Ohm Kanunu'na uymayan bir davranışla karakterize eden negatif direnç kavramının elektronik uygulamalarda önemli bir yeri vardır.

Şekil 4.20'de ise E₆₃+%1NiPc katkıli numunenin lazer ışığı altında Akım-Voltaj grafiği verilmektedir.



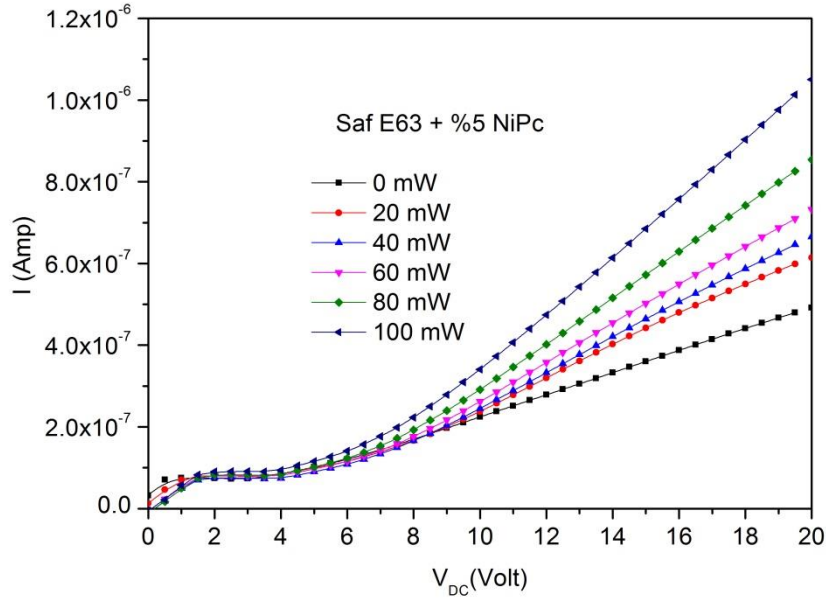
Şekil 4. 20 E₆₃+%1NiPc, 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Voltaj (I-V) özellikleri.

Şekil 4.20'ye göre %1 oranında NiPc katkılı E₆₃'de VCNR etkisi lazer ışığı 80 mW ve üzerinde olduğu koşullarda yok olmaktadır. Bununla birlikte E₆₃+%1NiPc numunesinde lazer ışığı (0-60mW) aralığındadeğişirken; 0-3V arasında akımın arttığı, 3-6V arasında ise akımın azda olsa azaldığı ve 6V'dan sonra da akımın sürekli arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 21 E₆₃+%3NiPc, 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Voltaj (I-V) özellikleri.

Şekil 4.21'de verilen E₆₃+%3NiPc katkılı numunenin ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Voltaj değişimine bakılacak olunursa E₆₃+%3NiPc numunenin sadece 0-40mW lazer uygulaması altında VCNR davranışı sergilediği gözlenmiştir. Lazer ışığı şiddeti 60mW'a ulaştığında ise VCNR etkisi ortadan kalkmaktadır.



Şekil 4. 22 E₆₃+%5NiPc, 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında Akım-Volt (I-V) özellikleri.

E₆₃+%5NiPc katkılı numunenin, 632 nm dalga boyu ve 0-100 mW arası şiddette lazer ışığı altında elde edilen Akım-Voltaj değişimi (Şekil 4.22) incelenecek olunursa, %5NiPc katkısında ister karanlıkta ister lazer ışığı altında VCNR etkisinin tamamiyle yok olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, NiPc katkılı numunelere ait karanlık ortamdaki I-V eğirileri incelendiğinde NiPc katkısının akımın şiddetini arttırdığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, lazer ışığı altında ise ışıkla uyarılmış elektronların NiPc'den sıvı kristale geçişi ile yük taşıyıcı sayısının artışına bağlı olarak akım değerleri artmıştır.

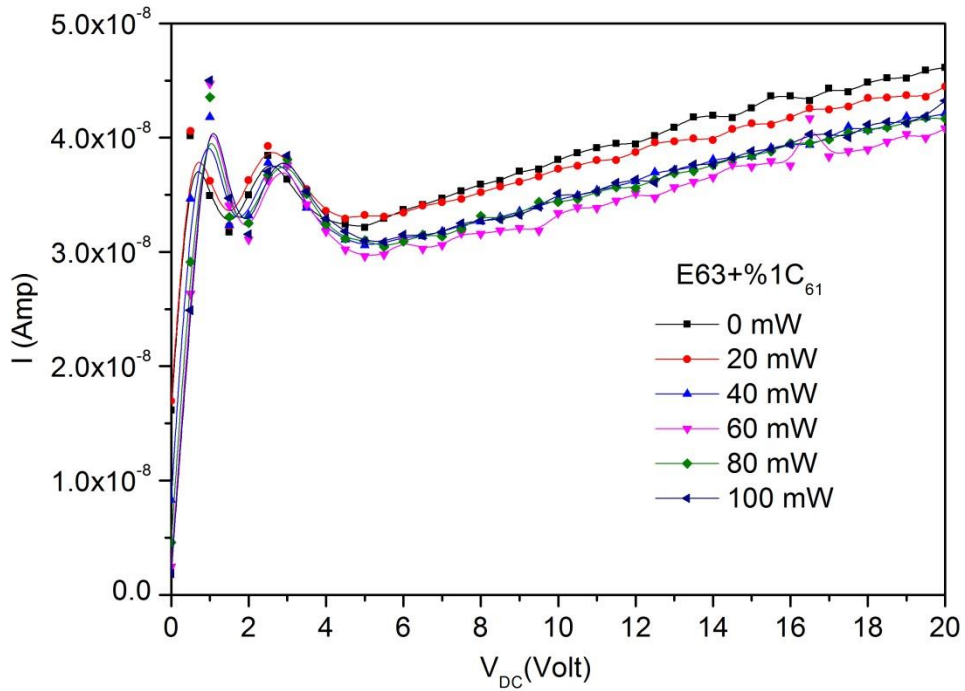
NiPc katkılı sıvı kristal kompozitlerde karanlık ve lazer ışığı altında ölçülen değerler akım değerleri arasındaki bu kayda değer artış, ilgili kompozitlerin lazer ışığı sensörü olarak kullanılabileceği konusunda ümit vadetmektedir.

Bu bağlamda karanlık ve 100mW şiddetindeki lazer ışığı altında seçilmiş bazı voltajlardaki akım değişiklikleri Çizelge 4.3 'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. 3 %1, %3 ve %5 NiPc katkılandırılmış nematik sıvı kristal kompozitlerin karanlıkta 0mW ve 100 mW şiddetindeki lazer ışığı altında, 12V, 16V ve 20V gerilimlerindeki akım değerleri.

Sıvı kristal Örnekleri	Karanlık ile Lazer Işığı	$V_{dc}=12\text{ V}$	$V_{dc}=16\text{ V}$	$V_{dc}=20\text{ V}$
$E_{63}+1\% \text{ NiPc}$	Karanlık	$3.00 \times 10^{-8}\text{ A}$	$3.68 \times 10^{-8}\text{ A}$	$4.468 \times 10^{-8}\text{ A}$
	100mW	$5.78 \times 10^{-8}\text{ A}$	$8.10 \times 10^{-8}\text{ A}$	$1.080 \times 10^{-7}\text{ A}$
$E_{63}+3\% \text{ NiPc}$	Karanlık	$1.45 \times 10^{-7}\text{ A}$	$1.89 \times 10^{-7}\text{ A}$	$2.287 \times 10^{-7}\text{ A}$
	100mW	$3.11 \times 10^{-7}\text{ A}$	$4.46 \times 10^{-7}\text{ A}$	$5.716 \times 10^{-7}\text{ A}$
$E_{63}+5\% \text{ NiPc}$	Karanlık	$1.47 \times 10^{-7}\text{ A}$	$1.92 \times 10^{-7}\text{ A}$	$4.834 \times 10^{-7}\text{ A}$
	100mW	$3.11 \times 10^{-7}\text{ A}$	$4.46 \times 10^{-7}\text{ A}$	$1.050 \times 10^{-6}\text{ A}$

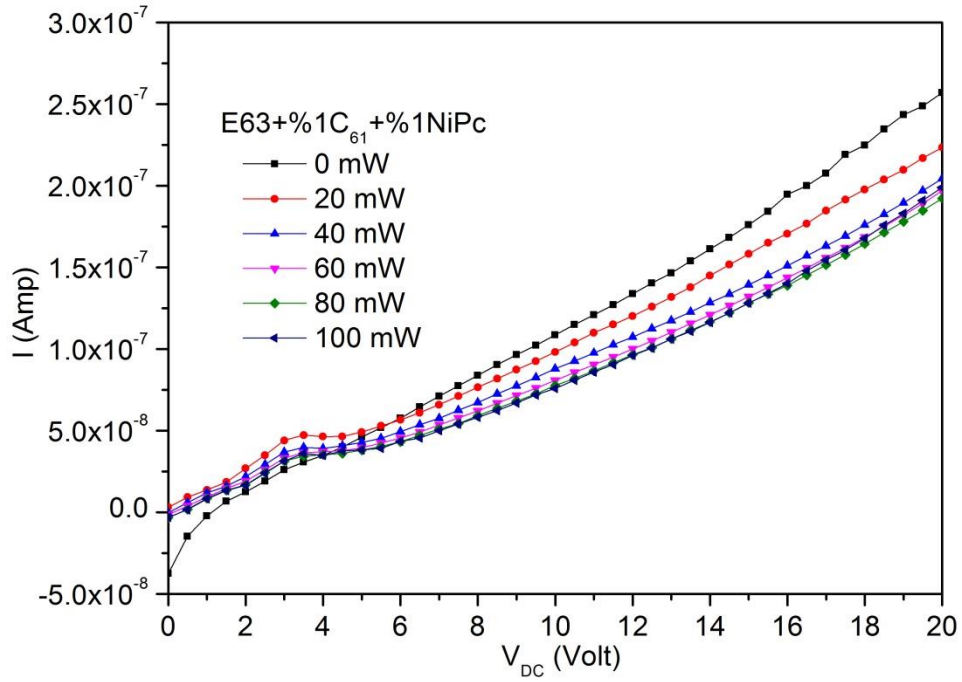
$E_{63}+\%1C_{61}$ katkılı numunenin 0-100 mW arası güçte 632 nm dalga boylu lazer ışığı altındaki Akım-Voltaj grafiği Şekil 4.23'de görülmektedir.



Şekil 4. 23 $E_{63}+\%1C_{61}$, numunesinin karanlıkta ve 0-100 mW güç aralığında değişen lazer ışığı altındaki Akım-Voltaj (I-V) özellikleri.

Şekil 4.23'den de görüleceği üzere, özellikle 7V'un üzerindeki gerilim değerlerinde lazer ışığının şiddeti ne olursa olsun, lazer uygulamasının $E_{63}+\%1C_{61}$ numunesinin akım değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir. Bununla birlikte düşük potansiyel bölgesinde yine hem aydınlıkta hem de karanlıkta VCNR etkisi vardır.

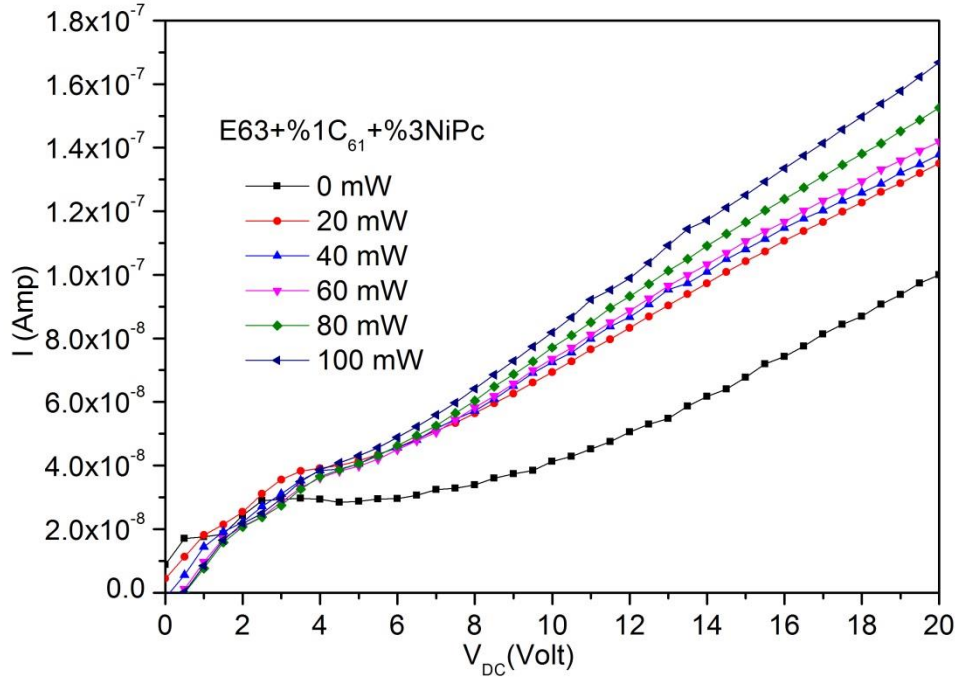
$E_{63}+\%1NiPc+\%1C_{61}$ katkılı numunenin, 0-100 mW arası şiddette değişen lazer ışığı altındaki Akım-Voltajdeğişimi ise Şekil 4.24'de verilmektedir.



