



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

**KUANTUM NOKTA KATKILI POLİMER DAĞITILMIŞ SIVI
KRİSTAL KOMPOZİT YAPILARIN ELEKTRO-OPTİK VE
DİELEKTRİK KARAKTERİZASYONU**

SERKAN BALCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. OĞUZ KÖYSAL**

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KUANTUM NOKTA KATKILI POLİMER DAĞITILMIŞ SIVI
KRİSTAL KOMPOZİT YAPILARIN ELEKTRO-OPTİK VE
DİELEKTRİK KARAKTERİZASYONU

Serkan BALCI tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Oğuz KÖYSAL

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Oğuz KÖYSAL

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir GÖKŞEN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Arif KÖSEMEN

Muş Alparslan Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 05/04/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

05 Nisan 2021

Serkan BALCI



TEŐEKKÜR

Mesleđimi geliőtirmek, ayrıntılarını öğrenmek ve öğrencilerime faydalı olmak için önümde aşmam gereken birçok engel olduğunun farkında olarak,

Uzmanlık eğitimim boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve tecrübelerinden yararlanırken göstermiş, olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli danışman hocam, sayın Prof. Dr. Oğuz KÖYSAL' a;

Özellikle tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Gülsüm KOCAKÜLAH' a; birlikte çalışmaktan gurur duyduğum ekip arkadaşlarıma, değerli öğrencilerime;

Yüksek lisans yapmam için destekleyen, umut aşıl原因an değerli abim Prof. Dr. Mustafa ERKOVAN' a, beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan annem, babam ve kardeşime ayrıca eşim Emel öğretmene ve çocuklarım Ceren ve Caner'e sonsuz teşekkürler.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2020.05.02.1054 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

05 Nisan 2021

Serkan BALCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. SIVI KRİSTALER	4
2.1. SIVI KRİSTALLERİN TARİHÇESİ	4
2.2. SIVI KRİSTALLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ	4
2.3. SIVI KRİSTALLERİN YAPISI	5
2.4. SIVI KRİSTALLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	7
2.4.1. Termotropik Sıvı Kristaller	7
2.4.1.1. Nematik Sıvı Kristaller	8
2.4.1.2. Simetik Sıvı Kristaller	9
2.4.1.3. Kolesterik Sıvı Kristaller.....	10
2.4.2. Liyotropik Sıvı Kristaller	11
2.5. SIVI KRİSTALLERDE YÖNELİMLER.....	11
3. POLİMER / SIVI KRİSTAL KOMPOZİT YAPILAR.....	14
3.1. POLİMERLER.....	14
3.2. POLİMER STABİLİZE SIVI KRİSTAL KOMPOZİT YAPILARIN ELEKTRO-OPTİK DAVRANIŞLARI	15
3.3. POLİMER DAĞITILMIŞ SIVI KRİSTAL KOMPOZİT YAPILAR	16
3.4. PDSK HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ.....	17
3.4.1. Enkapsülasyon Yöntemi	18
3.4.2. Faz Ayırma Yöntemi.....	18
3.4.2.1. Polimerizasyon Kaynaklı Faz Ayırma Yöntemi	18
3.4.2.2. Sıcaklık Kaynaklı Faz Ayırma Yöntemi.....	19
3.4.2.3. Çözücü Kaynaklı Faz Ayırma Yöntemi	19
3.5. PDSK/KUANTUM NOKTA KOMPOZİT YAPILAR.....	19
3.5.1. Yarı İletken Kuantum Noktalar	20
4. POLİMER/SIVI KRİSTAL MALZEMELERİN ELEKTRO- OPTİK ve DİELKTRİK ÖZELLİKLERİNDE TEORİK YAKLAŞIMLAR	22
4.1. OPTİK ÖZELLİKLER.....	22
4.1.1. Optik Anizotropi	22
4.1.2. Optik Bant Aralığı Değeri	23
4.2. ELEKTİRKSEL VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLER.....	23
4.3. ELEKTRO-OPTİK ÖZELLİKLER.....	29

5. DENEYSEL YÖNTEM	31
5.1. KULLANILAN MALZEMELER	31
5.2. NUMUNALERİN HAZIRLANMASI.....	32
5.3. ÖLÇÜMLER.....	33
5.3.1. Dielektrik Ölçümler	33
5.3.2. Elektro-Optik Ölçümler	33
5.3.3. Termal Ölçümler	34
5.3.4. Morfolojik Ölçümler	35
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
6.1. TERMAL ÖZELLİKLER	36
6.2. MORFOLOJİK ÖZELLİKLER.....	37
6.3. ELEKTRO-OPTİK ÖZELLİKLER.....	38
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
8. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Maddenin katı kristal ve sıvı fazı arasında sıcaklığa bağlı faz geçiş diyagramı.....	5
Şekil 2.2. Sıvı kristal moleküllerin farklı moleküler dizilimlerine göre oluşan üç boyutlu yapılarının şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.3. Sıvı kristallerin temel molekül yapısı.....	6
Şekil 2.4. Sıvı kristallerin sınıflandırılması.....	7
Şekil 2.5. Termotropik sıvı kristallerde faz geçişinin sıcaklığa bağlı gösterimi.....	8
Şekil 2.6. Nematik sıvı kristallerin a) şematik gösterimi ve b) polarize mikroskop görüntüsü [28].	8
Şekil 2.7. a) Simektik A ve b) Simektik C ; sıvı kristallerin şematik gösterimi ve polarize mikroskop görüntüsü.....	9
Şekil 2.8. Kolesterik kristallerin a) şematik gösterimi b) polarize mikroskop görüntüsü. [32].	10
Şekil 2.9. Liyotropik sıvı kristallerde faz geçişinin konsantrasyona bağlı gösterimi.....	11
Şekil 2.10. Liyotropik sıvı kristalin şekli ve açık formülü (Sabun Molekülü).	11
Şekil 2.11. Sıvı kristal hücrelerin içerisinde moleküllerin a) Paralel, b) Bükülmüş ve c) Dik yöneliminin şematik gösterimi.....	12
Şekil 3.1. Paralel yönelimli bir LC hücrede KN katkılı PSSK kompozitlerinin şematik diyagramı (a) elektrik alanı olmadan ve (b) elektrik alanı varlığında.....	15
Şekil 3.2. KN katkılı PDSK yapının ışıkla etkileşiminin şematik gösterimi a) elektrik alanı olmadan ve b) elektrik alanı varlığında.....	17
Şekil 3.3. Kuantum noktalarının boyutlarının değişimi ile yasak enerji bant aralıklarının değişimi.....	20
Şekil 3.4. Yarı iletken kuantum noktaların boyutlarına bağlı fotoluminesans değerleri.	21
Şekil 4.1. Paralel levhalar arasında boşluk ve dielektrik malzeme bulunan kondansatör.	24
Şekil 4.2. Kayıp tanjant vektör diyagramı.....	26
Şekil 4.3. Tek relaksasyon zamanına sahip sistemler için Cole-Cole diyagramı.....	27
Şekil 4.4. Sıvı kristal molekülünün elektrik alan içinde yönelimi.....	28
Şekil 5.1. E63 kodlu Nematik SK'in moleküler yapısını oluşturan bileşenler.....	31
Şekil 5.2. Kullanılan sıvı kristal hücrelere ait temsili gösterim ve ölçüler.....	32
Şekil 5.3. Örneklerin UV ışık ile polimerizasyonunun şematik gösterimi.....	33
Şekil 5.4. Dielektrik ölçümler için kullanılan deney düzeneği.....	33
Şekil 5.5. Voltaja bağlı optik geçirgenlik deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	34
Şekil 5.6. Termal ölçümler için kullanılan deney düzeneği.....	34
Şekil 5.7. Hazırlanan saf ve katkılı numunelerin morfolojik analizi için kullanılan SEM cihazı.....	35
Şekil 6.1. (a) E63 SK, (b) PDSK ve (c) PDSK/KN kompozit yapılarına ait DSC grafikleri.....	36
Şekil 6.2. (a) PDSK ve (b) PDSK/KN kompozit yapılarına ait SEM görüntüleri.....	37
Şekil 6.3. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının voltaja bağlı geçirgenlik grafiği.....	38
Şekil 6.4. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının ϵ' -f değişim grafiği.....	40
Şekil 6.5. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının ϵ'' -f değişim grafiği.....	40
Şekil 6.6. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının Cole-Cole grafiği.....	41

Şekil 6.7. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının σ_{ac} -f değişim grafiği. 42



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

- Çizelge 6.1. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının elektro-optik parametreleri..... 39
Çizelge 6.2. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının dielektrik parametreleri..... 41



KISALTMALAR

AC	Alternatif akım
CdSeS/ZnS	Kadmiyum Selenyum Sülfür / Çinko Sülfür
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
He-Ne	Helyum-Neon
ITO	İndiyum kalay oksit
KN	Kuantum Nokta
NOA65	Norland optical adhesive 65
PDSK	Polimer dağılmış sıvı kristal
PDSK/KN	Polimer dağılmış sıvı kristal/Kuantum nokta
PMMA	Polimetilmetakrilat
PS	Polistiren
PSSK	Polimer stabilize sıvı kristal
PVA	Polivinil alkol
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SK	Sıvı Kristal
UV	Ultraviyole

SİMGELER

A	Yüzey alanı
C	Kondansatörün sığası
C_0	Plakalar arasında boşluk bulunan kondansatörün sığası
cm	Santimetre
cm^2	Santimetre kare
CR	Zıtlık oranı
d	Kalınlık
E	Elektrik alan
E_g	Optik bant aralığı
E_t	Freedericksz eşiği
eV	Elektronvolt
F	Farad
f	Frekans
f_c	Geçiş frekansı
f_R	Relaksasyon frekansı
G	İletkenlik
h	Planck sabiti
h γ	Foton enerjisi
Hz	Hertz
I	Akım
I_{gelen}	Gelen ışık şiddeti
$I_{saçılan}$	Saçılan ışık şiddeti
$I_{çıkan}$	Çıkan ışık şiddeti
K_{11}	Eğilme elastik sabiti
K_{22}	Burulma elastik sabiti
K_{33}	Bükülme elastik sabiti
kHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
mW	Miliwatt
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
nA	Nanoamper
nm	Nanometre
n_e	Sıradan olmayan kırılma indisi
n_o	Sıradan kırılma indisi
n_p	Polimerin kırılma indisi
$n_{ }$	Kırılma indisinin paralel bileşeni
n_{\perp}	Kırılma indisinin dik bileşeni
\hat{n}	Moleküllerin ortalama yönelim vektörü
P	Helis adımı
R	Yarıçap

s	Saniye
S	Düzen parametresi
Si	Silisyum
T	Geçirgenlik
$\tan\theta$	Kayıp tanjant faktörü
T_f	Akış sıcaklığı
T_g	Cam geçiş sıcaklığı
T_{N-I}	Nematik fazdan izotropik faza geçiş sıcaklığı
T_{I-N}	İzotropik fazdan nematik faza geçiş sıcaklığı
T_{off}	Minimum geçirgenlik
T_{on}	Maksimum geçirgenlik
V	Volt
V_0	Boşluğun potansiyel farkı
V_{on}	Satürasyon voltajı
V_{th}	Eşik voltajı
α	Dağılım parametresi
ω	Açısal frekans
Δn	Optik anizotropi
$\Delta\epsilon$	Dielektrik anizotropi
ΔT	Geçirgenlik farkı
μ	Dipol moment
μm	Mikrometre
μs	Mikrosaniye
%	Yüzde
Ω	Ohm
$\epsilon_{ }$	Elektrik alana paralel yönde ölçülen dielektrik sabiti
ϵ_{\perp}	Elektrik alana dik yönde ölçülen dielektrik sabiti
ϵ_0	Boşluk dielektrik sabiti
ϵ	Dielektrik sabiti
ϵ'	Dielektrik sabiti reel kısmı
ϵ''	Dielektrik sabiti sanal kısmı
ϵ_s	Dielektrik sabitinin düşük frekans limiti
ϵ_{∞}	Dielektrik sabitinin yüksek frekans limiti
σ	Yüzey yük yoğunluğu
τ	Relaksasyon zamanı
τ_{AC}	Alternatif akım iletkenlik değeri
τ_R	Yükselme süresi
τ_F	Düşme süresi
γ	Dönme vizkositesi