Şekil 4. 24 $E_{63}+\%1NiPc+\%1C_{61}$, numunesinin karanlıkta ve 0-100mW güç aralığında değişen lazer ışığı altındaki Akım-Voltaj (I-V) değişimleri

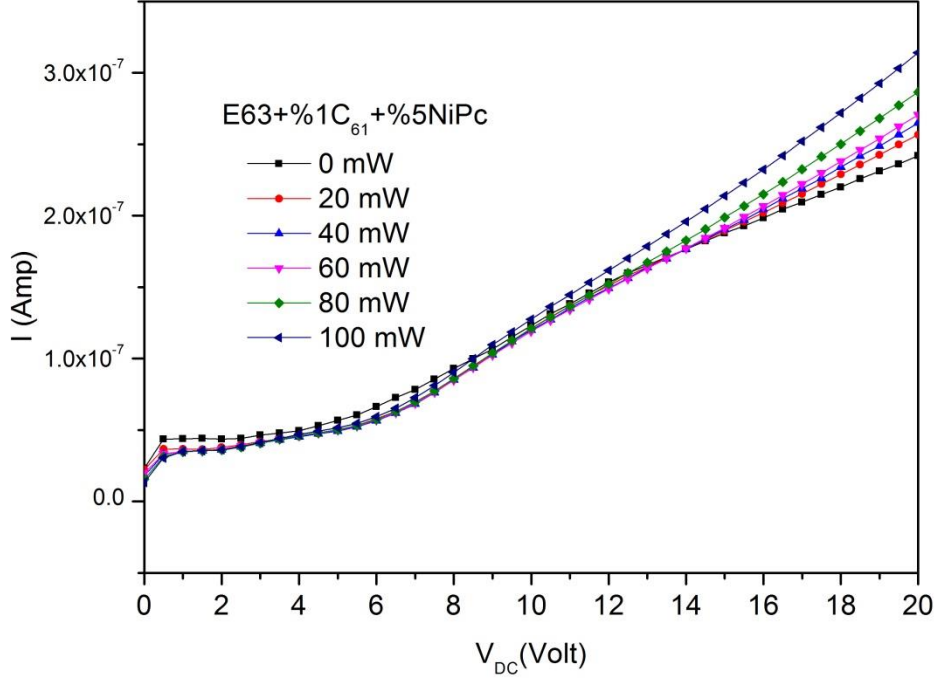
Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'deki I-V grafikleri birlikte değerlendirildiğinde, $E_{63}+\%1C_{61}$ kompozitine $\%1NiPc$ katkılандırıldığında, $\%1C_{61}$ katkılı numunede gözlenen VCNR etkisinin $E_{63}+\%1NiPc+\%1C_{61}$ sıvı kristalde tamamiyle yok olduğu görülmektedir. Ayrıca $E_{63}+\%1NiPc+\%1C_{61}$ numunesi için de lazer ışığı şiddeti ne olursa olsun, karanlık duruma kıyasla lazer ışığı altında akım değerleri yaklaşık 6V'dan daha büyük gerilim değerleri için düşmektedir (Şekil 4.24).

Şekil 4.25'de verilen $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$ katkılı numuneye ait Akım-Voltaj şdeğişimleri analiz edildiğinde, %3 NiPc katkılı numunede lazer ışığının akımı arttığı görülmüştür. Bu durumda; %1 NiPc de görülen lazer ışığı ile akımın azalması durumu, %3 NiPc katkısı ile yerini lazer ışığın akımı artırıcı yönde etkilemesi davranışına bırakmıştır. Burada NiPc katkı oranına bağlı olarak numuneye lazer ışığı sensörü özelliği kazandırılabilceği anlaşılmıştır.



Şekil 4. 25 $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$, numunesinin karanlıkta ve 0-100mW güç aralığında değişen lazer ışığı altındaki Akım-Voltaj(I-V) değişimleri

Son olarak, $E_{63}+\%1C_{61}+\%5NiPc1$ katkılı numunenin, 0-100 mW arası şiddette değişen lazer ışığı altındaki Akım-Voltaj grafiklerine göre (Şekil 4.26) lazer ışığının akım artırıcı özelliğinin ancak 20V gibi yüksek gerilim değerlerinde elde edilebileceği tespit edilmiştir.



Şekil 4. 26 E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc, numunesinin karanlıkta ve 0-100 mW güç aralığında değişen laze ışığı altındaki Akım-Volta (I-V) değişimleri.

Tüm akım-voltaj grafikleri birlikte yorumlanacak olunursa, E₆₃+%1C₆₁, E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%3NiPc, E₆₃+%1C₆₁+%5NiPc, kompozitlerin farklı oranlarda ışık şiddeti altında lazer ışığının E₆₃+%1C₆₁ ve E₆₃+%1C₆₁+%1NiPc numunelerde akım düşürücü etki yaptığı sonucuna varılabilir. Bununla birlikte numunelerdeki NiPc konsantrasyonu artırıldığında, artan lazer ışığı şiddeti ile birlikte akımın da arttığı tespit edilmiştir.

4.8 Saf E₆₃ ve E₆₃+NiPc+C₆₁ Katkılı Numunelerin Gerilime Bağlı Olarak Dielektrik Parametrelerine Manyetik Alan Etkisi

Hazırlanan sıvı kristal hücreler manyetik alan çizgilerine dik olacak şekilde Şekil 4. 8'deki düzeneğe yerleştirilmiş ve elektriksel parametreler ölçülmüştür. Bu deney düzeneğinde kullanılan elektromıknatis 1 Teslalık manyetik alan oluşturabilme özelliğine sahiptir. Ancak bu tez çalışmaları kapsamında, Saf E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc numunelerine 0.1T, 0.2T, 0.3T ve 0.4T şiddetindeki manyetik alanlar f=100Hz, 1kHz,

10kHz, 100kHz, 1MMHz, 10MHz frekanslarında uygulanmıştır ve dielektrik parametreler incelenmiştir.

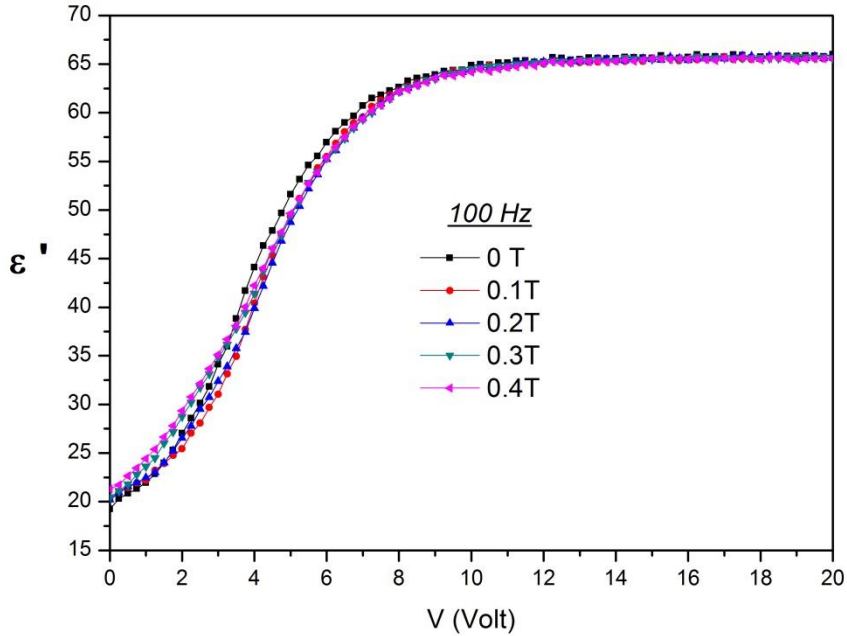
4.8.1 Saf ve Katkılı Sıvı Kristalin Potansiyel Farka Bağlı Ölçümler

Bu bölümde saf ve katkılı sıvı kristallerin potansiyel farka bağlı ölçümleri içeren deneysel sonuçlar irdelenmiştir.

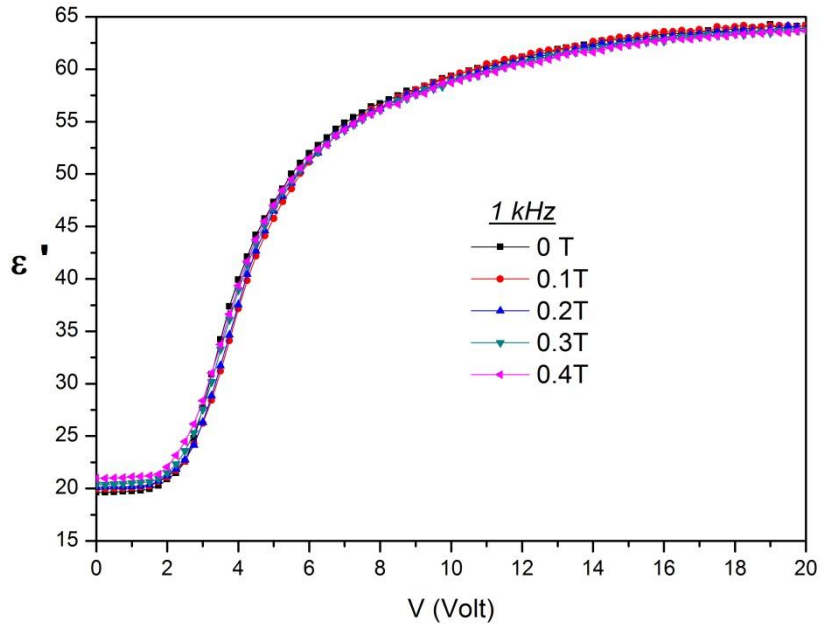
4.8.1.1 Saf E_{63} Sıvı Kristalin Potansiyel Farka Bağlı Ölçümler

Saf E_{63} 'ün $B=(0T, 0.1T, 0.2T, 0.3T, 0.4T)$ 'lık manyetik alanlar altında ve $f=(100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz, 1MMHz, 10MHz)$ frekanslarındaki dielektrik sabitinin gerçek bileşeninin gerilimle değişimi incelenmiştir.

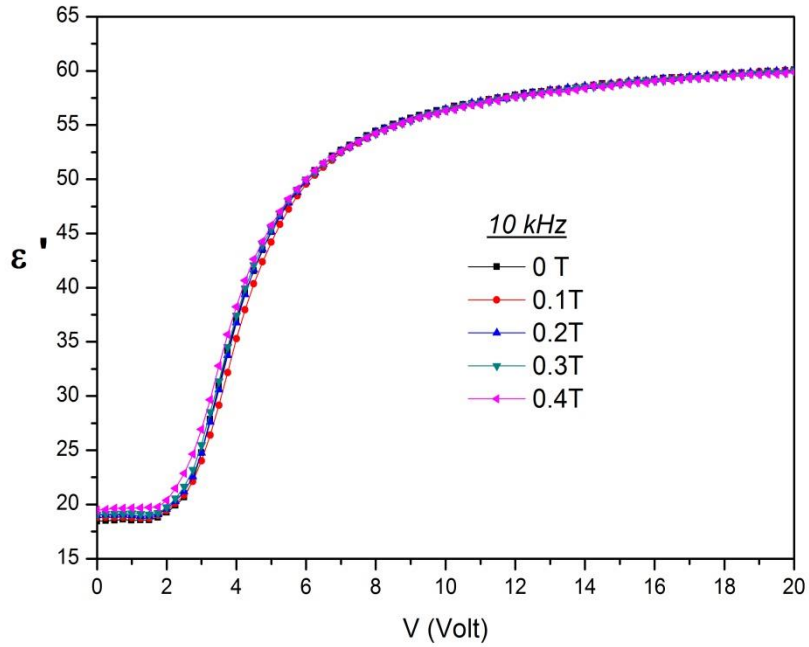
100Hz, 1kHz, 10kHz ve 100kHz'lik frekanslarında, $S_{saf} E_{63}$ 'ün dielektrik sabitinin gerçek kısmının uygulanan gerilimle $B=0-0.4T$ 'lık manyetik alan altındaki değişimi sırasıyla Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmektedir.



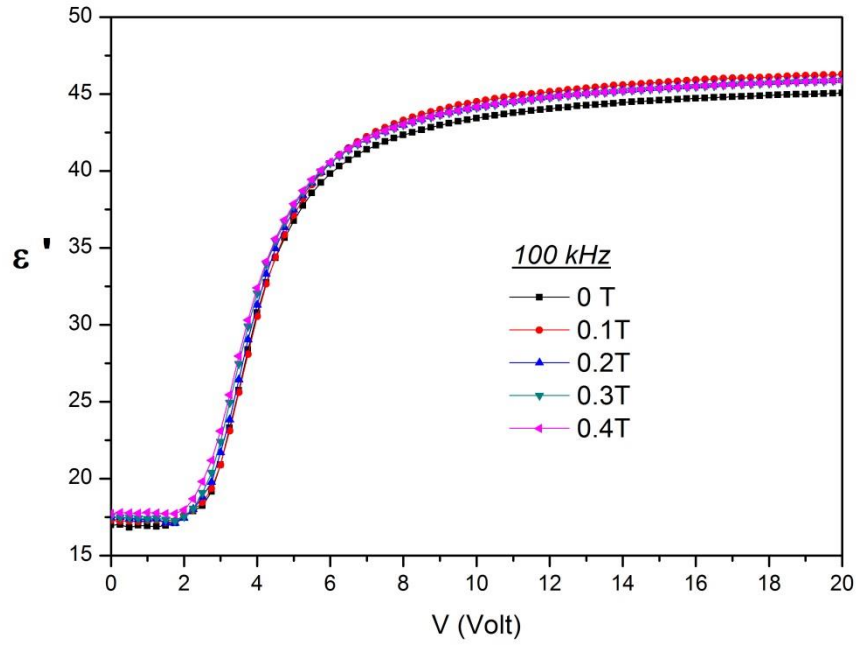
Şekil 4. 27 Saf E_{63} nematik sıvı kristalin, 0 - 0.4 T manyetik alan altında, 100Hz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.



Şekil 4. 28 Saf E₆₃ nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 1kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.