ÖZET

KUANTUM NOKTA KATKILI POLİMER DAĞITILMIŞ SIVI KRİSTAL KOMPOZİT YAPILARIN ELEKTRO-OPTİK VE DİELEKTRİK KARAKTERİZASYONU

Serkan BALCI
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Oğuz KÖYSAL
Nisan 2021, 48 sayfa

Bu tez çalışmasında, CdSeS/ZnS kuantum nokta (KN) katkılı polimer dağıtılmış sıvı kristal (PDSK) kompozit yapının dielektrik, elektro-optik, termal ve morfolojik karakterizasyonu yapılmıştır. Saf ve KN nokta katkılı PDSK kompozit yapıların dielektrik özellikleri frekansa bağlı olarak dielektrik/empedans spektroskopisi tekniği ile incelenmiştir. Numunelerin elektro-optik özellikleri ise elektro-optik geçirgenlik sistemi kullanılarak araştırılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen saf ve KN katkılı PDSK kompozit yapıların faz geçiş sıcaklıkları diferansiyel taramalı kalorimetre, morfolojik yapısı ise taramalı elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarından, saf ve KN katkılı PDSK kompozit yapıların kompleks dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımları, relaksasyon frekansı, eşik voltajı, relaksasyon zamanı, tepki süresi, faz geçiş sıcaklığı gibi fiziksel parametreleri belirlenmiş, ayrıca numunelerin morfolojik yapılarındaki değişimler irdelenmiştir. Sonuçlar, KN katkısının PDSK kompozit yapının fiziksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiğini ve PDSK/KN kompozit yapısının polimer ve sıvı kristal tabanlı opto-elektronik cihaz teknolojisinde farklı amaçlar ile kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Elektro-optik ve dielektrik özellikler, Kuantum nokta, Polimer dağıtılmış sıvı kristal.

ABSTRACT

ELECTRO-OPTICAL AND DIELECTRIC CHARACTERIZATION OF QUANTUM DOT DOPED POLYMER DISPERSED LIQUID CRYSTAL COMPOSITE STRUCTURES

Serkan BALCI

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Physics

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Oğuz KÖYSAL

April 2021, 48 pages

In this thesis, dielectric, electro-optical, thermal and morphological characterization of the CdSeS/ZnS quantum dot (QD) doped polymer dispersed liquid crystal (PDLC) composite structure has been made. The dielectric properties of pure and QD doped PDLC composite structures have been investigated by dielectric/impedance spectroscopy technique depending on the frequency. The electro-optical properties of the samples were investigated using the electro-optical switching method. The phase transition temperatures of the pure and QD doped PDLC composite structures were measured using differential scanning calorimeter and the morphological structure using scanning electron microscope. Physical parameters such as real and imaginary parts of the complex dielectric constant, relaxation frequency, threshold voltage, relaxation time, response time, phase transition temperature of pure and QD doped PDLC composite structures were determined from the experimental results, and the morphological structures of the samples were obtained. The results showed that the QD additive significantly changed the physical properties of the PDLC composite structure and the PDLC/QD composite structure could be used in polymer and liquid crystal based opto-electronic device technology.

Keywords: Electro-optic and dielectric properties, Quantum dot, Polymer dispersed liquid crystal.

1. GİRİŞ

Bilim insanları maddeyi her yönüyle tanımaya çalışmışlar, onu tanımlarken temel özellikleri olan fiziksel fazların uzayda yer kapladığını, kütlesi olduğunu ve tanecikli yapılardan oluştuğunu gözlemleyerek sınıflandırma yoluna gitmişlerdir. Madde katı, sıvı, gaz ve plazma olmak üzere dört ana fazdan oluşmaktadır. Fiziki bilimlerde faz, bir malzemenin fiziksel özelliklerinin her noktasında aynı olduğu bölgedir. Her bir fazda atomların serbestlik dereceleri, simetrisi ve dağılımları farklıdır. Örneğin katılar, sıvılar ve gazlar ile karşılaştırıldığında daha düzgün bir moleküler düzene ve daha yüksek yoğunluğa sahiptir [1]. Katılarda atom ve moleküller periyodik bir örgü içerisinde konumsal bir düzene sahip oldukları için anizotropik bir yapı gösterirken, sıvılar moleküllerin düzensiz bir yerleşime sahip olmasından dolayı izotropik bir yapı göstermektedir [2].

Bilim insanları yapmış olduğu çalışmalarda, dünyayı oluşturan maddeleri moleküler yapısını esas alarak, katı, sıvı, gaz ve plazma halleri ile sınıflandırmıştır. Aslında günlük yaşantımız içerisinde maddelerin uygulanan dış etkiler ile faz değiştirdiğini görebiliriz. Örneğin, madde ısıtıldığında doğrudan katı halden sıvı hale geçmek yerine moleküler düzeni katı ile sıvı arasında olan ara bir fazda bulunabilir. Bu ara fazda bulunan yapılar, katılar gibi tek ya da iki boyutta yönelimsel ve konumsal düzene sahip olduğu gibi sıvıların sahip olduğu akışkanlık özelliklerini de korur. Bu özelliklerinden dolayı bu malzemeler sıvı kristal olarak adlandırılır [3].

Sıvı kristaller, katı kristallere benzer özellikler göstermek ile birlikte sıvılar gibi akışkan özelliğine de sahiptir. Ayrıca katı kristallerdeki gibi yöne bağlı olan atomik düzenlemelere bağlı olarak optik, mekanik, fiziksel ve elektriksel özellikleri de değişiklik gösterebilmektedir. Sıvı kristal malzemelerin sahip olduğu bu eşsiz özellikler sayesinde sıvı kristal temelli cihaz uygulamalarının gelişmesi hız kazanmıştır [4], [5]. Özellikle elektrik ve manyetik alan gibi dış etmenlere karşı moleküler düzenin rahatça değiştirilebilmesi, sıvı kristal yapıların sensör, açılır kapanır pencere, holografik bilgi depolama vb. birçok alanda kullanılmaya başlanmasına katkıda bulunmuştur. Ayrıca nano seviyedeki moleküller ile kolay bir şekilde etkileşime girmeleri ve düşük voltaj

uygulamalarına yatkınlıkları sebebiyle bilgisayar monitörleri, televizyonlar, saatler, hesap makineleri ve cep telefonu gibi önemli uygulamalarda da kullanım alanı bulmuşlardır [2]. Günümüzde sıvı kristal temelli yapılar pek çok alanda kullanılmakta ve geçen her gün farklı kullanım sahaları bulmaktadır.

Son yıllarda, araştırmacılar bu alandaki yoğun ve hızlı gelişime paralel olarak sıvı kristal temelli cihaz araştırmalarında, yeni sıvı kristallerin sentezlenmesi ve farklı katkı malzemeleri kullanılarak mevcut sıvı kristallerin fiziksel ve opto-elektronik özelliklerinin değiştirilmesine odaklanmışlardır. Yapılan çalışmalarda, altın nanoparçacıklar [6], [7], gümüş nanoparçacıklar [8], yarı iletken kuantum noktalar [9], [10], boyalar [11], [12], polimerler [13], [14] vb. farklı malzemelerinin sıvı kristallere katılarak yeni kompozit yapıların oluşturulduğu görülmektedir.

Polimer/Sıvı Kristal kompozit yapılar, polimer ve sıvı kristal malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu kompozit yapılar; açılır-kapanır pencereler, geniş alanlı büyük boyutlu ekranlar ve daha pek çok cihaz uygulamasının gelişmesini sağlamış ve araştırmacıların bu yönde çalışma yapmasına hız kazandırmıştır [18]. Oluşturulan bu tip kompozit yapılarda seçilen polimerin yapısı ve sıvı kristalin konsantrasyonu, yeni oluşturulan Polimer/Sıvı Kristal kompozit yapıların dielektrik ve elektro-optik özelliklerini değiştirebilmekte, ortaya çıkan bu kompozit yapının performans değerlerinde önemli değişimlere sebep olmaktadır [13], [15]-[16].

Son yıllarda üzerinde yoğun çalışma yürütülen diğer bir malzeme ise kuantum nokta yapılarıdır. Sıvı kristal yapılara yarı iletken kuantum noktaların katılmasıyla ortaya çıkan sıvı kristal-kuantum nokta kompozit yapılara bilim insanları ayrı bir önem vermektedir. Yarı iletken kuantum noktalar yüzlerce hatta binlerce atomdan oluşan, sıfır boyutlu malzemelerdir. Tartışmasız harika bir elektrik, manyetik ve optik özellikleri bünyesinde bulunduran yarı iletken kuantum noktalar, güneş hücrelerinde [17], [18] biyo-görüntüleme ve kanser tedavisinde [19], [20] ve daha pek çok alanda ilgi odağı haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, Kadmiyum Selenyum Sülfür / Çinko Sülfür (CdSeS/ZnS) kuantum nokta (KN) katkılanmış polimer dağıtılmış sıvı kristal (PDSK) kompozit yapının elektro-optik, dielektrik, termal ve morfolojik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Faz geçiş sıcaklığı, sıvı kristal damlacık boyutu ve tepki süresi parametrelerinin PDSK kompozit yapıya CdSeS/ZnS KN katılması ile önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Düşük güç

tüketimli cihaz üretiminde son derece önemli görülen eşik voltajı değerinin ise KN katkısıyla önemli ölçüde azaldığı elektro-optik geçirgenlik sistemi kullanılarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen yapıların dielektrik sabitlerinin reel ve sanal kısımları ile relaksasyon parametreleri dielektrik/empedans spektroskopisi tekniğinden elde edilen verilerden faydalanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, CdSeS/ZnS KN katkısının, PDSK kompozit yapının fiziksel özellikleri üzerinde olumlu ve performans karakteristiklerini iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca sonuçlar, KN katkılı PDSK kompozit yapısının sıvı kristal tabanlı cihaz uygulamalarına entegre edilebileceğini ve yeni üretilecek KN katkılı PDSK kompozit yapıların cihaz karakteristiklerinin araştırılmasında önemli bir bilgi altyapısı sağlayacağını öngörmektedir.



2. SIVI KRİSTALER

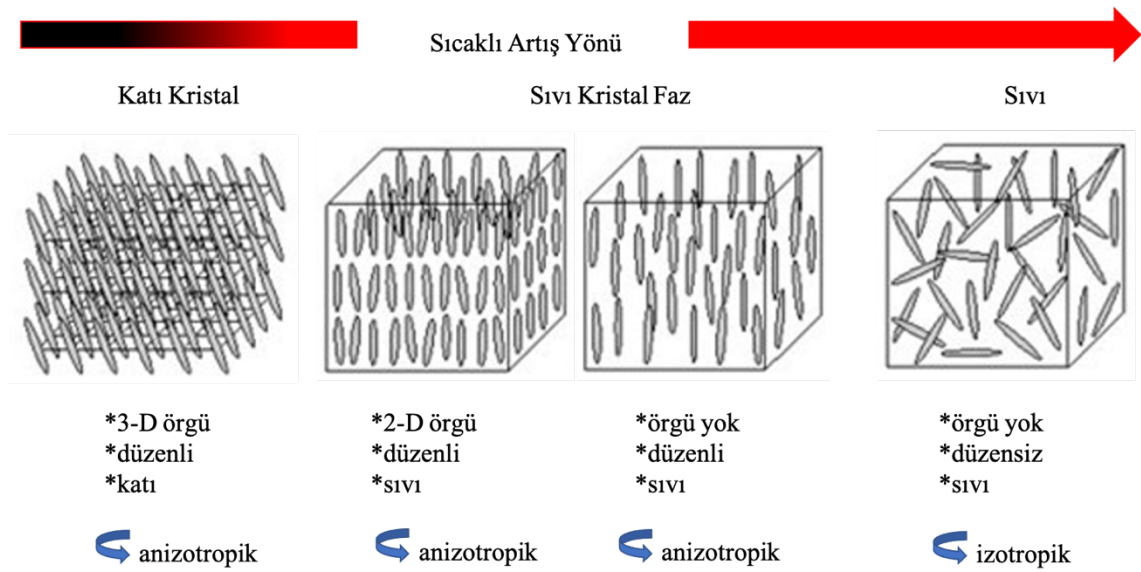
2.1. SIVI KRİSTALLERİN TARİHÇESİ

Bilim insanları, uzun yıllar maddeleri tanımaya çalışmış ve bu çalışmalarında doğada bulunan bütün maddelerin, atom ve moleküllerin çeşitli şekillerde bir araya gelmesiyle ortaya çıktığını görmüşlerdir. Maddenin belirli bir halini nitelemek için ise "faz" kelimesini kullanmayı tercih etmişlerdir. Bu konuda yapılan çalışmalarda bilim insanları temel de maddeleri üç faz halinde görmüş ve sınıflandırmışlardır. Bunlar maddenin içinde bulunduğu sıcaklık artışına göre girdiği katı, sıvı ve gaz fazlarıdır. Yapılan bu çalışmalar ışığında Avusturyalı bir botanikçi olan Friedrich Reinitzer, 1888'de kolesterollerin farklı türevlerine ait olan kolesteril benzoat isimli madde üzerinde çalışmalar yapmış ve bu maddenin iki ayrı erime sıcaklığına sahip olduğunu görmüştür. Katı haldeki kolesteril benzoatın, sıcaklık artışıyla önce opak renkli bulanık bir sıvıya dönüştüğünü; sıcaklık daha da artırıldığında ise berrak sıvı bir faza geçtiğini gözlemlemiştir. Friedrich Reinitzer berrak olmayan bu sıvının varlığını açıklayamadığı için örnekleri incelemesi için Alman fizikçi Otto Lehmann'a göndermiştir. Lehmann ısıtmalı ve soğutmalı bir sisteme sahip olan polarize mikroskop altında yaptığı incelemelerle bulanık sıvıya ait olan fazın anizotropik bir karakter taşıdığını ortaya koymuş ve termodinamik olarak kararlı olan bu fazın, maddenin yeni bir hali olduğu sonucuna varmıştır. Sonraki tarihlerde maddenin bu yeni hali Lehmann tarafından "sıvı kristal" olarak isimlendirilmiştir [21].

2.2. SIVI KRİSTALLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Katı fazda moleküller ya da atomlar belirgin bir düzen içerisinde ufak titreşimlerde bulunarak hareket ederken dönme hareketinde bulunamazlar. Molekül veya atomların bu şekilde olması, katı fazın konumsal bir düzeni olduğunu göstermektedir. Sıvı fazda ise moleküller ya da atomlar uzun erişimli bir düzene sahip olmamakla birlikte dönme hareketi ile birlikte öteleme hareketi de yapmaktadır. Şekil 2.1'de katı kristal fazdan sıvı kristal faza geçişin sıcaklığa bağlı değişimi verilmiştir [22]. Şekilde sıcaklık artışı ile katının erimeye başladığı, moleküller arasındaki düzenin bozularak, moleküllerin dönüş serbestliği kazandığı hal değişimi görselleştirilmiştir. Katı kristal ısıtılıp sıvı faza

geçtiğinde konumsal ve yönelimsel düzen kaybolur. Madde sıvı faza doğru geçerken ara durumda, katı kristal fazdan sıvı faza geçerken, moleküllerin uzun erişimli periyodik bir düzene sahip olduğu özel bir faz ortaya çıkar. Maddenin bu özel haline sıvı kristal (SK) faz denir. Bu faz, katı kristal faz ile maddenin sıvı fazı arasında bulunan ve bu iki fazın da özelliklerini üzerinde barındıran, maddenin özel bir halidir. Bu fazda konumsal ve yönelimsel düzen en belirgin özellik olup, yapı anizotropik özellik gösterir [23], [24]. Sıvı kristal hali veya başka bir deyişle mezomorfik hal katı kristal ile amorf sıvı hal arasında kalan bir ara faz grubudur.



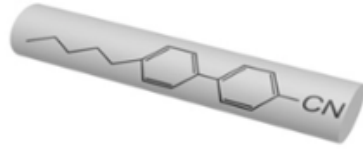
Şekil 2.1. Maddenin katı kristal ve sıvı fazı arasında sıcaklığa bağlı faz geçiş diyagramı.

Dışarıdan uygulanan herhangi bir etki sıvı kristal moleküllerinin aralarındaki çeşitli moleküler etkileşim mekanizmaları sebebiyle bu moleküllerin kolektif hareket edebilmelerini sağlamaktadır. Sıcaklık, elektrik alan, manyetik alan ve basınç gibi etkiler, sıvı kristal fazda bulunan moleküllerin yönlenmesini sağlayan en önemli dış etkilere dir. Dışarıdan uygulanan bu etkilere karşı yüksek hassasiyet gösteren sıvı kristaller, günümüzde opto-elektronik alanında geniş kullanım alanı bulmuş ve hali hazırda yapılan Ar-Ge çalışmaları ile de birçok teknolojik uygulamaları yeni yeni keşfedilmeye devam etmektedir [25], [26].

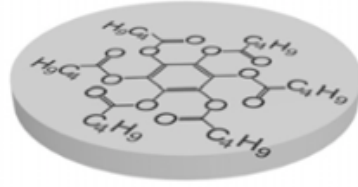
2.3. SIVI KRİSTALLERİN YAPISI

Sıvı kristaller, moleküllerinin arasında bulunan zayıf moleküler kuvvetler sebebiyle yönelimsel bir düzene sahiptir. Bu yapılar şekillenimlerine göre, çubuksu (kalamatik),

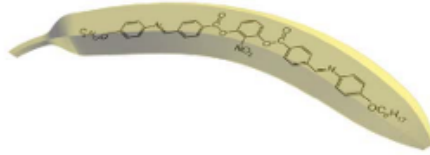
disk (diskotik) ve muz şekilli olmak üzere üç farklı biçimde görülmektedir.



a) Çubuksu Sıvı Kristal



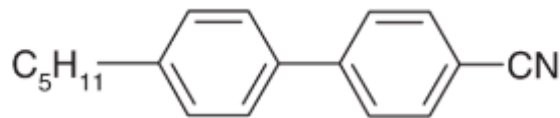
b) Diskotik Sıvı Kristal



c) Muz Şekilli Sıvı Kristal

Şekil 2.2. Sıvı kristal moleküllerin farklı moleküler dizilimlerine göre oluşan üç boyutlu yapılarının şematik gösterimi.

Şekil 2.2' de sıvı kristal moleküllerin farklı moleküler dizilimlerine göre oluşan şekilleri üç boyutlu olarak tasvir edilmeye çalışılmıştır [22]. Genel olarak bir bağlayıcı grup ve iki kenar (terminal) gruptan oluşan sıvı kristallerin temel yapısı Şekil 2.3' te verilmiştir. Sıvı kristallerin elektriksel, optik ve dielektrik özellikleri sahip oldukları bu gruplara bağlı olarak değişim gösterebilmektedir.

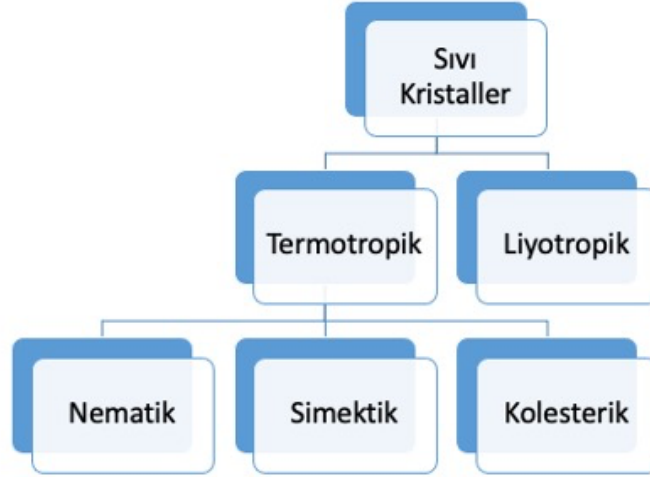


5CB (4-pentyl-4'-cyanobiphenyl)

Şekil 2.3. Sıvı kristallerin temel molekül yapısı.

2.4. SIVI KRİSTALLERİN SINIFLANDIRILMASI

Sıvı kristaller, ara fazların oluşumuna göre Şekil 2.4' te görüldüğü gibi Termotropik ve Liyotropik olarak iki ana gruba ayrılırlar.

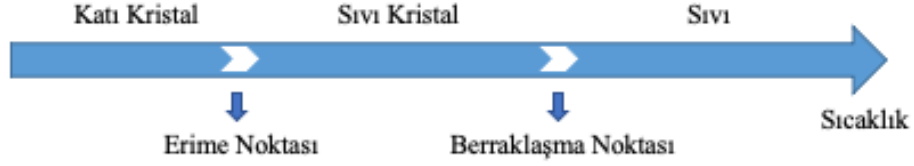


Şekil 2.4. Sıvı kristallerin sınıflandırılması.