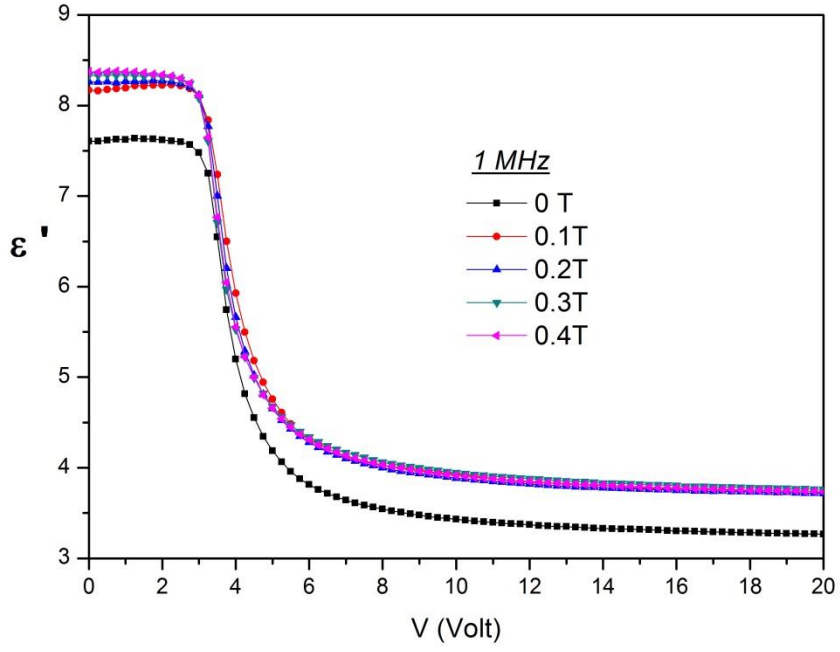


Şekil 4. 29 Saf E₆₃ nematik sıvı kristalin, 0-0. 4 T manyetik alan altında, 10kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.

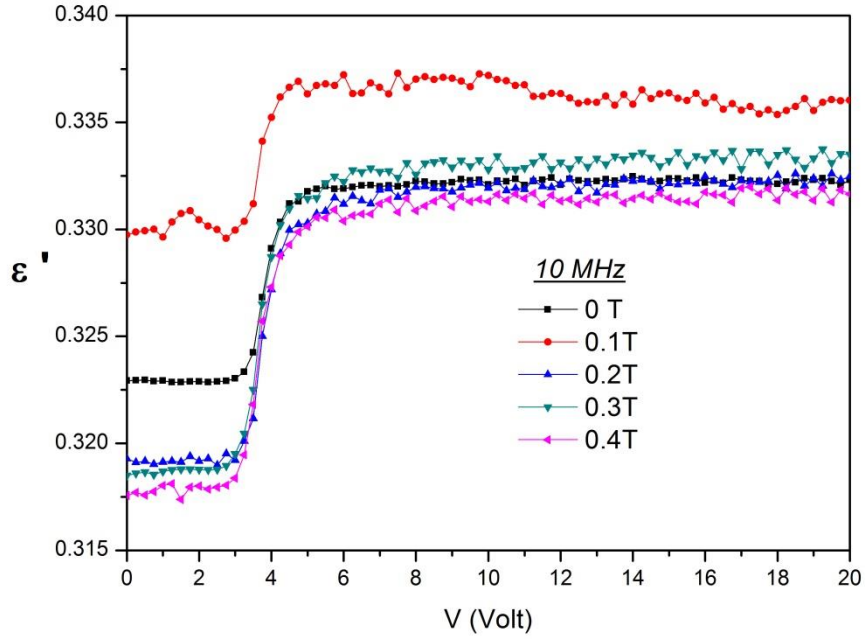


Şekil 4. 30 Saf E₆₃ nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 100kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.

Saf E₆₃ için verilen grafikler toplu olarak incelendiğinde düşük voltajlarda saf E₆₃'ün gerçek dielektrik sabitinin 100Hz,1kHz,10kHz,100kHz frekanslarda hemen hemen aynı değere sahip olduğu görülmektedir ve eşik voltaj(V_{th})'dan sonra saf E₆₃'deki moleküller yeniden yönelimleri nedeniyle ϵ' değerinin büyük ölçüde arttığı görülmektedir. Bununla birlikte Saf E₆₃'ün dielektrik sabitinin gerçek kısmının uygulanan gerilime bağlılığının, 1MHz ve 10MHz'lik frekanslarında manyetik alanla değişimlerine (Şekil 4.31 ve Şekil 4.32) bakılacak olunursa; f=1MHzde düşük voltajlarda saf E₆₃'ün gerçek dielektrik sabiti hemen hemen aynı değere sahipken; eşik voltaj(V_{th}) aşıldıktan sonra saf E₆₃'ün dielektrik sabitinin hızlıca azaldığı ve dengeye ulaştığı görülmektedir. Bu azalıştan hareketle, f=1MHz'de moleküller yönelim doğrultusunun değiştiği sonucuna varılabilir. Ayrıca, manyetik alanın uygulamasıyla az da olsa dielektrik sabitinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 31 Saf E₆₃ nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 1MHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.



Şekil 4. 32 Saf E₆₃ nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 10MHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.

Bununla birlikte, $f=10\text{MHz}$ 'de yine diğer düşük frekanslarda olduğu gibi, düşük voltajlarda saf E_{63} 'ün gerçek dielektrik sabitinin hemen hemen aynı değere sahipken eşik voltaj(V_{th})'dan daha büyük gerilim değerlerinde yeniden moleküller yönelimi nedeniyle ϵ' değerinin arttığı gözlenmiştir.

Saf E_{63} nematik sıvı kristalinin, 0- 0.4T'lık manyetik alan altında, 100Hz-10MHz frekans aralığındaki dielektrik parametreleri ise Çizelge 4.4'de verilmektedir. İlgili çizelgedeki paralel ve dik dielektrik sabiti değerleri Şekil 4.27, 4.28, 4.19, 4.30, 4.31 ve 4.32'deki eğrilerden Şekil 2.11'deki yöntemle tespit edilmiştir.

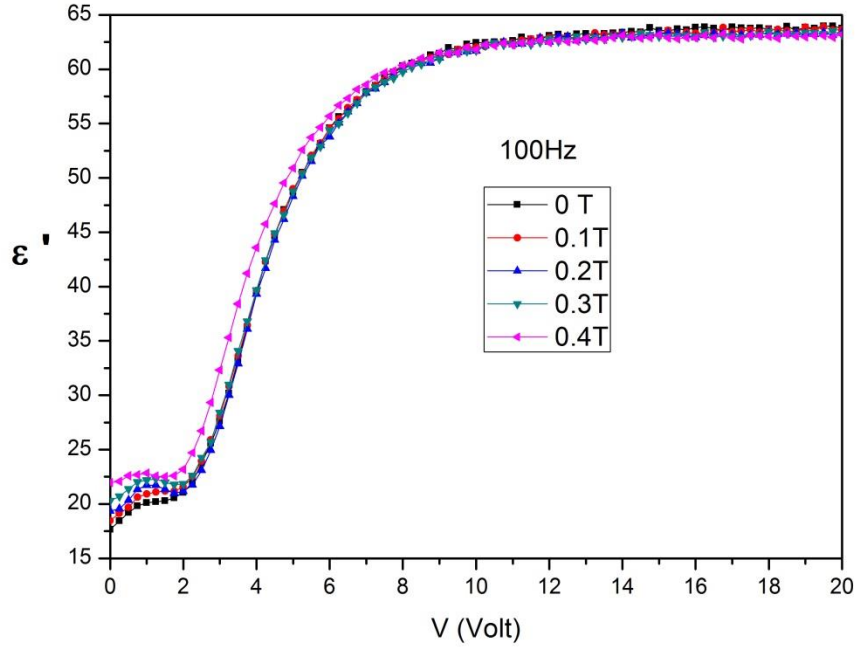
Çizelge 4. 4 E_{63} 'ün dielektrik parametrelerinin frekans ve manyetik alana bağımlılıkları

Frekans (Hz)	$B=0\text{ T}$		$B=0.1\text{ T}$		$B=0.2\text{ T}$		$B=0.3\text{ T}$		$B=0.4\text{ T}$	
	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}
1×10^2	21.016	6.127	20.892	6.442	20.904	6.429	20.894	6.519	20.885	6.783
1×10^3	20.423	6.254	20.433	6.350	20.305	6.410	20.296	6.490	20.270	6.675
1×10^4	19.127	5.875	19.117	5.984	19.111	6.047	19.098	6.073	19.060	6.194
1×10^5	14.350	5.407	14.732	5.543	14.617	5.563	14.608	5.582	14.611	5.484
1×10^6	1.038	2.420	1.187	2.598	1.181	2.630	1.197	2.652	1.187	2.665
1×10^7	0.105	0.102	0.107	0.104	0.105	0.101	0.106	0.101	0.105	0.100

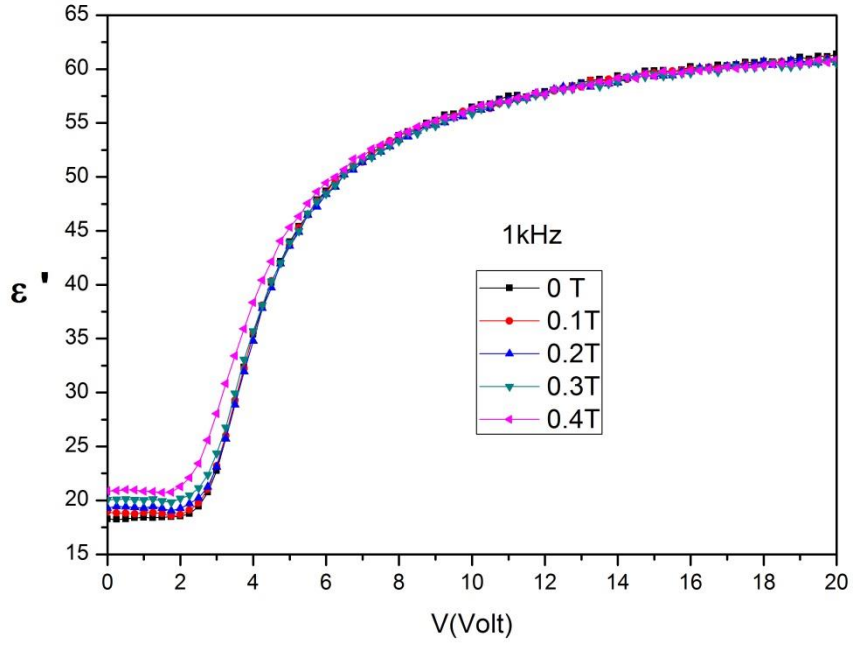
4.8.1.2 $E_{63}+\%1\text{NiPc}$ Katkılı Numunenin Potansiyel Farka Bağlı Ölçümler

Bu kısımda ise $E_{63}+\%1\text{NiPc}$ numunesinin $B=(0\text{ T}, 0.1\text{ T}, 0.2\text{ T}, 0.3\text{ T}, 0.4\text{ T})$ 'lık manyetik alan altında ve $f=(100\text{ Hz}, 1\text{ kHz}, 10\text{ kHz}, 100\text{ kHz}, 1\text{ MHz}$ ve $10\text{ MHz})$ frekanslarında gerçek dielektrik sabitinin uygulanan gerilimle değişimleri incelenmiştir.

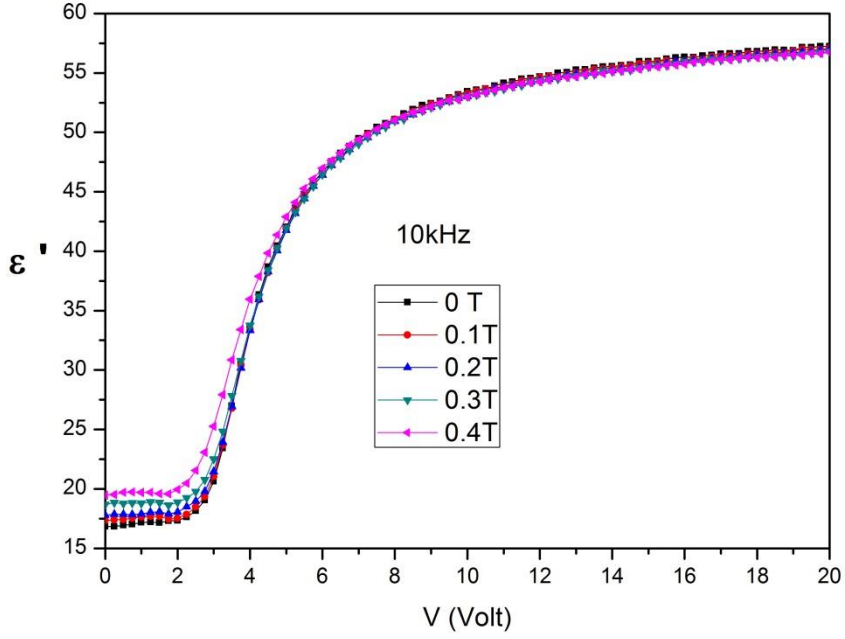
$E_{63}+\%1\text{NiPc}$ 'nün dielektrik sabitinin gerçek kısmının potansiyele bağlı değişimleri, 100Hz,1kHz,10kHz ve 100kHz frekanslarında ve 0-0.4T arasındaki manyetik alan altında sırasıyla Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da verilmektedir.



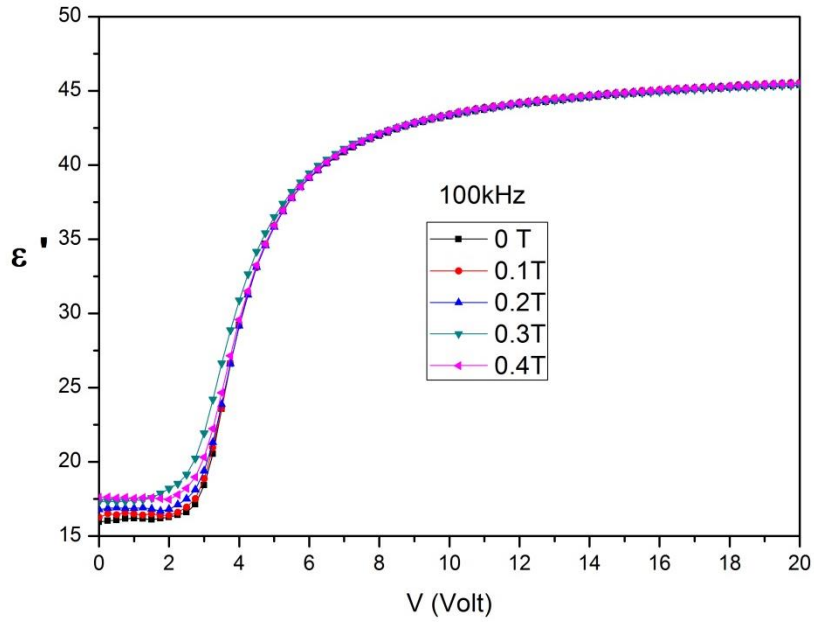
Şekil 4. 33 Saf E₆₃+%1NiPc nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 100Hz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.



Şekil 4. 34 Saf E₆₃+%1NiPc nematik sıvı kristalin, 0-0.4T manyetik alan altında, 1kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.



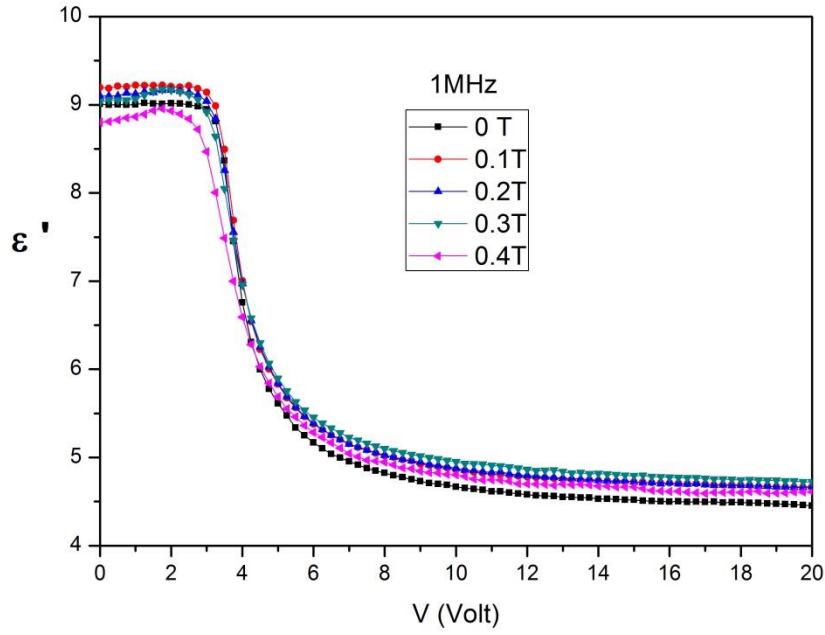
Şekil 4. 35 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0.4T manyetik alan altında, 10kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.



Şekil 4. 36 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 100kHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.

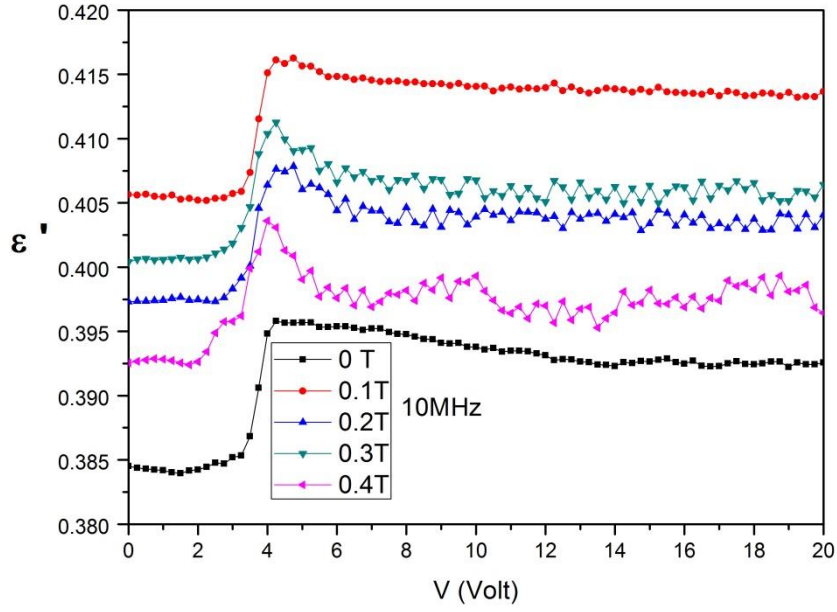
Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36 birlikte ele alındığında, düşük voltajlarda ve $f=100Hz,1kHz,10kHz$ ve 100kHz frekanslarında $E_{63}+\%1NiPc$ 'ün gerçek dielektrik

sabitinin hemen hemen aynı değere sahip olduğu ve eşik voltaj(V_{th})'dan sonra $E_{63}+\%1NiPc$ 'ün yeniden moleküler yönelimi nedeniyle bu değer büyük ölçüde arttığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, aynı numunenin 1MHz'deki ϵ' -V değişimlerine (Şekil 4.37) bakılırsa, $V < V_{th}$ değerlerinde gerçek dielektrik sabiti hemen hemen aynı değerdeyken; $V > V_{th}$ değerlerinde dielektrik sabitinin hızlıca azalarak bir denge değerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4. 37 Saf $E_{63}+\%1NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 1MHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.

$E_{63}+\%1NiPc$ 'nün $f=10MHz$ 'deki 0-0.4T manyetik alan altındaki ϵ' -V değişimleri (Şekil 4.38) ise eşik voltaj(V_{th})'dan daha büyük gerilim değerlerinde $E_{63}+\%1NiPc$ 'ün yeniden moleküler yönelimi nedeniyle ϵ' değerini arttığını işaret etmektedir.



Şekil 4. 38 Saf $E_{63} + 1\%NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0.4 T manyetik alan altında, 10MHz frekansında dielektrik sabitinin gerçek kısmının gerilimle değişimi.

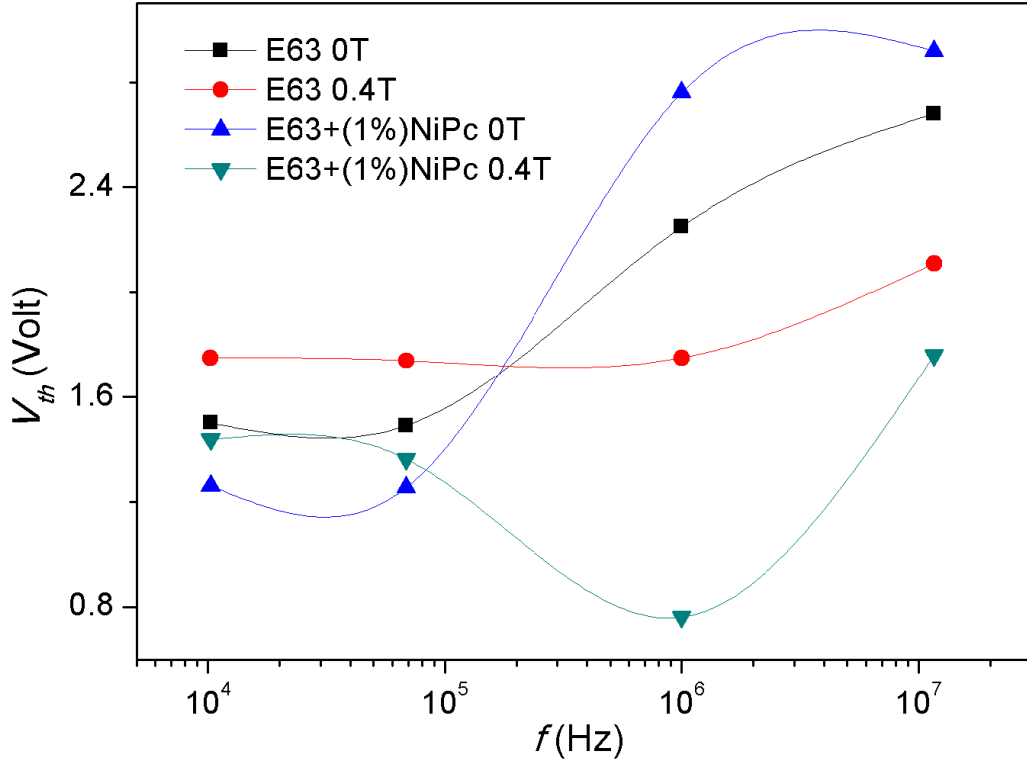
Dolayısıyla, yüksek frekansta $1\%NiPc$ katkılı E_{63} pozitif dielektrik anizotropiye sahip olup, manyetik alan sensörü olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

$E_{63} + 1\%NiPc$ nematik sıvı kristalin, 0-0.4T manyetik alan altında, 100Hz-10MHz frekans aralığındaki dielektrik parametreleri Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4. 5 $E_{63} + 1\%NiPc$ 'ün dielektrik parametrelerinin frekans ve manyetik alana bağımlılıkları

Frekans (Hz)	$B=0$ T		$B=0.1$ T		$B=0.2$ T		$B=0.3$ T		$B=0.4$ T	
	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}	$\epsilon_{//}$	ϵ_{\perp}
1×10^2	20.308	5.617	20.267	5.878	20.171	6.162	20.117	6.461	20.124	6.996
1×10^3	19.550	5.818	19.343	6.025	19.302	6.146	19.261	6.388	19.414	6.643
1×10^4	18.222	5.363	18.178	5.522	18.149	5.659	18.092	5.949	18.063	6.197
1×10^5	14.452	5.076	14.503	5.175	14.487	5.343	14.452	5.512	14.496	5.608
1×10^6	1.417	2.869	1.484	2.926	1.484	2.926	1.484	2.894	1.503	2.875
1×10^7	0.125	0.122	0.131	0.128	0.128	0.126	0.129	0.127	0.126	0.124

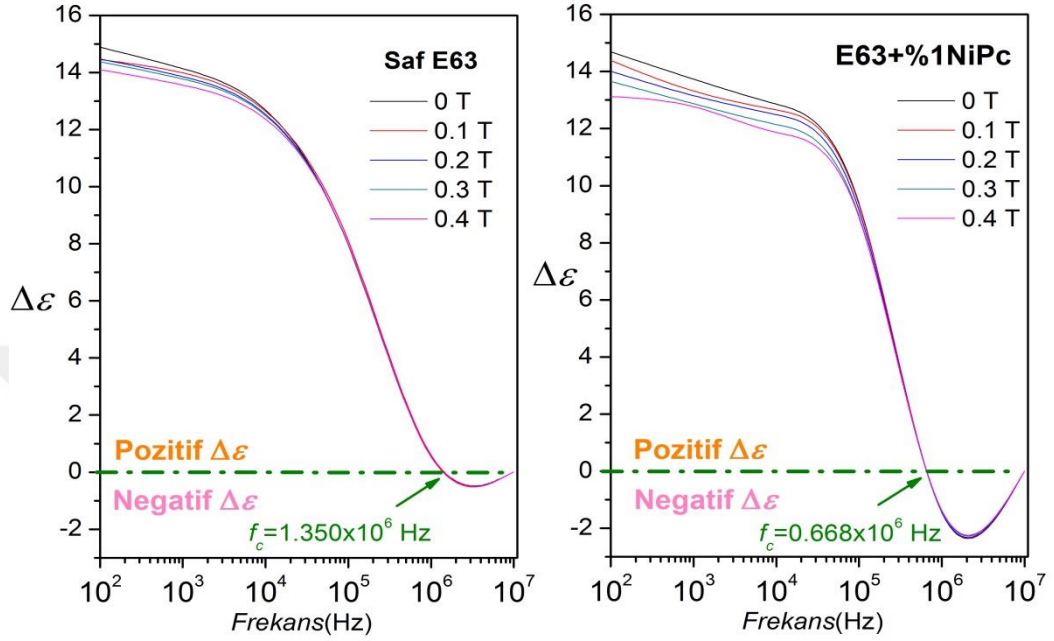
Saf E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc'nün, 0 ve 0.4T'lık manyetik alan altında eşik voltajlarının frekansla değişimleri ise Şekil 4.39'dakigibidir.



Şekil 4. 39 Saf E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc katkılı numunenin 0 ve 0. 4T manyetik alan altında, eşik voltaj değerlerinin frekansla değişimi.

Şekil 4.39'dan da görüleceği üzere, Sıfır manyetik alanda NiPc katkılı sıvı kristalde düşük frekans bölgesinde, düşük eşik voltaj değerleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 100kHz-10MHz aralığını kapsayan yüksek frekans bölgesinde NiPc katkısı ile değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yine Şekil 4.39'a göre 0.4T'lık manyetik alan etkisinde NiPc katkısının eşik voltajı tüm frekans değerleri azalttığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, NiPc katkısıyla birlikte dış manyetik alan uygulamasının eşik voltaj değerinde bir düşüşe neden olduğu sonucuna varılabilir. Eşik voltajdaki bu düşüş aslında sıvı kristal moleküllerin doğrultusundaki değişiminin daha düşük voltajlarda başladığı anlamına gelir. Bu değişim de ekran teknolojileri için çok önemli bir sonuçtur.

Çizelge 4. 4 ve Çizelge 4. 5'deki paralel ve dik dielektrik sabit değerleri yardımıyla E_{63} ve $E_{63}+1\%NiPc$ için farklı manyetik alanlar altında dielektrik anizotropi değerleri hesaplanarak, ilgili numunelerin dielektrik anizotropilerinin frekansa bağlılıkları Şekil 4.40'da verilmiştir.