Termotropik yapıların, ortaya çıkmasının temel nedeni sıcaklıktır. Termotropikler çubuksu veya disk biçimindeki moleküllerden oluşmaktadır. Nematik, simektik ve kolesterik olmak üzere farklı alt gruplardan oluşurlar. Liyotropikler ise birden çok organik bileşiğin bir araya gelmesiyle oluşan uzun zincirli molekülüdür. Liyotropiklerin ortaya çıkma nedeni ise konsantrasyon değişimi ile birlikte sıcaklık değişiminin de gerçekleşiyor olmasıdır. Fakat faz oluşumunda temel sebep konsantrasyondur [2].

2.4.1. Termotropik Sıvı Kristaller

Bilim insanları tarafından, en çok bilinen ve en yaygın çalışılan sıvı kristal türü termotropik sıvı kristallerdir. Bu yapılar, termal indükleme kullanılarak katı faz halinden izotropik sıvı faz haline geçebilmektedir. Bu faz geçişi, sıcaklık değişimi ile gerçekleşmektedir [27]. Şekil 2.5' te termotropik sıvı kristallerin faz geçişlerinin sıcaklık ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Termotropik sıvı kristallerde faz geçişinin sıcaklığa bağlı gösterimi.

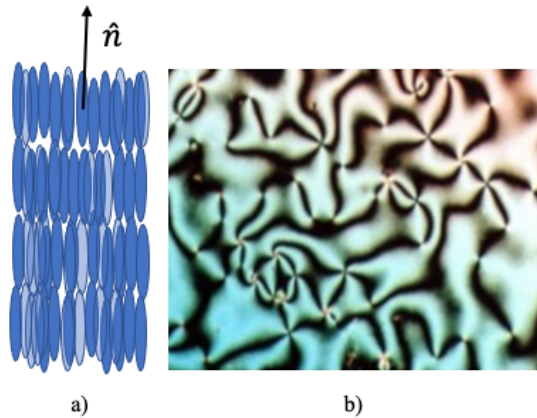
Termotropik sıvı kristallerin genel özelliklerini sıralamamız gerekirse;

- i. Disk, ince ya da çubuksu bir yapıya sahiptirler,
- ii. Yapılarında polar gruplar ve kalıcı gruplar bulundurlar,
- iii. Aromatik halkaları yapılarında bulundurdıkları için rijit bir yapıya sahiptirler,
- iv. Moleküler eksene yakın yerlerde kuvvetli dipol momentlere, uzak yerlerde ise zayıf dipol momentlere sahiptirler [22],
- v. Dipoller arasındaki çekimden dolayı moleküllerin konumları birbirine yakın ve paraleldir [4].

Sıcaklık değişimine bağlı olarak faz değişimi gösteren Termotropik sıvı kristaller; nematik, simektik ve kolesterik olmak üzere üç temel gruba ayrılmaktadır.

2.4.1.1. Nematik Sıvı Kristaller

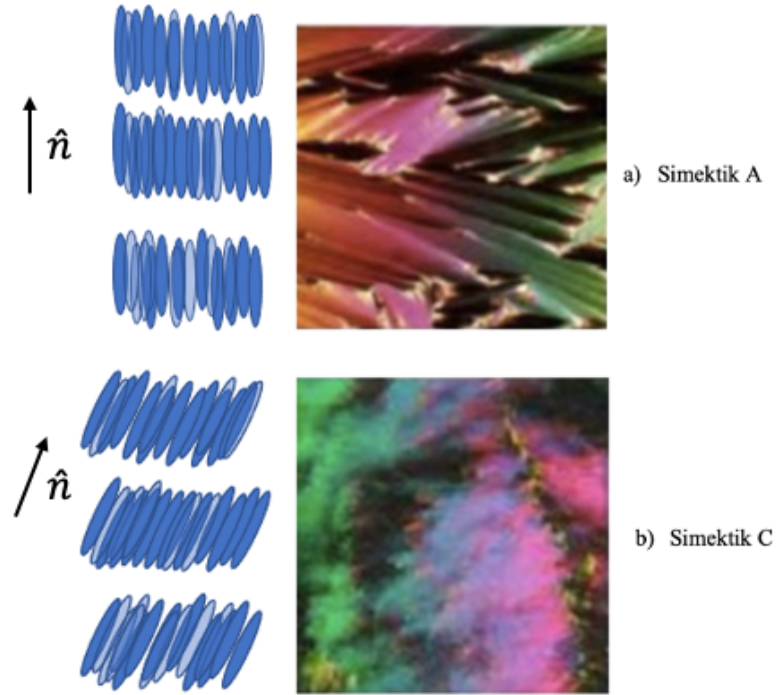
Yunancada iplik anlamına gelen "Nema" kelimesinden türetilen "nematik" kelimesi ilk kez Friedel tarafından kullanılmıştır [2]. Konumsal bir düzene sahip olmayan nematik fazdaki her molekülün, kütle merkezi rastgele dizilmiştir. Ancak moleküllerin uzun erişimli yönelimsel bir düzeni bulunmaktadır. Moleküller \hat{n} vektörü ile temsil edilen, ortalama bir yönelim doğrultusunda yönlenmişlerdir [22].



Şekil 2.6. Nematik sıvı kristallerin a) şematik gösterimi ve b) polarize mikroskop görüntüsü [28].

2.4.1.2. Simeetik Sıvı Kristaller

"Simeetik" kelimesi Yunancada sabun anlamına gelen "Smectos" kelimesinden türetilmiştir [29]. Simeetik faz, termotropik sıvı kristaller içerisinde en yoğun ve en düzenli faz olarak bilinmektedir. Katı faza, ısı uygulanmasıyla ortaya çıkan ilk ara faza simeetik faz denir. Nematik fazdaki gibi, simeetik fazda da moleküllerin yönelimsel düzenleri bulunmaktadır. Ayrıca moleküller, simeetik fazda bir düzlemde hizalanmaktadır. Bunu kısaca açıklamak gerekirse, bu fazda katmanlı bir yapı görülür ve moleküllerin uzun eksenleri bu katman düzleminde kalacak şekilde yerleşir. Hareket serbestliği moleküllerin sadece bu katmanlarında görülür [22]. Moleküllerin bu katmanlardaki yerleşim düzeniyle ilişkili olarak (A, B, C, ..., M) ile isimlendirilen on iki farklı simeetik faz yer almaktadır. Ancak bilim insanları yaygın olarak simeetik A ve simeetik C fazlarını kullanmaktadır [5]. Şekil 2.7' de Simeetik A ve Simeetik C sıvı kristallerin moleküler yönelimleri ve polarize mikroskop görüntüleri verilmiştir [30]. Simeetik SK'lerin akışkanlığa karşı (viskozite) direnci, nematik ve kolesterik faza göre daha yüksek olduğu için teknolojik uygulamaları çok yaygın değildir [27].

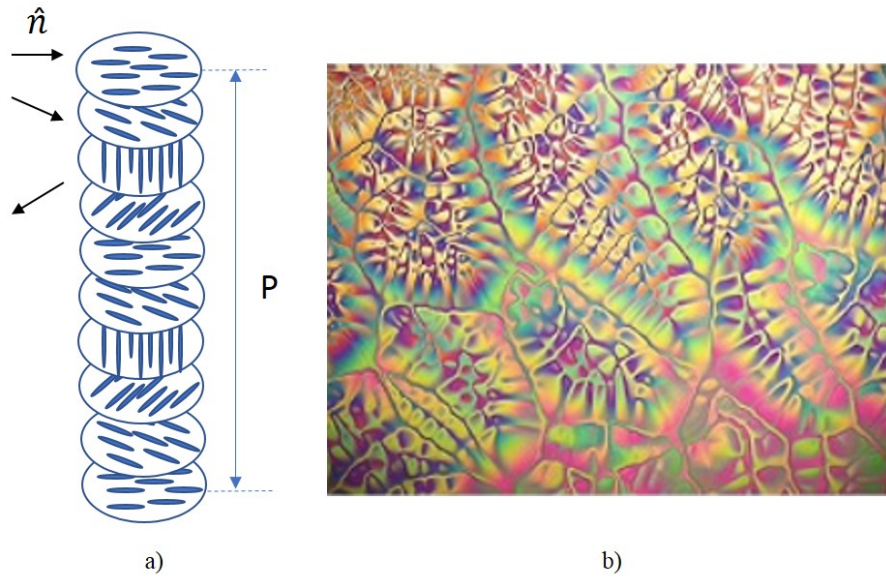


Şekil 2.7. a) Simeetik A ve b) Simeetik C ; sıvı kristallerin şematik gösterimi ve polarize mikroskop görüntüsü.

2.4.1.3. Kolesterik Sıvı Kristaller

Kolesterik sıvı kristaller, kiral moleküller ile nematik sıvı kristallerin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilir. Elde edilmiş yöntemi nedeniyle kolesterik sıvı kristallere "kiral nematik sıvı kristaller" adı verilmiştir. Nematik sıvı kristallere fiziksel özellikleriyle benzeyen bu fazda nematik fazdan farklı olarak, moleküllerin yönelimi bir silindirin ana doğrularını sabit bir açıyla kesen eğri şeklinde (helis) bir yapı oluşturur. DNA'nın (Deoksiribo Nükleik Asit) moleküler dizilim şekli benzerlik bakımından kolesterik sıvı kristallerin şekillenimine en iyi örnek olarak gösterilebilir [27].

Kolesterik fazda en önemli özelliklerden biri, direktörün bir tam turu tamamlamasıyla kat ettiği mesafe olarak tanımlanan helis adımı, P 'dir. Helis adımı ile karakterize edilen kolesterik sıvı kristaller, sola ve sağa burkulabilen spiral bir yapıya sahiptir. Görünür ışığın dalga boyu ile karşılaştırılabilir ölçekte olan P helis adımı sıcaklık ya da dış etkiler ile değişiklik göstermektedir. Kolesterik sıvı kristal yapısı, spiral eksenine dik bir manyetik alan ya da elektrik alan uygulanarak nematik sıvı kristal yapıya dönüştürülebilir [31].

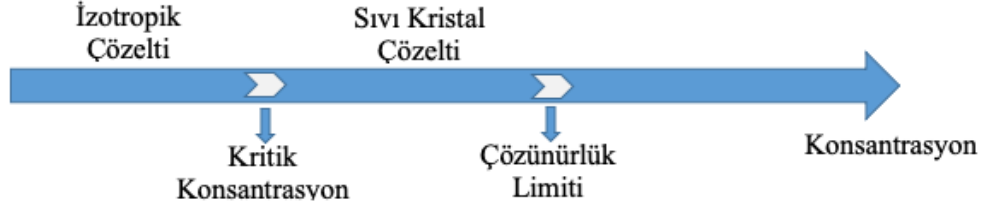


Şekil 2.8. Kolesterik kristallerin a) şematik gösterimi b) polarize mikroskop görüntüsü [32].