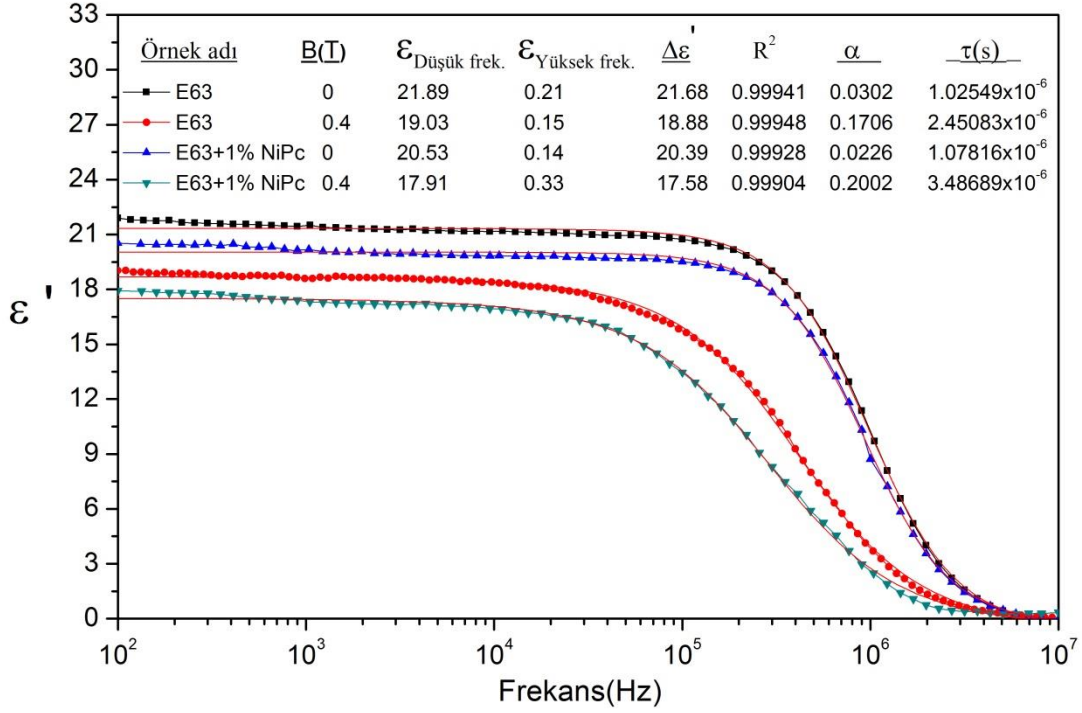
Şekil 4. 40 E_{63} ve $E_{63}+1\%NiPc$ için farklı manyetik alanlar altında dielektrik anizotropinin frekansla değişimi.

Şekil 4.40'a göre, Saf E_{63} ve $E_{63}+1\%NiPc$ için dielektrik anizotropi pozitif değerden negatif değere sırasıyla 1.350MHz, 0.668MHz kritik frekans değerlerinde geçmektedir. Ayrıca her iki numune için de belirli bir frekans aralığında, dışardan uygulanan manyetik alanın dielektrik anizotropi değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu etki E_{63} için 100Hz-10kHz frekans aralığında geçerli iken; %1NiPc katkılı E_{63} için 100Hz-100kHz aralığında gözlenmektedir. Bununla birlikte, her iki numune için de manyetik alanının dielektrik anizotropinin işaret değiştirdiği kritik frekans değeri üzerine bir etkisinin olmadığını belirlenmiştir. Ayrıca, Kang ve Chen'e göre de dielektrik anizotropinin işaret değiştirdiği kritik frekans, genellikle relaksasyon frekansı civarındadır [52]. Bu bağlamda, Şekil 4.40'da belirlenen yaklaşık kritik frekans değerleri ile Bölüm 4.8.2'de Şekil 4.41'de deneysel sonuçlara yapılan matematiksel modelleme sonucu tespit edilen relaksasyon süreleri mertebe açısından uyumludur.

Ayrıca dielektrik anizotropinin gerek frekansla gerekse sıcaklıkla işaret değişmesini inceleyen bilimsel literatürde çalışmalar mevcuttur [53,54]. Ancak hem katkıya hemde manyetik alan etkisine bağlı olarak $\Delta\epsilon'$ nin işaret değiştirmesini inceleyen çalışmalara literatürde rastlanmıştır. Belirli bir frekans aralığında özellikle dielektrik anizotropinin işaret değiştirerek negatifleşmenin teknolojik olarak büyük bir önemi vardır. Zira, negatif dielektrik anizotropili materyallerin panel ekran endüstrisinde büyük bir yeri bulunmaktadır [55,56]. Bu bağlamda, bu tez çıktılarının LCD ekran teknolojilerine fayda sağlaması beklenmektedir.

4.8.2 Saf E₆₃, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%1C₆₁ Katkılı Numunelerin Frekansa Bağlı Dielektrik Özelliklerine Manyetik Alanın Etkisi

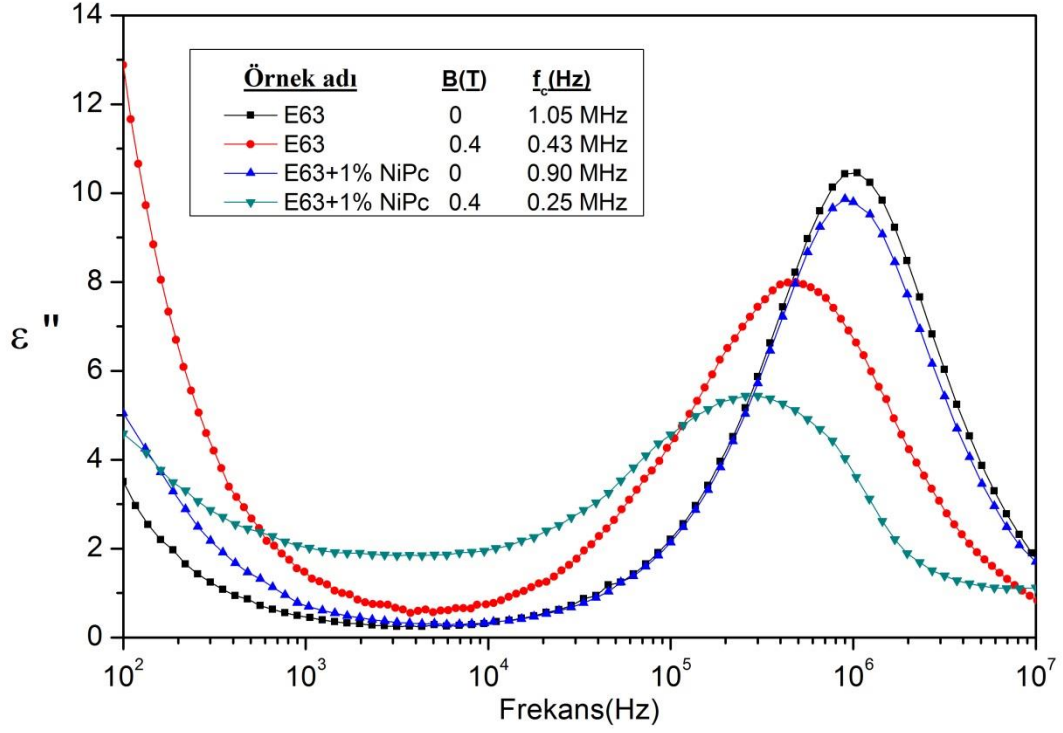
Saf E₆₃, E₆₃+%1NiPc ve E₆₃+%1C₆₁ numunelerinin çeşitli dielektrik parametrelerine (en yüksek ve en düşük gerçek dielektrik sabiti bileşenleri, dielektrik güç, relaksasyon frekansı ve dağılım parametresi) manyetik alan etkisi Şekil 4.41'de saf E₆₃ ile E₆₃+%1NiPc için Şekil 4.42'de Saf E₆₃ ve E₆₃+%1C₆₁ için incelenmiştir. Şekil 4.41'deki eğriler Debye modelini tarif eden matematiksel fonksiyona göre Origin Lab 8.5 grafik programı yardımıyla değerlendirilmiştir.



Şekil 4. 41 Saf E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc katkılı numunenin 0-0. 4T'daki en düşük ve en yüksek gerçek dielektrik sabiti bileşenleri ile dielektrik güç($\Delta\epsilon' = \epsilon_s - \epsilon_\infty$)

Şekil 4.41'deki sonuçlara göre, Saf E₆₃'ün statik dielektrik sabiti hem manyetik alan uygulanarak hem NiPc katkılanarak azalmaktadır. Saf E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc katkılı nematik sıvı kristal numuneye 0.4T'lık manyetik alan uygulandığında ise dielektrik güç ($\Delta\epsilon' = \epsilon_s - \epsilon_\infty$) değerinde bir azalma olduğu görülmüş, bu azalıştan %1 NiPc katkılı nematik sıvı kristal numune manyetik alan uygulamasıyla molekül dizilimi kolaylaştığı yani molekül yönelimi için gereken enerjinin azalmış olduğu sonucuna varılabilir. Sonuç itibariyle, E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc katkılı numune için manyetik alan altında moleküller yönelim kabiliyetinin arttırıldığı söylenebilir. Ayrıca, Şekil 4.41'deki α dağılım parametrelerinin değerlerine bakıldığında, manyetik alan yokken, NiPc katkısının α parametresini 0.03'den 0.02'ye düşürerek; relaksasyon modelini Debye'ye iyice yaklaştırdığını; ancak her iki numune için de manyetik alanın relaksasyon mekanizmasını Debye modelinden uzaklaştırdığını söyleyebiliriz.

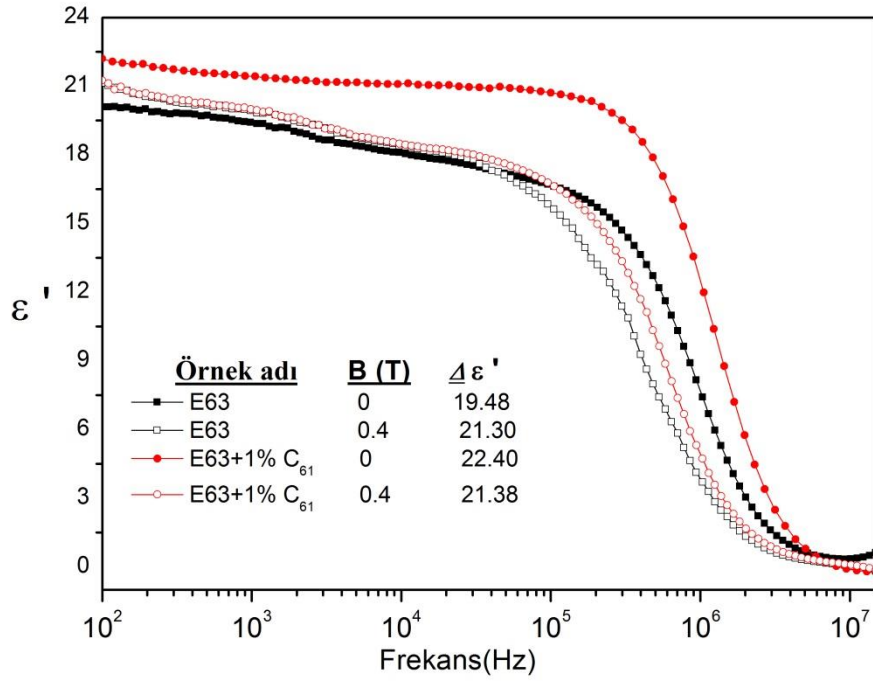
Saf E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc katkılı numunenin B=0 ve B=0.4T'daki sanal dielektrik bileşenin frekansla değişiminden ise Şekil 4.42'de belirtilen relaksasyon frekansları tespit edilmiştir.



Şekil 4. 42 Saf E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc katkılı numunenin B=0 ve B=0.4T'daki sanal dielektrik bileşenin frekansla değişimleri ve relaksasyon frekans değerleri.

Şekil 4.42'den de görüleceği üzere hem NiPc katkılama hem de manyetik alan uygulanması sonucu relaksasyon frekansı azalmaktadır. Başka bir deyişle %1 NiPc katkılı E₆₃'de B= 0.4T'lık manyetik alanda relaksasyon frekansındaki bu ciddi bir azalışın manyetik alanın moleküller yönelimi kolaylaştırdığını gösteren bir kanıt olduğu söylenebilir.

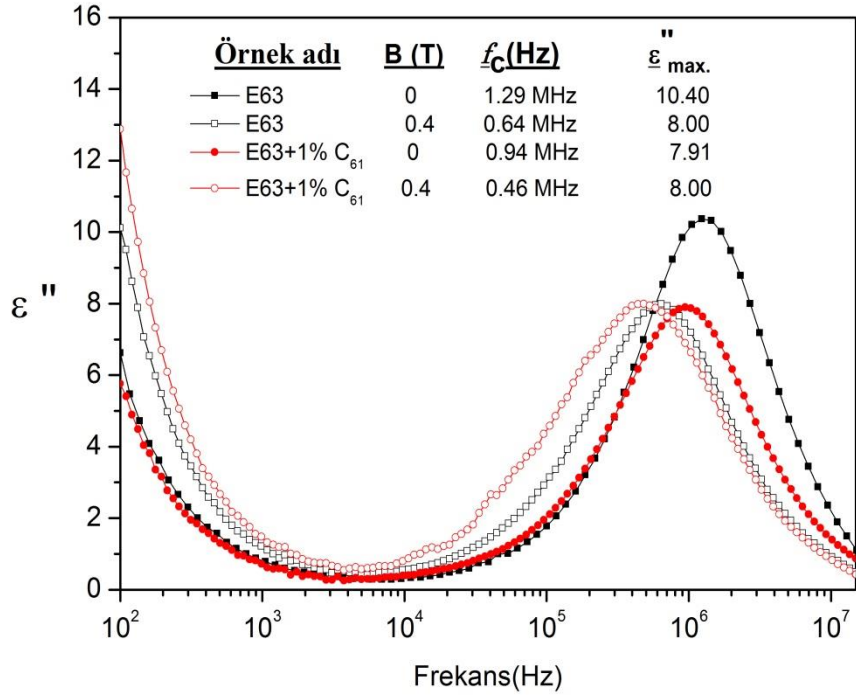
Saf E₆₃ ve E₆₃+%1C₆₁ sıvı kristallerin B=0 ve B=0.4T'daki dielektrik güç değerleri ise Şekil 4.43'de verilmiştir.