Sahip olduğu bu özellikler nedeniyle kolesterik sıvı kristaller, hassas sıcaklık sensörleri, tıpta hastalıklı dokuların teşhisi, termal görüntülemeler vb. uygulamalarda kullanılmaktadır [22], [24].

2.4.2. Liyotropik Sıvı Kristaller

İki ya da daha fazla organik bileşiğin belirli konsantrasyonlarda bir araya gelmesiyle liyotropik sıvı kristaller meydana gelmektedir. Yapıyı oluşturan bileşiklerin sayısı, türü, konsantrasyonu ve sıcaklığı bu fazın oluşmasında etkili faktörlerdendir. Sadece belirli bir sıcaklık aralığında değil aynı zamanda belirli konsantrasyon aralığında da aynı yapıya sahip olmasıyla liyotropik sıvı kristaller, termotropik sıvı kristallerden ayrılmıştır [41].



Şekil 2.9. Liyotropik sıvı kristallerde faz geçişinin konsantrasyona bağlı gösterimi.

Amfifilik özelliğe sahip liyotropik sıvı kristaller, polar bir baş kısım ve suda çözünmeyen apolar bir uç kısımdan oluşur [27]. Aynı zamanda uzun zincirlere sahip molekülleri bünyesinde barındırmaktadır. Şekil 2.10' da yapısı liyotropik sıvı kristale örnek olan sabun molekülünün moleküler şekli ve formülü verilmiştir.



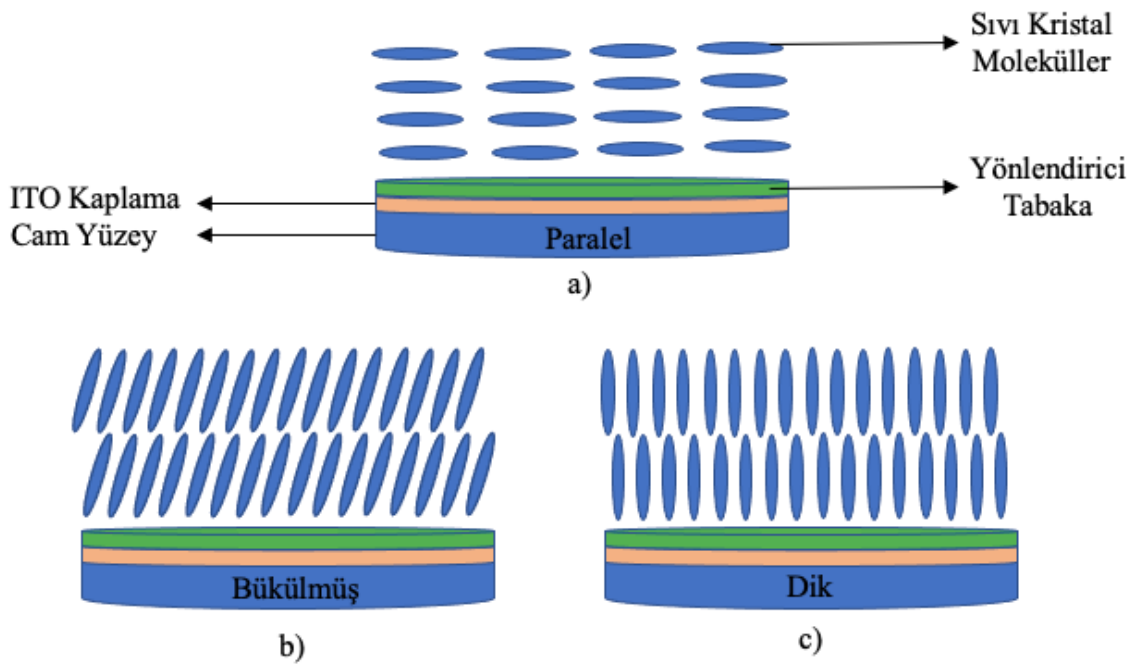
Şekil 2.10. Liyotropik sıvı kristalin şekli ve açık formülü (Sabun Molekülü).

2.5. SIVI KRİSTALLERDE YÖNELİMLER

Sıvı kristal hücre içerisinde moleküllerin yönelimi ayrı bir araştırma konusu olup, gerek deneysel gerekse teorik olarak bilim insanlarının kapsamlı araştırmalarına konu olmuştur. Sıvı kristal hücrelerine, kimyasal ya da farklı mekanik yüzeysel işlemler uygulandığında moleküllerin hücre içerisinde istenilen yönde yönelimi sağlanabilmektedir. Sıvı kristallerin hücre içinde bu şekilde yönelimlerinin kontrol edilebilmesi, cihaz tabanlı elektro-optik uygulamalarda ve görüntü teknolojilerinde önem arz etmektedir [22].

Nematik sıvı kristallerde moleküler yönelimin belirleyicisi olan faktörlerin başında hidrojen bağı, Wan der Waals bağı, dipol-dipol etkileşimi gelmektedir. Bu etkileşimler ile sıvı kristal moleküllerin kendi arasında var olan kuvvetleri ön plana çıkarken, sıvı kristal ile cam yüzeyi arasında olan etkileşimler veya yüzey geometrisi gibi birbirinden farklı faktörlerin olduğu da bilinmektedir [2].

Sıvı kristal yapılar temel olarak hücre içerisinde paralel (planar), dik (homeotropik) ve bükülmüş (tilted) yönelimler göstermektedir. Şekil 2.11’ de bu yönelimler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Sıvı kristal hücrelerin içerisinde moleküllerin a) Paralel, b) Bükülmüş ve c) Dik yöneliminin şematik gösterimi.

Paralel yönelimde, sıvı kristal moleküllerin direktörü İndiyum Kalay Oksit (ITO) kaplı cam yüzeye paralel olarak yöneldiği için sıvı kristal tabanlı cihaz uygulamalarında kullanım alanı oldukça yaygındır. Bu yönelimi sağlamak için ITO kaplı cam yüzeye mekanik veya birtakım kimyasal işlemler uygulanmaktadır [22], [24].

Dik yönelimde, sıvı kristal moleküllerin direktörü ITO kaplı cam yüzeye dik olarak yönelmektedir. Bu yapıyı sağlamak için ITO kaplı yüzeye bazı kimyasal işlemler uygulanmaktadır. Bu tip yapılar elektro-optik araştırmalarda faz modülasyonu ve faz geciktirici levha olarak kullanılmaktadır.

Bükülmüş yönelimde, sıvı kristal moleküller her iki alt tabanda aynı moleküler yönelimi

gösterirken, ara katmanlarda moleküller birbirlerine göre farklı açı yaparak yönelebilirler. Uygulanacak elektrik alan ile bu yapıdaki nematik sıvı kristallerin ortalama yönelimi değiştirilebilir. Sıvı kristal temelli ekran teknolojisinde en fazla tercih edilen yapı bükümlü yapıdır [22].

Araştırmacılar yapmış olduğu çalışmalarda, sıvı kristal yapıların dielektrik özelliklerine göre dik ya da paralel yönelimli hücreler tercih edebilir. Paralel yönelimli hücreler genellikle pozitif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristaller ile yapılan çalışmalarda, dik yönelimli hücreler ise negatif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristaller ile yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır [2].



3. POLİMER / SIVI KRİSTAL KOMPOZİT YAPILAR

Yapılarında barındırdıkları elektro-optik özelliklerinden dolayı SK'lerin teknolojik alanlardaki çeşitli uygulamalarda, özellikle ekran teknolojilerinde sık kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, temelinde bazı cihaz uygulamalarında SK'lerin ekranı oluşturan katmanlarındaki ayarlamalarının hassaslığı, aynı zamanda ışık şiddetini düşüren polarizörlerin kullanılması bu yapıları dezavantajlı hale getirmektedir. Günümüzde SK'lerin katkılanmasıyla ortaya çıkarılan çeşitli fonksiyonel malzemelerle oluşturulan hibrit yapılar, polimer alanında ilerlemeler göstermiş ve ortaya konulan yeni kompozit yapılar sayesinde bu güçlükleri ortadan kaldırmaya çalışmıştır [25].

Son zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde sıvı kristal yapılara çeşitli polimerler katkılanarak ve farklı faz ayırma yöntemleri uygulanarak yeni Polimer/Sıvı Kristal kompozit yapıların oluşturulabileceği gözlemlenmiştir. Polimer/Sıvı Kristal kompozit yapılar, polimer ve SK malzemelerin kompozit yapıdaki konsantrasyonuna göre birbirinden ayrılabilir. Kullanılan en yaygın Polimer/Sıvı Kristal yapılar polimer dağıtılmış sıvı kristaller (PDSK) ve polimer stabilize sıvı kristaller (PSSK) olarak bilinmektedir [33].

3.1. POLİMERLER

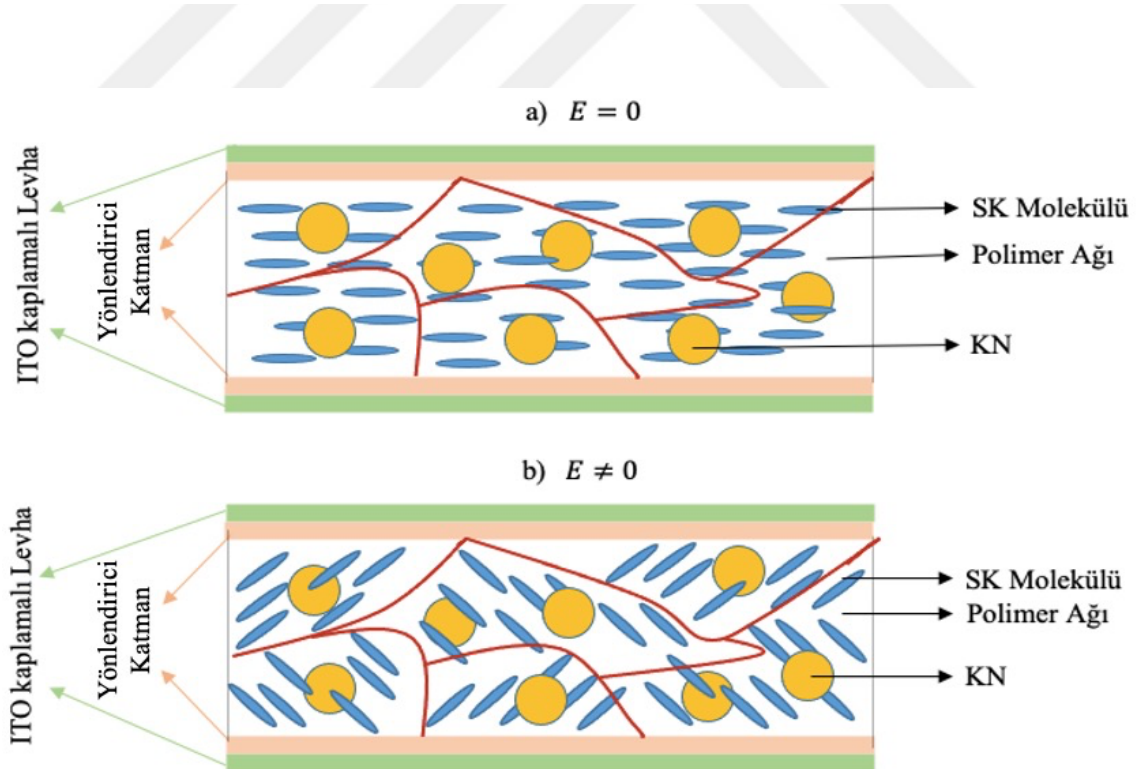
Polimerler, monomer (pre-polimer) olarak adlandırılan yapı birimlerinin kimyasal olarak bağlanması ile oluşan büyük moleküllü yapılardır. Monomerlerin yüzlercesi, binlercesi hatta çok daha fazlasının polimerizasyon reaksiyonları ile bir araya gelerek polimerlerin oluşmasını sağlamaktadır. Polimerler sıcaklığa bağlı olarak, camsı (glassy), lastiksi (rubber-like) ve viskoz sıvı olmak üzere üç farklı fiziksel durumda incelenebilir. Konulduğu ortamda ısı değeri artan polimerlerin sahip olduğu atomların denge konumu etrafında titreşim hareketi göstermesi ile camsı durum oluşmaktadır. Ortamın sıcaklığı artmaya devam ettiğinde lastiksi duruma ardından viskoz sıvı durumuna geçmektedir. Bu geçişler belli bir sıcaklık değerinde değil belli bir sıcaklık aralığında görülmektedir. Bu aralıkta gözlemlenen ortalama sıcaklık "geçiş sıcaklığı" olarak isimlendirilir. Camsı durumdan lastiksi duruma geçiş sıcaklığı "cam geçiş sıcaklığı" (T_g); lastiksi durumdan

viskoz sıvı duruma geçiş sıcaklığı ise "akış sıcaklığı" (T_f) olarak isimlendirilir. Sonuç olarak polimerde cam geçiş sıcaklığının altında ve üzerinde faz değişikliği gözlenmez [31].

Düşük moleküler kütleli bazı maddelerin polimer içerisine soğurulmasıyla, polimer zincirleri çözülür. Bu çözülme polimerin hem cam geçiş sıcaklığını hem de akış sıcaklığını düşürür. PDSK kompozit yapılarında kullanılan bu polimerler SK'leri soğurma özelliğine sahiptir. Ortaya çıkan bu durum hem polimerin özelliğinin değişmesine hem de SK'in mezojenik özelliğini kaybetmesine neden olduğundan PDSK tipi kompozit yapılarda çok tercih edilmektedir [25], [34].

3.2. POLİMER STABİLİZE SIVI KRİSTAL KOMPOZİT YAPILARIN ELEKTRO-OPTİK DAVRANIŞLARI

Polimer/Sıvı kristal kompozit yapıda, polimer konsantrasyonu sıvı kristale göre oldukça az ise kompozit yapıda bir polimer ağı oluşur ve bu yapılar "Polimer Stabilize Sıvı Kristaller (PSSK)" olarak adlandırılır.



Şekil 3.1. Paralel yönelimli bir LC hücrede KN katkılı PSSK kompozitlerinin şematik diyagramı (a) elektrik alanı olmadan ve (b) elektrik alanı varlığında.

PSSK, düşük konsantrasyonda polimerin SK malzemesine katılanması ile oluşturulur.

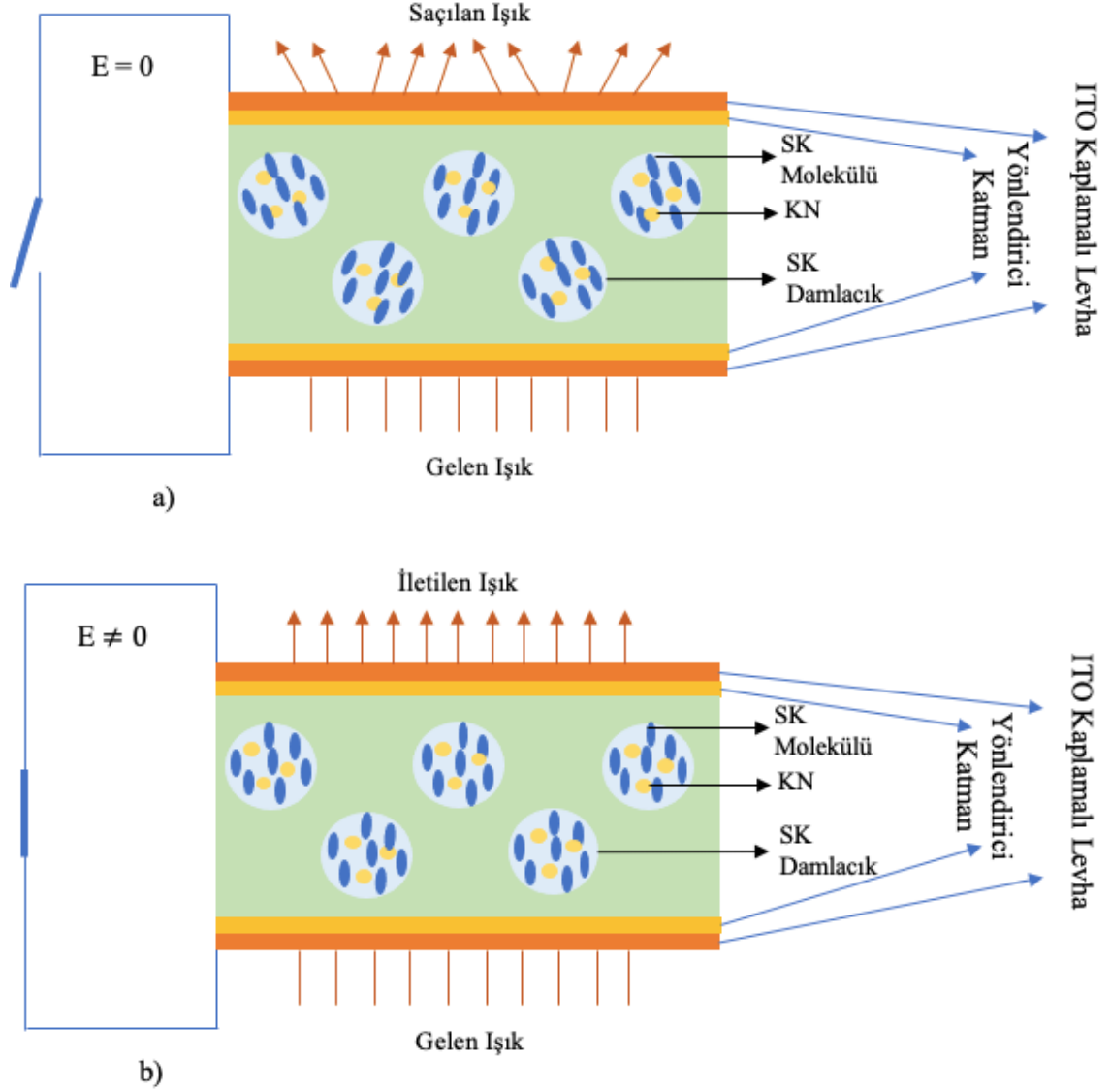
Bu yapılar genel olarak; elektrik alanı olmadığı durumda şeffaf iken elektrik alanı uygulandığında ise opak özelliğe sahiptirler. Bu görünüm PSSK'yi akıllı pencereler, ışıklı panjurlar, fotonik cihazlar ve SK ekranlar gibi birçok uygulama için daha ekonomik ve kullanışlı hale getirir [35], [36]. PSSK'lerin en önemli özelliği, polimerik alan ve SK molekülleri arasındaki elastik etkileşimlerle SK'lerin hizalanmasının stabilizasyonudur [37], [38]. Dahası, PSSK'lerin hızlı tepkisi ve düşük eşik voltaj uygulamaları bu kompozitlerin diğer önemli özellikleridir [37]-[39].

3.3. POLİMER DAĞITILMIŞ SIVI KRİSTAL KOMPOZİT YAPILAR

Polimer matrisinde dağılan SK yapılar, ilk olarak nematik SK' in sulu polivinil alkol (PVA) çözeltine katılarak emülsiyon haline getirilmesiyle oluşturulmuştur [40]. Saçılma özelliği gösteren ve elektriksel olarak kontrol edilebilen PDSK ince filmler ise, faz ayırma yöntemiyle oluşturulabilir. SK içerisine polimer karıştırılıp ısıtma işleminin uygulanması ile damlacıklı hale dönüştürülür. Oluşan bu yapılara ise "Polimer Dağıtılmış Sıvı Kristaller (PDSK)" denilir [13]. Oluşan PDSK yapısının elektrik alanı uygulanmadığı durumda ışığı yüksek oranda saçtığı, elektrik alan uygulandığı durumda transparan bir görünüm aldığı görülür. Buna ek olarak yapının, dikroik bir boya konulması durumunda kontrol edilebilir bir soğurma yaptığı da görülmüştür [41].

Bu alanda yapılan çalışmalarda elektronik cihazlar için PDSK'lerin çalışma aralığı 60-120 V aralığında iken, günümüzde ortaya çıkan yeni gelişmelerle 5-10 V civarına kadar düşürülmüştür [40], [42].

Yapılan bu tez çalışmasında, PDSK ve CdSeS/ZnS KN katkılı PDSK kompozit yapıların faz sıcaklığı, elektro-optik ve dielektrik davranışları üzerine bulgular, çeşitli moleküler yönelim mekanizmaları ile değerlendirilmiştir. Şekil 3.2' de oluşturulan bu yapının ışık ile etkileşimi görselleştirilmiştir.



Şekil 3.2. KN katkılı PDSK yapının ışıkla etkileşiminin şematik gösterimi a) elektrik alanı olmadan ve b) elektrik alanı varlığında.

Faz ayırma yöntemlerinde polimerizasyon, çözelti ve sıcaklık kaynaklı faz ayrılması olmak üzere üç tip yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler içerisinde polimerizasyon kaynaklı faz ayırma yöntemi düşük maliyetli, çabuk, temiz olması ve çözelti içermemesi gibi özellikleri bünyesinde barındırması nedeniyle en çok tercih edilen yöntemdir.

3.4. PDSK HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ

PDSK hazırlama yöntemleri, ilk olarak SK, monomer ve katkı maddesinin tek bir fazda çözelti oluşturmasına ya da sıvı kristallerin polimerde (ya da monomerde) emülsiyon halinde olmasına göre "enkapsülasyon" ve "faz ayrılması" olmak üzere iki sınıfta

gruplandırılabilir [41].