Şekil 4. 43 Saf E₆₃ ve E₆₃+1%C₆₁ katkılı numunenin 0-0. 4T'daki dielektrik güç.

Şekil 4.43'e göre, Saf E₆₃ ve E₆₃+%1C₆₁ için manyetik alan varken saf E₆₃'ün dielektrik gücün arttığı, E₆₃+%1C₆₁ katkılı numunede ise manyetik alan varken dielektrik gücün azaldığı tespit edilmiştir.

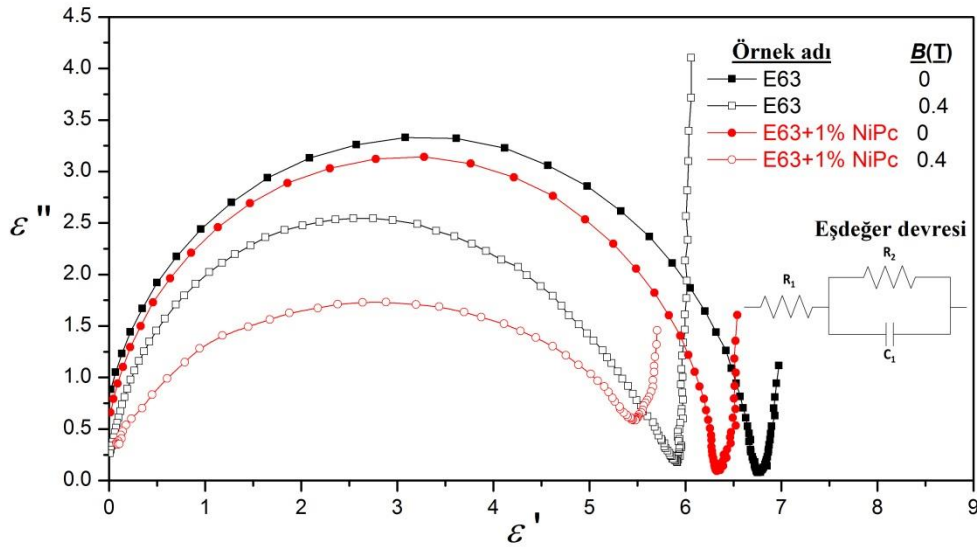
Şekil 4.44'de ise, Saf E₆₃ ve E₆₃+%1C₆₁ numunelerinin B=0 ve B=0.4T'daki sanal dielektrik bileşenin frekansla değişimi verilmektedir.



Şekil 4. 44 Saf E₆₃ ve E₆₃+1%C₆₁ katkılı numunenin 0-0. 4T'daki maximum sanal dielektrik sabiti ve kritik frekansı değeri.

Şekil 4. 44'e göre hem C₆₁ katkılanma hem de manyetik alan uygulaması ile relaksasyon frekansı azalmaktadır. Bu bağlamda, yine katkı ve manyetik alan uygulaması ile moleküler yönelmenin kolaylaştığı sonucuna varılabilir.

Saf E₆₃ ve E₆₃+%1NiPc numuneleri için Cole-Cole grafiklerine manyetik alanın etkisi ise Şekil 4.45'teki gibidir.



Şekil 4. 45 Saf E₆₃ ve E₆₃+1%NiPc katkılı numunenin B=0 ve B=0. 4T'daki Cole-Cole grafikleri

Şekil 4. 45'ten anlaşılacağı gibi manyetik alandan dolayı Cole-Cole eğrisindeki yarım çember deforme olmuş, relaksasyon mekanizması yakın-Deybe' den Deybe olmayan bir mekanizmaya doğru değişmiştir. Bu sonuç, Şekil 4.41'de Origin Lab 8.5 ile tespit edilen α parametresi değerleriyle de uyumludur. Ayrıca, Şekil 4.45'de görüldüğü gibi, bütün eğriler tek bir yarım çember ve düz bir çizgi şeklindedir. Manyetik alan olsun veya olmasın, saf ve katkılı sıvı kristallerinin eş değer devreleri paralel bağlanmış direnç ve kondansatöre (R_2 , C_1) seri bağlı bir direnç (R_1) olarak belirlenmiştir(Şekil 4.45). Bununla birlikte, NiPc katkılı E₆₃ üzerinde manyetik alan uygulamasının hem seri direnç değerlerinde, hem de enerji kaybında bir düşüşe sebep olduğu görülmüştür. Bu bakımdan, E₆₃+%1NiPc'nin manyetik alan altındaki bu özelliği sebebiyle, opto-elektronik uygulama cihazları için uygun bir malzeme olduğu söylenebilir.

4.9 Saf E₆₃'ün AC İletkenliğine Katkı, Lazer Işığı ve Manyetik Alanın Etkisi

Bir malzeme için toplam iletkenlik

$$\sigma_T = \sigma_{DC} + \sigma_{AC} \quad (4.1)$$

ile tanımlanabilir. Denklem (4.1)'de, σ_T toplama iletkenlik, σ_{DC} doğru akım (DC) iletkenliği ve σ_{AC} frekansa bağlı alternatif akım (AC) iletkenliğini temsil etmektedir. İlgili

sıvı kristal numuneler AC iletkenlik deneysel dielektrik verileri kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\sigma_{AC} = \omega \varepsilon_0 \varepsilon'' \quad (4.2)$$

$$\sigma_{AC} = \sigma_0 + A\omega^s \quad (4.3)$$

Burada ω , ε_0 ve ε'' sırasıyla; açısal frekans, serbest uzayın elektriksel geçirgenliği ve dielektrik sabitinin sanal bileşenini temsil etmektedir [57]. Genelde farklı materyallerde iletkenliğin frekansa bağlı formülü Jonscher'in güç kanunu ile açıklanmıştır [58].

$$\sigma_{AC} = \sigma_0 + A\omega^s \quad (4.4)$$

Jonscher'e göre, Denklem(4. 4)'deki σ_0 terimi iletkenliğin frekansa bağımlı olmayan bölümünü verilen yani DC iletkenliği betimlerken, $A\omega^s$ terimi, iletkenliğin frekansa bağımlı bölümünü yani AC iletkenliğini tarif etmektedir. Denklem (4.4)'deki "A" bir katsayıyı ve "s" parametresi ise eksponasiyel üsteli temsil etmektedir. Genel olarak s katsayısı sıfır ile bir arasında değişmektedir. S parametresinin aldığı değere göre, iletkenlik mekanizmaları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- $S \approx 0$ DC iletkenlik [59].
- $0.5 < s < 0.7$ ise Etkileşimli Bariyer Atlama (Correlated Barrier Hopping (CBH) Mechanism) Mekanizması [60].
- $0.7 < s < 1$ ise Kuantum Mekaniksel Tünelleme Modeli (Quantum Mechanical Tunneling (QMT) Model) [61].

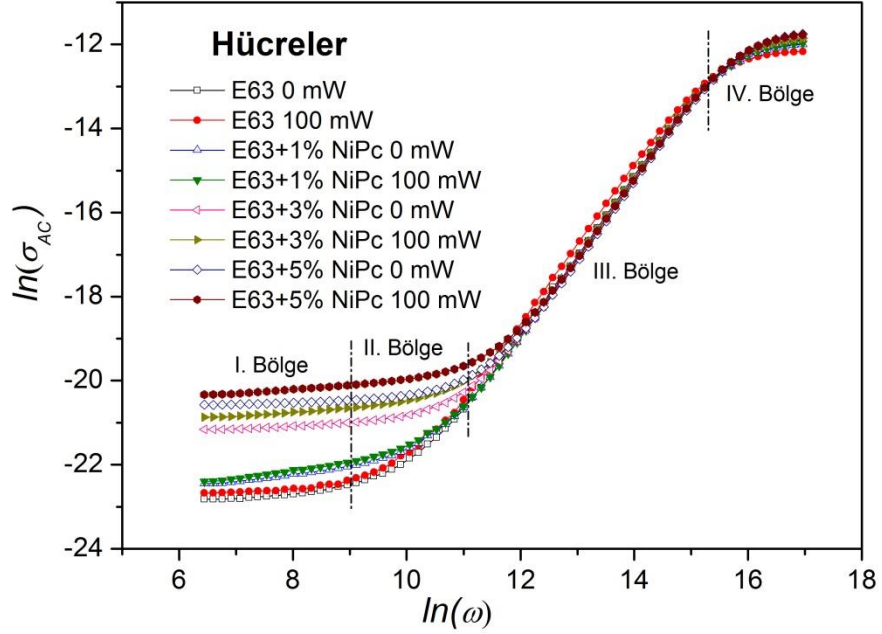
Ancak son yıllarda yapılan yeni çalışmalar göstermiştir ki; eğer sıcaklık ve frekans aralığı genişletilirse s parametresi 1 ve 1'den büyük değerler alabilmektedir [62,63].

- $s=1$ ise Neredeyse Sabit Kayıp Modeli (Nearly Constant Loss (NCL) model)
- $s>1$ ise Süper Lineer Kuvvet Yasası (Super Linear Power Law (SLPL))

Genellikle SLPL modeli çok yüksek frekanslarda gözlenirken bazı çalışmalarda kHz ve MHz frekans aralığında da tespit edilmiştir [64, 65, 66].

Sıvı kristal numunelerin AC iletkenlik mekanizmalarının belirlenmesi için öncelikle Denklem (4.2) yardımıyla AC iletkenlik değerleri hesaplanmış ve daha sonra ilgili sıvı

kristallerin karanlık ortamda ve lazer ışığı altında $\ln \sigma_{AC} = f(\ln \omega)$ eğrileri Şekil 4.46'daki çizilmiştir.



Şekil 4. 46 Sıvı kristallerin karanlık ortam ve lazer ışığı altında $\ln \sigma_{AC} = f(\ln \omega)$ eğrileri Şekil 4.46'deki verilen dört farklı frekans bölgesi için $\ln \sigma_{AC} = f(\ln \omega)$ eğrilerinin eğimleri hesaplanarak s parametreleri belirlenmiştir. Buna göre ilgili sonuçlar Çizelge 4.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 4. 6 Saf E₆₃, E₆₃+%1NiPc, E₆₃+%3NiPc ev E₆₃+%5NiPc için s parametresine lazer ışığı etkisi ve iletkenlik mekanizmaları

Numuneler		s parametresi			
		<i>I.</i> <i>Bölge</i>	<i>II.</i> <i>Bölge</i>	<i>III.</i> <i>Bölge</i>	<i>IV</i> <i>Bölge</i>
0 mW	E63	0.130	0.921	1.856	0.566
	E63+1%NiPc	0.166	0.711	1.858	0.527
	E63+3%NiPc	0.065	0.354	1.813	0.604
	E63+5%NiPc	0.044	0.235	1.753	0.683
100 mW	E63	0.101	0.978	1.827	0.366
	E63+1%NiPc	0.183	0.671	1.862	0.528
	E63+3%NiPc	0.091	0.307	1.775	0.581
	E63+5%NiPc	0.093	0.222	1.699	0.645

Çizelge 4. 6'daki veriler ışığında, tüm örnekler için orta (II, III) ve yüksek (V) frekans bölgelerinde AC iletkenlik gözlenirken, düşük frekans bölgesinde (I) materyallerin DC iletkenlik sergiledikleri sonucuna varılabilir. Yine Çizelgedeki s parametresi değerlerinden yola çıkılarak (ister katkılı ister katkısız) numunelerde lazer ışınlamanın sırasıyla III ve IV bölgeleri için SLPL ve CBH iletkenlik mekanizmasını değiştirmezken, Bölge II 'de (lazer ışığı altında veya karanlıkta), NiPc konsantrasyon oranlarının iletkenlik mekanizması üzerinde ciddi bir etkisinin olduğu sonucuna varılabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