3.4.1. Enkapsülasyon Yöntemi

Enkapsülasyon yönteminde, nematik bir SK polivinil alkol gibi su bazlı bir polimer ile aynı ortamda karıştırılır. Oluşan bu karışım bir emülsiyon oluşturmak için mekanik olarak yapılır [43]. Art arda yapılan bu süreçte su buharlaştırılır ve sıvı kristal, polimer tabakası ile çevrelenir. Bu yöntemde üretilen sıvı kristal damlacıkları birbirlerinden büyüklük olarak farklı olma eğilimindedir ve hatta yapı içerisinde SK damlacıklar birbirine bağlanabilir [42], [44].

Enkapsülasyon yönteminin en önemli avantajı, geniş alanlara kolay bir şekilde uygulanmasıdır. Bunlara ek olarak, hem hidrofilik hem de hidrofobik polimerler dahil birçok farklı türde polimerle de uyum sağlamaktadır [45].

3.4.2. Faz Ayırma Yöntemi

Bu yöntemle PDSK elde etmek için polimerizasyon, sıcaklık ve çözücü kaynaklı faz ayrılması olmak üzere üç farklı yöntem bulunmaktadır. Kullanılan bu üç yöntemin temelinde aynı prensipler vardır [46]. Faz ayırma yöntemi ile PDSK yapı oluşturmak için önce sıvı kristal ve polimer homojen olarak karıştırılır. Polimer katı hale geçerken, sıvı kristalin molekülleri polimerden dışarı doğru atılır ve SK molekülleri bir araya gelerek polimer matrisinde SK damlacıkları oluşturur [41], [44].

3.4.2.1. Polimerizasyon Kaynaklı Faz Ayırma Yöntemi

Bu yöntemde ilk olarak, sıvı kristal ve monomerin homojen bir çözelti oluşturması sağlanır. Sağlanan bu homojen çözelti için polimerizasyon, UV (Ultraviyole) ışık ile foto-polimerizasyon veya termal yolla olmak üzere iki farklı şekilde başlatılabilir [41].

İki farklı yoldan biri olan foto-polimerizasyon ile gerçekleşen faz ayrılması tipik olarak serbest radikal polimerizasyonu ile yapılır. Termal yol ile başlatılan polimerizasyon ise, serbest radikal polimerizasyonu veya polikondansasyon mekanizması ile oluşabilir. Termal olarak indüklenen polimerizasyonda oluşabilecek en büyük dezavantaj, monomer/SK içerisindeki monomerin konsantrasyonunun düşük olması ve polimerizasyonun ağır şekilde gerçekleşmesidir [45]. Polimerizasyon gerçekleşirken SK'ler çözeltilerden ayrılır. Bu ayrılmayla birlikte bir araya gelen SK damlacıkları görülür. Oluşan damlacıklar, polimer bağlayıcı moleküllerin tutulacağı ve hareketlerinin kolay olmayacağı katı hale gelinceye kadar büyüyebilir [44]. Polimerizasyon kaynaklı faz

ayırma yöntemi, hızlı ve kontrolü kolay bir yöntem olmasından dolayı çok fazla kullanılan bir yöntemdir [45].

3.4.2.2. Sıcaklık Kaynaklı Faz Ayırma Yöntemi

Bu yöntemde kullanılan polimerler genelde polimetilmetakrilat (PMMA), polistiren (PS) gibi oda şartlarında SK'le karışmayan fakat yüksek sıcaklıkta SK ile karışabilen termoplastik polimerlerdir [45], [46].

Bu yöntemde, ilk olarak erimiş bir polimerin bir SK ile homojen karışımı oluşturulur. Oluşan karışımda, faz ayrılmasının gerçekleşebilmesi belirli bir oranda soğutulması sağlanır [41], [46]. Soğuyan polimerin sertleşmesi gerçekleştikçe SK damlacıklar oluşmaya başlar. Bu damlacıkların büyümesi polimerin cam geçiş sıcaklığına ulaşıncaya kadar devam eder [42], [44]. Sıcaklık kaynaklı faz ayırma yönteminde, SK damlacık boyutu polimer konsantrasyonu ve soğutma hızı ile kontrol edilebilirken yapılan araştırmalar bu yöntemde damlacık boyutunu etkileyen en önemli etkinin soğutma hızı olduğunu göstermektedir [47].

3.4.2.3. Çözücü Kaynaklı Faz Ayırma Yöntemi

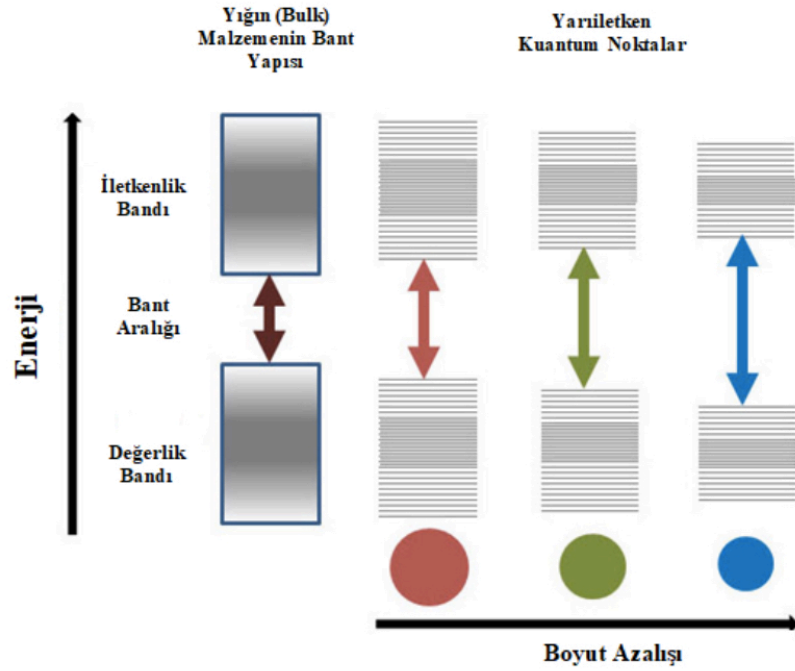
Bu yöntem, çözücü kaplama tekniklerinin kullanıldığı veya ayrışma sıcaklığının üstünde eriyen termoplastik polimerler ile PDSK yapı oluşturmak için kullanılmaktadır [46]. Çözücü kaynaklı faz ayırma yönteminde, SK ve polimerin ortak bir çözücü içerisinde çözüldüğü homojen bir çözelti oluşturulur. Çözücünün buharlaştırılarak ayrılmasıyla polimer katı hale gelir ve faz ayrışması gözlemlenir. Çözücü tamamen buharlaşmaya kadar SK'ler sürekliliğini bozmadan, çözeltiden dışarıya çıkararak sıvı kristal damlacıklarını meydana getirir [44]. Bu yöntemde sıvı kristal damlacık boyutunu etkileyen en önemli faktör, çözücü çıkarma hızıdır [47]. Sıcaklık kaynaklı faz ayırma yöntemine benzer şekilde, bu yöntemde de çözücü çıkarma hızı düşükçe damlacık büyüklüğü artar [42].

3.5. PDSK/KUANTUM NOKTA KOMPOZİT YAPILAR

Son yıllarda PDSK kompozit yapıların elektrik, dielektrik ve optik özellikleri yarı iletken kuantum nokta katkıları ile değiştirilebilmekte ve araştırmalarda elde edilen sonuçlar istenilen düzeye getirilebilmektedir. Bu kapsamda yarıiletken kuantum noktaların özelliklerinden kısaca bahsedilmesinde fayda görülmüştür.

3.5.1. Yarı İletken Kuantum Noktalar

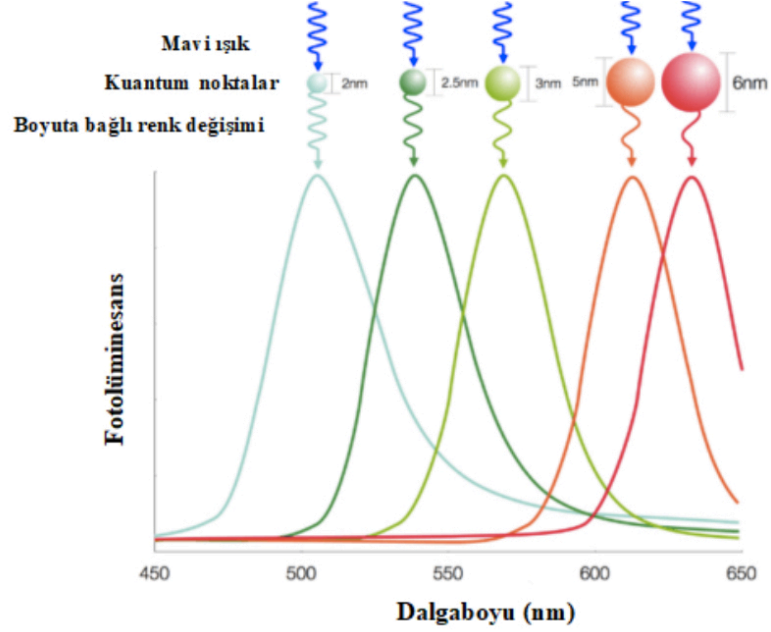
Fiziksel olarak 2-10 nm çap aralığında boyutlara sahip yarı iletken kuantum noktalar yüzlerce hatta binlerce atomun birlikteliği ile oluşmaktadır. Periyodik tablo üzerinde farklı grup elementlerinin bir araya gelmesi ile oluşan yarı iletken kuantum noktalar, yığın şeklinde oluşan yapılara göre farklı elektronik özellikleri bünyesinde barındırmaktadır. Aslında bu özelliğin ortaya çıkmasında üç boyutlu kuantum sınırlama etkisi bulunmaktadır. Bu etki ile elektron ve boşlukların güçlü bir şekilde sınırlandırılması, kullanılan nano parçacığın yarıçapının eksiton Bohr yarıçapından küçük olduğu durumlarda geçerli olmaktadır [48].



Şekil 3.3. Kuantum noktalarının boyutlarının değişimi ile yasak enerji bant aralıklarının değişimi.

Şekil 3.3' te kuantum noktalarının boyutlarının değişimi ile yasak enerji bant aralıkları değişimi ifade edilmiştir [21]. Yasak enerji bant aralığı değeri ile yarı iletken kuantum noktanın boyutu arasındaki ilişkiye bakıldığında boyut değeri düştükçe yasak enerji bant aralığı değerinin düştüğü görülür. Kısaca düşük boyutlara sahip yarı iletken kuantum noktalar yüksek yasak enerji bant aralığı değerlerine sahip olurlarken yüksek yasak enerji bant aralığı değerlerine sahip yarı iletken kuantum noktalar, düşük dalga boyu değerine sahip olurlar. Parçacık boyutunda ki artış yasak enerji bant aralığı değerinde azalmaya sebep olmaktadır [21].

Parçacık yarıçapı kontrol edilerek, yarı iletken kuantum noktaların fotolüminesans değerleri ayarlanabilmektedir. Bu değerin ayarlanabilmesinin anlamı, emisyon dalga boyunu kullanarak kuantum noktaların ortalama büyüklüğünü ve boyut dağılımını belirlemek için floresans spektroskopisinin kullanılabilmesidir [49]. Şekil 3.4’ te elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde, yarı iletken kuantum noktaların boyuta bağlı fotolüminesans değişimi görülmektedir.