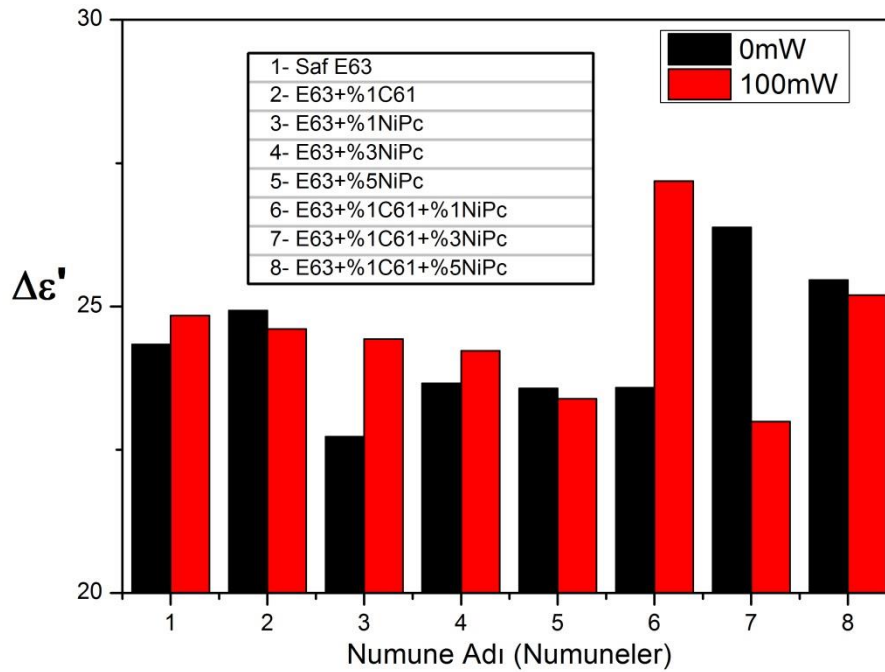
Bu tez çalışmasında saf E_{63} nematik sıvı kristal malzemesinin çeşitli fiziksel parameterlerinin lazer ışığı ve manyetik alan uygulaması hallerinde nasıl değiştiği incelenmiştir. Ayrıca saf E_{63} 'e %1,3 ve 5 oranlarında NiPc ve %1 oranında C_{61} katkısının etkileri karanlıkta, aydınlıkta ve manyetik alan altında detaylı olarak incelenmiştir. Bu incelemelerde temel olarak dielektrik gücün, dielektrik anizotropun, eşik voltajının, dielektrik kaybın, relaksasyon frekansının, ac iletkenliğin katkı maddesine, katkı konsantrasyonuna, lazer ışığının gücüne ve dış manyetik alanın şiddetine bağlı olarak değişimi ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Ayrıca bu tez çalışmasında, nematik sıvı kristaller üzerindeki organik katkı bileşiklerinin ve lazer ışığının etkisi I-V karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Lazer ışığı ile NiPc ve C_{61} katkı konsantrasyonları değiştirilerek VCNR etkisinin yok edilebildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, bazı sıvı kristaller kompozitlerde iletkenliğin arttığı belirlenmiştir. Maksimum iletkenlik artışı %5 oranda NiPc eklendiğinde gözlemlenmiş ve VCNR davranışının $E_{63}+\%1C_{61}$ bileşiminde lazer ışığı şiddeti ne olursa olsun kaybolmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Saf E_{63} nematik sıvı kristal lazer ışığının şiddeti ne olursa olsun VCNR davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Fakat; E_{63} 'e belirli bir oranda NiPc katkılı olduğunda ve bu oran artırıldığında VCNR etkisinin kaybolduğu ve lazer ışığının gücü arttıkça, maksimum akımın elde edildiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda

lazer ışığının, NiPc katkıli kompozitlerde hem VCNR davranışı hem de iletkenlik üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bunun yanı sıra, NiPc takviyesinin foto-iletkenlikte de çok etkili olduğu anlaşılmıştır. Lazer ışığının foto-iletkenliği artırması, NiPc moleküllerinin ışığı absorblaması ile açıklanabilir. Dolayısıyla, lazer ışığı ve NiPc moleküllerinin etkileşiminin sıvı kristaller moleküllerinin uyarılmasına yol açtığı söylenebilir. Budan dolayı bir optik alanın (benzer şekilde düşük frekanslı elektrik alan ve manyetik alanın) sıvı kristal molekülleri üzerinde etki gösterdiği söylenebilir.

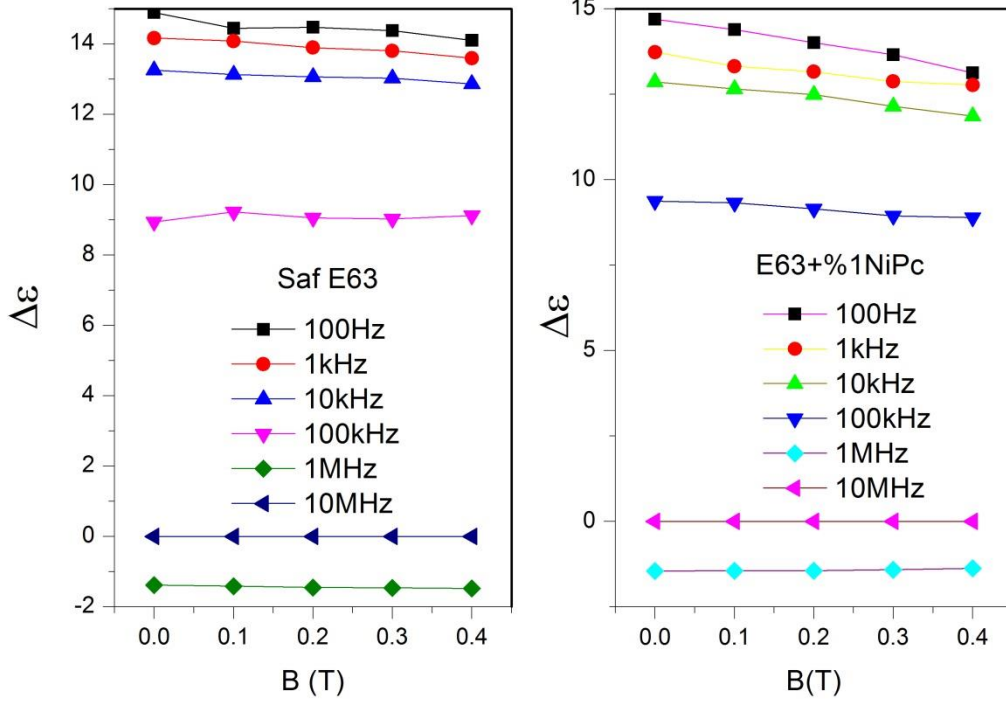
Sonuç olarak, NiPc eklenmiş nematik sıvı kristaller kompozitlerde karanlık ve lazer ışığı arasında akımın önemli bir oranda artması, lazer ışığı sensörleri için bilim dünyasına yeni fikirler sunmaktadır.



Şekil 5. 1 Lazerli-Lazersiz ortamda dielektrik güc sabitinin tüm örnekler için değişimi

Şekil 5.1 de, lazersiz (0mW) ve Lazerli (100mW) ortamlarda bu tez çalışmasında kullanılan tüm numunelerin dielektrik güçlerin değişimi görülmektedir. Bu değişime göre; manyetik NiPc katkılandırma oranı arttıkça moleküler yönelim kolaylaşmaktadır.

Buradan karanlıkta en düşük dielektrik güce sahip numunenin $E_{63}+\%1NiPc$, lazer ışığı altında ise en yüksek dielektrik gücün $E_{63}+\%1C_{61}+\%3NiPc$ 'de olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5. 2 Manyetik alan etkisi altında Saf E_{63} ve $E_{63}+\%1NiPc$ örneklerinin dielektrik anizotropi değerlerinin değişimi

Şekil 5.2 de ise Saf E_{63} ve $E_{63}+\%1NiPc$ örneklerinin manyetik alan etkisi altında farklı frekanslardaki dielektrik anizotropi değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Bu grafiğe göre; düşük frekans değerlerinde katkılandırma oranının artması ile anizotropik yönelimlerinin değişimi belirgin bir şekilde azalırken, yüksek frekanslarda hem katkısız hem de katılı numunede yüksek frekanslarda dielektrik anizotropi manyetik alan değişiminden etkilenmektedir. Ayrıca her iki durumda da frekans arttıkça dielektrik anizotropi değerlerinin azaldıkları ve pozitif değerlerden negatif değerlere düştüğü bu tez çalışmasında saptanmıştır.

5.2 Öneriler

Sıvı kristallerin nematik fazında manyetik alan ve lazer ışığı etkisi bu tez çalışmasında araştırılmıştır. Sıvı kristallerin diğer faz durumları için (örneğin; smektik faz durumu vb.) için de bu çalışmada yapılan deneyler tekrarlanabilir. Elde edilecek verilerin sıvı kristallerin uygulama alanları olan LCD, sensör ve bazı fotovoltaik çalışmalarda bilim insanlarına yeni fikirler getirmesi beklenmektedir.

Özellikle, Şekil 5.2'deki sonuçları istinaden NiPc katkılı örnekte dielektrik anizotropinin dışardan uygulanan manyetik alanla değişiminin gözlenmesi, ilgili kompozit yapıların ferroit bir malzeme olma potansiyeli olduğunu göstermektedir. Bilindiği üzere ferroit malzemelerde elektriksel özelliklerin manyetik alanla ve manyetik özelliklerin de elektrik alanla değişebilmesi söz konusudur. İlgili kompozit yapıların ferroid malzeme olup olmadığının belirlenmesi için ileriki dönemde polarizasyon-elektrik alan ve mıknatıslama-manyetik alan karakteristiklerinin tespiti yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gennes. P.G ve Prost. J., (1997). The Physics of Liquid Crystals, Oxford University Press, New York.
- [2] Lehmann, O., (1889). "Flowing Crystals", Phys. Chem. 4: 462-472.
- [3] Finkelzeller, U., Geelhaar, T., Weber, G. ve Pohl, L., (1989). "Liquid-crystalline reference compounds". Liq. Cryst, 5: 313-319.
- [4] Dennin, M., (1995). A Study in Pattern Formation: Electroconvection in Nematic Liquid Crystals. Doktora tezi, University of, Santa Barbara, California.
- [5] Sıvı kristallerin faz değişimleri,
http://www.mpikg.mpg.de/886863/Liquid_Crystals.pdf, 5 Ocak 2016.
- [6] Kento, O., Anubhav, S., Masanobu, N., Goro, S., Masatoshi, T., Junji, W., ve Michiya, F., (2004). "First observation of a smectic A-cholesteric phase transition in a thermotropic liquid crystal consisting of a rigid-rod helical polysilane" Liquid Crystals, 31: 279-283.
- [7] Nematik sıvı kristal bir polimerin POM görüntüsü,
<http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/anisotropy/liquidcrystals.php>, 2 Şubat 2016.
- [8] Kalamitik sıvı kristal moleküllerinde sıvı kristal faz geçişleri ve her bir mezofaza ait POM resimleri,
<http://faculty.chem.queensu.ca/people/faculty/lemieux/Research.asp>, 7 Şubat 2016.
- [9] Gray, G., ve Winsor, P., (1974). Liquid Crystals and Plastic Crystals, Ellis Horwood Publ., Chichester, England.
- [10] Chandrasekhar, S., (1977). Liquid Crystals, Cambridge University Press, London-New York-Melbourne.
- [11] Smektik-A ve Smektik-C fazlarının temsili molekül düzeni ve POM resimleri,
<http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/lc/phase/phase.htm>, 27 Mayıs 2016.
- [12] Chandrasekhar, S., (1992). Liquid Crystals, Cambridge University Press, Cambridge-London.

- [13] Helis burulması ve helis adımının belirlenmesi, <http://www.slideshare.net/saurav91119/liquid-crystal-and-liquid-crystal-polymer>, 28 Mayıs 2016.
- [14] Nematik faza ait POM görüntüsü, <http://www-g.eng.cam.ac.uk/CMMPE/lcintro2.html>, 28 Mayıs 2016.
- [15] San,S.E., (2002). Molecular reorientation-based grating diffraction in dye-doped nematic liquid crystals with red pumping source, Doktora Tezi, GYTE, Kocaeli.
- [16] Janning , J. L., (1972). "Thin film surface orientation for liquid crystals" , Appl . Phys . Lett . 21:173-177.
- [17] Gray, G .W.,(1926). Molecular structure and properties of liquid crystals, Academic Press, New York-London.
- [18] Zwanzig, R., (1963). "First-Order Phase Transition in a Gas of Long Thin Rods" , J, Chem. Phys., 39:1714-1719.
- [19] Savithramma ve N. V Madhusudana., , (1980). " Mol. Cryst. Liq. Cryst" ., 62, 63.
- [20] Frenkel, D. ve Mulder, B.M., (1985)."Mol. Phys" ., 55, 117.
- [21] Fréedericksz, V.ve Repiewa, A., (1927). "Zeitschrift für Physik Society" , 42: 532-546.
- [22] Kundu, B., Pal, S.K., Kumar, S., Pratibha, R.,ve Madhusudana, N. V., (2010). "Phys. Rev. E",82: 061703.
- [23] Lueder, E., (2001). Liquid Crystal Displays, John Wiley & Sons Ltd, England.
- [24] Manohar, R., Pandey, K.K., Srivastave, A. K., Misra, A.K., ve Yadav, S.P., (2010). "J. Phys." Chem. Solids, 71: 1311-1315.
- [25] Köysal, O., (2007), Dielectric spectroscopy analysis in employing liquid crystal phthalonitrile derivative in nematic liquid crystals,Doktora Tezi, GYTE Fizik bölümü, GEBZE.
- [26] Khoo, I-C., (1995). Liquid Crystals; Physical Properties and Nonlinear Optical Phenomena; Wiley & Sons Inc.
- [27] Sıvı kristallerde dielektrik anizotropi, <http://dept.kent.edu/spie/liquidcrystals/emfield1.html> , 3 Nisan 2016.
- [28] Bahadur, B., 1990. Liquid Crsytal Applications and Uses Vol. 1, World Scientific, Singapore.
- [29] Chen, Y. Peng, F, Yamaguchi, T. Song, X ve Wu, S-T. (2013). "High Performance Negative Dielectric Anisotropy Liquid Crystals for Display Applications", Crystals, 3: 483-503.
- [30] Luckhurst, G.R., ve Sluckin, T.J., (2015) Biaxial Nematic Liquid Crystals Theory, Simulation ve Experiment, John Wiley & Sons Ltd, UK.

- [31] Rajan, G., (2015) Optical Fiber Sensors: Advanced Techniques and Applications, CRC Press, USA, pp 206.
- [32] Çift kırıcı malzemelerde polarize olmayan ışığın davranışı,
<http://www.olympusmicro.com/primer/lightandcolor/birefringence.html>,
7 Mart 2016.
- [33] Dennin, M., (1995). A Study in Pattern Formation: Electroconvection in Nematic Liquid Crystals. PhD thesis, Department of Physics, University of California, Santa Barbara.
- [34] Mansfeld, F., (1981). "Recording and Analysis of AC Impedance Data for Corrosion Studies: 1. Background and Methods for Analysis" Corrosion, 37: 301-307.
- [35] Mansfeld, F. Kendig, M. W., ve Tsai, S., (1982). "Recording and Analysis of AC Impedance Data for Corrosion Studies: 1. Experimental Approach and Results" Corrosion, 38: 570-580.
- [36] Lorenz, W. J. ve Mansfeld, F., (1981). "Determination of Corrosion Rates by Electrochemical DC and AC Methods" Corrosion Science, 21: 647.
- [37] Sluyters, J. H. Ve Oomen, J. J. C., (1960). "On the Impedance of Galvanic Cells: 11. Experimental Verification" Recueil, 79: 1-101.
- [38] Zimmerman, A. H., (1982) "Impedance and Mass Transport Kinetics of Nickel Cadmium Cells" J. Electrochem. Soc, 129: 289-293.
- [39] McCann, J. F., ve Badwal, S. P. S., (1982). "Equivalent Circuit Analysis of the Impedance Response of Semiconductor/Electrolyte/Counter-electrode Cells" J. Electrochem. Soc, 129: 551-559.
- [40] Weber, M. F., Schumacher, L. C., ve Dignam, M. J., (1982). "Effect of Hydrogen on the Dielectric and Photoelectrochemical Properties of Sputtered TiO₂ Films" J. Electrochem. Soc, 129: 2022-2028.
- [41] GYTE Organik Polimerler Elektroniği Gurubu
www.polimerler.com ,2 Şubat 2016.
- [42] Dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısım spektrumu,
<http://www.psrc.usm.edu/mauritz/dilect.html> , 4 Mart 2016
- [43] Debye, P., (1913)., Ver. Deut. Phys. Gesell. 15: 777; reprinted (1954) in collected papers of Peter J.W. Debye Interscience, New York.
- [44] Cole, K.S., Cole, R.H., (1941). "Dispersion and Absorption in Dielectrics - I Alternating Current Characteristics". J. Chem.Phys.9:341-352. Bibcode:1941JChPh.9.341C. doi:10.1063/1.1750906.
- [45] Cole, K.S., ve Cole, R.H., (1942). "Dispersion and Absorption in Dielectrics - II Direct Current Characteristics". Journal of Chemical Physics 10: 98-105. Bibcode:1942JChPh..10...98C. doi:10.1063/1.1723677.

- [46] Davidson, D. W. ve Cole, R. H., (1950), J. Chem. Phys. 18: 1417. b) Davidson, D. W. ve Cole, R. H., (1951). J. Chem. Phys. 19: 1484.
- [47] Havriliak, S., ve Negami, S., (1967). "A complex plane representation of dielectric and mechanical relaxation processes in some polymers". Polymer 8: 161–210.doi:10.1016/0032-3861(67)90021-3.
- [48] Zorn, R., (1999). "Applicability of Distribution Functions for the Havriliak–Negami Spectral Function". Journal of Polymer Science Part B 37 (10): 1043–1044.
- [49] Instec Focus on Excellence, www.instec.com ,10 Nisan 2016
- [50] Manohar, R., Pandey, K.K., Srivastava, A.K., Misra, A.K.,ve Yadav, S.P., (2010). "Sign inversion of dielectric anisotropy in nematic liquid crystal by dye doping", Journal of Physics and Chemistry of Solids, 71: 1311-1315.
- [51] Heilmeyer, G.H., ve Zanoni L.A., (1968). " Guest-Host Interactions in nematic Liquid Crystals" Appl, Phys. Lett. A New Electro-Optic Effect (13).
- [52] S.W. Kang, L.C. Chien, ve Macromol. Res. 15 (5) (2007) 396–402.
- [53] Okutan, M., San, S.E., ve Köysal, O., (2005). "Dyes and Pigments" 65:169-174.
- [54] Gu, M., Yih, Y., ve Shiyonovski, S.V., (2007). "etal phys.Pev E" 76:061702-1/12.
- [55] Gauza, S., ve Jiao, M., (2008). "S.T.W Lig.Cryst",35: 1401-1408.
- [56] Gu, M. Ve Smalykuh, L.L., (2006). "etal, Appl Phys.Relat", 88:061110-1/3.
- [57] Özdemir, Z.G., Canli, N.Y., Senkal, B., Gürsel, Y., ve Okutan, M., (2015). "Journal of Molecular Liquids", 211: 442.
- [58] Barsoukov, E., ve Macdonald, J. R., (2005). Impedance spectroscopy: theory, experiment, and applications John Wiley & Sons, NJ.
- [59] Das, P.R., Pati, B., Sutar, B.,ve Choudhury, R., (2012). "Advanced Materials Letters", 3: 8.
- [60] Tiwari, T., Srivastava, N., ve Srivastava, P. C., (2013). "Int. J. Electrochem", Article ID 670914.
- [61] Elliott, S., (1987). Advances in Physics, 36: 135.
- [62] Ghosh, A., (1990). Physical Review B, 41: 1479.
- [63] Elliott, S., (1994). Solid State Ionics, 70: 27.
- [64] Tiwari, T., Srivastava, N., ve Srivastava, P. C., (2013). "Int. J. Electrochem", Article ID 670914.

- [65] Ghosh, A., (1990). "Physical Review B", 41: 1479.
- [66] Lunkenheimer, P., Götzfried, T., Fichtl, R., Weber, S., Rudolf, T., Loidl, A., Reller, A., ve Ebbinghaus, S., (2006). "Journal of Solid State Chemistry", 179: 3965.
- [67] Shanefield, Daniel J., (2001). "Industrial Electronics for Engineers, Chemists, and Technicians", Elsevier. pp. 18–19. ISBN 0815514670.
- [68] Fogiel, Max., (1988). "The electronics problem solver", Research & Education Assoc. pp. 1032.B–1032.D. ISBN 0878915435.
- [69] Rybin, Yu. K., (2011). "Electronic Devices for Analog Signal Processing", Springer. pp. 155–156. ISBN 9400722044.
- [70] Radmanesh, Matthew M., (2009). "Advanced RF & Microwave Circuit Design", AuthorHouse. pp. 479–480. ISBN 1425972438.
- [71] Gilmour, A. S. (2011). "Klystrons, Traveling Wave Tubes, Magnetrons", Cross-Field Amplifiers, and Gyrotrons. Artech House. pp. 489–491. ISBN 1608071847.
- [72] Carr, J. J., (1997). "Microwave & Wireless Communications Technology", USA: Newnes. pp. 313–314. ISBN 0750697075.
- [73] Janusz, G., (1964). "Frequency of Self-Oscillations", Warsaw: Pergamon Press - PWN (Panstwowe Wydawnictwo Naukowe). pp. 45–51. ISBN 1483280306.
- [74] Durağan ve Değişken dirençlerin farkı,
https://en.wikipedia.org/wiki/Negative_resistance , 14 Mayıs 2016.
- [75] I-V eğrilerindeki negatif diferansiyel direnç,
https://en.wikipedia.org/wiki/Negative_resistance , 14 Mayıs 2016.

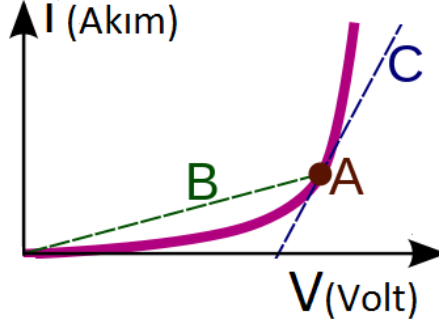
VCNR (VOLTAJ KONTROLLÜ NEGATİF DİRENÇ)

Voltaj Kontrollü Negatif Direnç Kavramı

Direnç, bir elektrik devresinden devreye uygulanan voltaja karşılık devreden geçen akımdan elde edilen akım-gerilim (I-V) eğimine göre tanımlanır. $I=f(V)$ grafiğinin eğiminin tersi direnç olarak tarif edilmektedir. Bir çok malzeme pozitif bir dirence sahiptir, başka bir deyişle ve bu da ohm kanuna uyarınca malzemeye uygulanan gerilim arttıkça malzemedeki geçen akım da bir artış gözlemlenir

Negatif direnç ise devreye uygulanan gerilimin artışına karşılık devreden geçen akımın azalması ile kendini karakterize eder ve böylelikle I-V karakteristikleri ohm kanununa uymaz. Negatif direnç bazı lineer olmayan elektronik devre elemanlarında gözlenen bir davranıştır. Bu devre elemanlarına örnek olarak tünel diyotları, Gunn diyonu, mikrodalga vakum tüpleri, neon lambaları verilebilir [67-71]. Pozitif dirençli sistemlerde malzemedeki akım geçerken bir güç harcanırken; negatif dirençli sistemlerde akım geçerken güç üretimi söz konusu olur [72,73].

Böylesi lineer olmayan (nonlinear) bir devre elemanı veya aygıtın bileşenlerinde I-V grafiği düzgün bir eğriye sahip değildir, bu nedenle Ohm kanununa uymazlar. Bu sistemlerde direnç sabit bir değere sahip değildir yani voltajın akıma karşı değişmesine göre değerler alır. Nonlinear elektronik devre elemanları için iki tip dirençten söz etmek mümkündür: Statik (mutlak) ve diferansiyel direnç.



Şekil A. 1 Durağan ve Değişken dirençlerin farkı [74]

Şekil A.1’de Bu grafik statik ve diferansiyel dirençlerin farkını göstermektedir. B doğrusunun ters eğim değeri statik direnci tarif ederken; C doğrusunun da ters eğim değeri A noktasındaki diferansiyel direnci vermektedir.

Statik direnç, uygulanan voltajın akıma oranı olarak Denklem (A.1) ile tanımlıyken; diferansiyel direnç, uygulanan voltajın akıma göre değişimi şeklinde Denklem (A.2)’deki gibi ifade edilir.

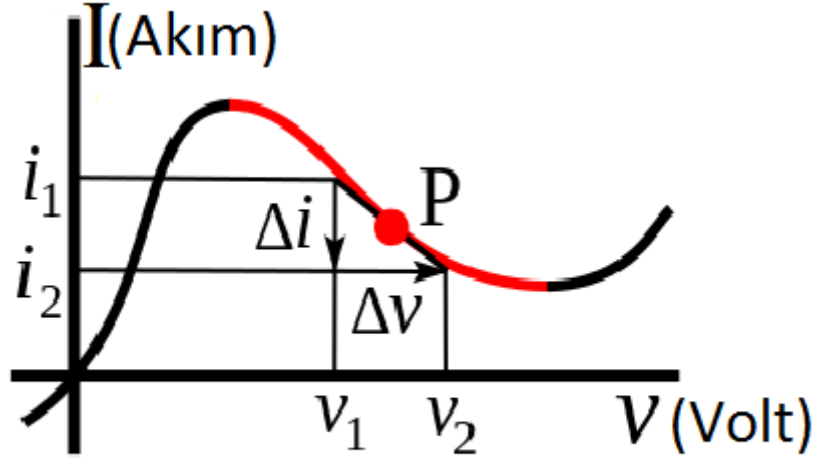
$$R_{statik} = \frac{V}{I} \quad (A.1)$$

$$r_{dif} = \frac{dv}{di} \quad (A.2)$$

Negatif dirençler de pozitif dirençlerde olduğu gibi ohm (Ω) cinsinden ölçülür. Direncin tersi olan iletkenlik ise Siemens birimiyle ifade edilir. Bu bağlamda statik ve diferansiyel iletkenlikler de sırasıyla Denklem (Ek-A.3) ve (Ek-A.4)’deki gibi tarif edilir:

$$G_{statik} = \frac{1}{R_{statik}} = \frac{i}{V} \quad (A.3)$$

$$g_{dif} = \frac{1}{r_{dif}} = \frac{i}{v} \quad (A.4)$$



Şekil A. 2 I-V eğrilerindeki negatif diferansiyel direnç [75]

Şekil A. 2’de negatif direnç kendini devreye uygulanan voltaj artarken, akımın azalması ile belli etmektedir. P noktasındaki diferansiyel direnç bu noktada grafiğe teğet olarak çizilen doğrunun eğiminin tersidir ve Denklem (A.5)’deki gibi hesaplanır.

$$r_{dif} = \frac{\Delta v}{\Delta i} = \frac{v_2 - v_1}{i_2 - i_1} \quad (\text{A.5})$$

Denklem (A.5) ve şekil A.2’den de görüleceği üzere $\Delta v > 0$ ve $\Delta i < 0$ olduğundan; P noktasında $r_{dif} < 0$ ‘dir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Ömer YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri :20.04.1983 MARDİN\Kızıltepe
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :omeryilmaz_85@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Fizik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Fizik	İstanbul Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Şenyurt Lisesi	2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014	Yalova Üniversitesi	Öğretim Görevlisi(Halen)

YAYINLARI

Makale

1. Y. Gursel, B.F. Şenkal, N. Yılmaz Canli, Z. Güven Özdemir, E. Ahlatcioğlu, Ö. Yılmaz, M. Okutan, Addition of single-wall carbon nanotubes to a liquid crystal material: Impact on dielectric properties, *Materials Science in Semiconductor Processing*, Volume 34, June 2015, Pages 182–188.
2. Z.Güven Özdemir, N.Yılmaz Canli, Ö. Yılmaz, A. Kırsoy, M.Okutan, O. Köysal, The electrical properties of nickel (II) phthalocyanine and phenyl-C61-butyric-acid-methyl ester doped nematic liquid crystals under laser light, *Polymers for Advanced Technologies*, Volume 26, Issue 12, December 2015, Pages 1587–1592.
3. Z. Güven Özdemir, N. Yılmaz Canli, M. Kılıç, O. Köysal, Ö. Yılmaz, M. Okutan, Molecular Orientation of Nickel Phthalocyanine Doped Nematic Liquid Crystal Composite Under Magnetic Field, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, basıma kabul edildi (Nisan 2016).
4. Z. Güven Özdemir, N. Yılmaz Canli, Ö. Yılmaz, A. Kırsoy, M.Okutan, O. Köysal, The Effect of Laser Light on VCNR Behavior of NiPc and PCBM Doped Nematic Liquid Crystals, 1st International Conference on Organic Electronic Material Technologies (OEMT'2015) / 25-28 March 2015, Elazig, Turkey
5. M. Kılıç, Z. Güven Özdemir, N. Yılmaz Canli, A. Evrim Bulgurcuoğlu, O. Köysal, Ö. Yılmaz, M. Okutan, The Impact of NiPc Additive and Laser Light Dielectric Properties of E63 Nematic Liquid Crystal, *Ferroelectrics* dergisinde incelemede, Nisan 2016.