Şekil 3.4. Yarı iletken kuantum noktaların boyutlarına bağlı fotolüminesans değerleri.

Geniş soğurma spektrumu ve geniş dalga boyu aralığına sahip malzemeler olarak bilinen yarı iletken kuantum noktalar, ultraviyole ve kızıl ötesi bölgeyi de kapsama alanına alan ayarlanabilir özellikleriyle biyo-görüntüleme alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yarı iletken kuantum noktalar, fiziksel boyutlarına bağlı özellikleri ile yüksek yoğunluklu veri depolama, optik, telekomünikasyon, sensör uygulamaları ve biyomedikal alanında kullanım alanı bulmuş ve bu kullanım alanları her geçen gün artarak devam etmiştir [21].

4. POLİMER/SIVI KRİSTAL MALZEMELERİN ELEKTRO-OPTİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNDE TEORİK YAKLAŞIMLAR

Birçok eşsiz özelliği üzerinde toplayan sıvı kristallerin, günümüzde pek çok çalışmada yoğun olarak kullanılmasının en önemli sebebi anizotropik yapıya sahip olmasıdır. Sıvı ve katı fazın pek çok özelliğini üzerinde toplayan sıvı kristallerin optik, elektrik ve dielektrik özellikleri cihaz tabanlı uygulamalarda büyük önem arz etmektedir.

4.1. OPTİK ÖZELLİKLER

Çeşitli optik özelliklere sahip olan sıvı kristaller; kırılma, yansıma, optik aktivite ve ışık saçılımı gibi birçok fiziksel özelliği gösterebilmektedir.

4.1.1. Optik Anizotropi

Sıvı kristaller, anizotropik yapıya sahip oldukları için çift kırılma özelliğine sahip olan malzemeler olarak bilinmektedir. Sıvı kristal malzemelerin bu özelliği Δn ile ifade edilmektedir. Sıradan (ordinary) ve sıradan olmayan (extraordinary) ışınların kırılma indisleri arasındaki fark olan Δn ,

$$\Delta n = n_e - n_o \quad (4.1)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Formülde kullanılan n_e indisi (sıradan olmayan), malzemeyle etkileşen elektromanyetik dalganın elektrik alan vektörünün, sıvı kristal malzemenin optik eksenine paralel yönde etkileşen kırılma indisi olarak isimlendirilmektedir. n_o (sıradan) olarak ifade ettiğimiz indis ise, sıvı kristal malzemeye gelen elektromanyetik dalganın oluşan elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusunun sıvı kristal malzeme içindeki moleküllerin optik eksenine dik olan kırılma indisi olarak tanımlanmaktadır [24].

Sıvı kristal yapılarda Δn parametresi şayet sıfırdan ($\Delta n > 0$) büyük ise, pozitif optik anizotropi, küçük ise ($\Delta n < 0$) negatif optik anizotropi değerleri ortaya çıkmaktadır. Bu özellik LCD ekranlarda, faz geciktiricilerde, holografik bilgi kaydedicilerde ve daha

birçok cihazda temel parametre olarak kullanılmaktadır [24], [50].

4.1.2. Optik Bant Aralığı Değeri

Yarı iletken olarak bilinen malzemelerin bant yapısı ve optik bant aralıklarının değerlerinin belirlenmesinde, absorpsiyon (temel soğurma) spektrumu yöntemi kullanılan en temel yöntemlerdendir. Bu yöntemde, malzeme yapısında bulunan yük taşıyıcılarının üzerine düşen elektromanyetik dalgalarla etkileşim gerçekleşir. Bu etkileşim ile ortaya çıkan soğurma sonucu enerji kayıpları gözlenmektedir [51]. Kullanılan bu yaklaşımdan yola çıkarak, absorpsiyon (temel soğurma) spektrumu yöntemi kullanılarak sıvı kristal malzemenin bant yapısı ve optik bant aralığı değerleri elde edilmektedir. Bu yöntemde [52],

$$\alpha hv = (hv - E_g)^n \quad (4.2)$$

denklemini kullanılmaktadır. Burada; hv fotonun enerjisini, E_g optik bant aralığını, n bant aralığı yapısını, α ise soğurma katsayısını ifade etmektedir ve değeri,

$$\alpha = \frac{2.303xA}{d} \quad (4.3)$$

denkleminle hesaplanmaktadır. Denkleminde bulunan A soğurma miktarını, d ise kullanılan filmin kalınlığını ifade etmektedir.

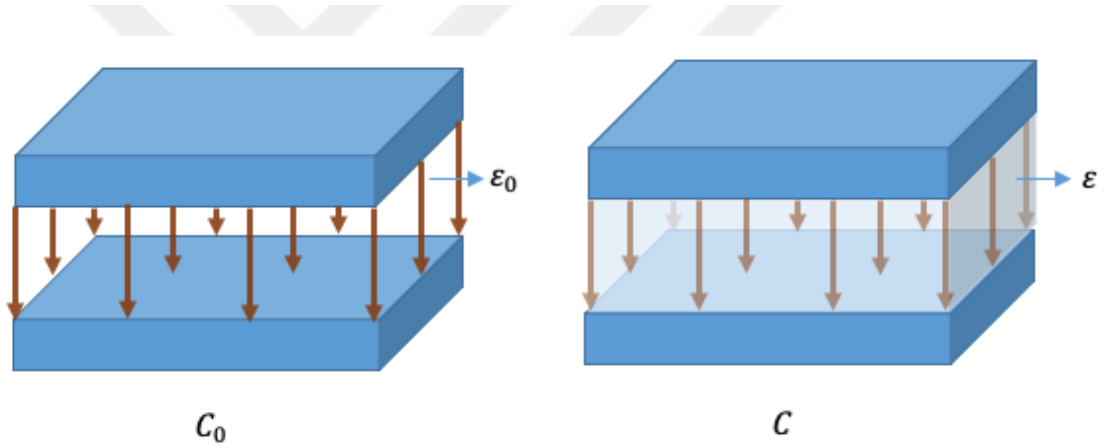
Denklem (4.2)'de yer alan $n=1/2, 2, 3/2$ ve 3 değerleri sırasıyla numunenin doğrudan geçişli, dolaylı geçişli, yasaklı doğrudan geçişli ve yasaklı dolaylı geçişli bant aralıklarına sahip olduğunu ifade etmektedir [52], [53].

4.2. ELEKTİRKSEL VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLER

Katılar için ortaya konulan bant teorisine göre, iletken malzemede yükler serbestçe hareket halinde olabilecekleri durumlara uyarılabilmekte ve uyarılmayla birlikte değerlik ve iletkenlik bantları arasında yasak enerji bant aralıklarını meydana getirmektedir [54].

Üzerine elektrik alan uygulanan ve polarize edilebilen, dielektrik malzemelerin sahip oldukları bütün yükler, belirli molekül ya da atomlara bağlıdır ve hareketlilikleri molekül içinde sınırlı kalmasını sağlamaktadır. Elektrik alanı içerisine yerleştirilen dielektrik

malzemenin yapacağı tek hareket pozitif ve negatif yüklerin zıt yönlerde küçük yer değiştirmeleridir. Dielektrik malzemelerin sahip olduğu zıt yönlerde kutuplanma özelliği sayesinde yükler, elektriksel dipol momentlerini oluşturmaktadır. Ortaya çıkan küçük yer değiştirmeler ile oluşan dielektrik malzemeler, *kutuplanmış dielektrik* olarak isimlendirilmektedir. Bu malzemelerin üzerine dışarıdan uygulanan elektrik alan ortadan kaldırıldığında, dielektrik malzeme içerisinde bulunan yükler eski konumuna geri döner ve net elektriksel dipol moment sıfır olur. Aslında, dışarıdan uygulanan elektrik alanı, dielektrik malzeme üzerinde sürekli dipol momente sahip molekülleri bir alan doğrultusunda yönlendirmeye çalışan bir etkiyi ortaya çıkarmaktadır. Bu durumda, net bir yönelim oluştuğunda, oluşan durum denge kutuplanması olarak tanımlanmaktadır. Diğer yandan, elektrik alanı içerisine konulmadan, bazı dielektrik malzemelerde de bir yük ayrışımı meydana gelmektedir. Bu malzemelerin de net bir dipol momente sahip oldukları bilinmektedir [55].



Şekil 4.1. Paralel levhalar arasında boşluk ve dielektrik malzeme bulunan kondansatör.

Şekil 4.1’de iki kondansatörün levhalar arasında boşluk ve dielektrik malzeme bulunması durumu gösterilmektedir [54]. Şekilde verilen, ϵ_0 ; boşluğun dielektrik sabiti, ϵ ; dielektrik sabiti, C_0 ; ortama dielektrik malzeme konulmadığında kondansatörün sahip olduğu sığa ve C ; ortama dielektrik malzeme konulduğunda kondansatörün sahip olduğu sığa olarak tanımlanmaktadır. İletken paralel levhalar arasında boşluk veya dielektrik malzeme varken, levhalar arasında yük geçişi görülmez. Fakat paralel levhalar, bir üretece bağlandığında bu kondansatörler yüklenmeye başlar. Üretece bağlanan levhaların biri $+q$ ve diğeri $-q$ yükleri ile yüklenir [55], [56]. Levhalar arası boşluk olması durumunda oluşan elektrik alan şiddeti,

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (4.4)$$

formülüyle ifade edilmektedir. Burada σ ; her bir levha üzerinde birim alan başına düşen yüzey yük yoğunluğu olarak isimlendirilir. Levhalar arasında boşluk olduğunda oluşan potansiyel fark (V_0) ise;

$$V_0 = E_0 d \quad (4.5)$$

formülüyle ifade edilir. Formülde bulunan d levhalar arası mesafeyi ifade etmektedir. Buradan yola çıkarak kondansatörün sığası;

$$C = \frac{Q_0}{V_0} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (4.6)$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Formülde yer alan A ; paralel levhaların sahip olduğu yüzey alanını ifade etmektedir. Levhalar arasında bulunan bölgede elektriksel yer değiştirme;

$$D = \sigma = \epsilon_0 E_0 \quad (4.7)$$

formülü kullanılarak hesaplanmaktadır.

Kondansatörün levhaları arasına dielektrik bir malzeme konulduğunda oluşacak potansiyel ve elektrik alan sırasıyla;

$$V = \frac{V_0}{\epsilon} \quad (4.8)$$

$$E = \frac{E_0}{\epsilon} \quad (4.9)$$

deklemleri kullanılarak bulunmaktadır. Burada kondansatör üzerinde bulunan yük (Q) değişmediği için sığa;

$$C = \frac{Q_0}{V_0} = \epsilon_0 = \epsilon C_0 = \epsilon \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (4.10)$$

ifadesi ile hesaplanabilmektedir.

Dielektrik malzemelerin araştırılmasında son derece önemli olan başka bir parametre de kompleks dielektrik sabitidir. Bu sabit reel ve sanal kısım olarak iki kısımda incelenmektedir,

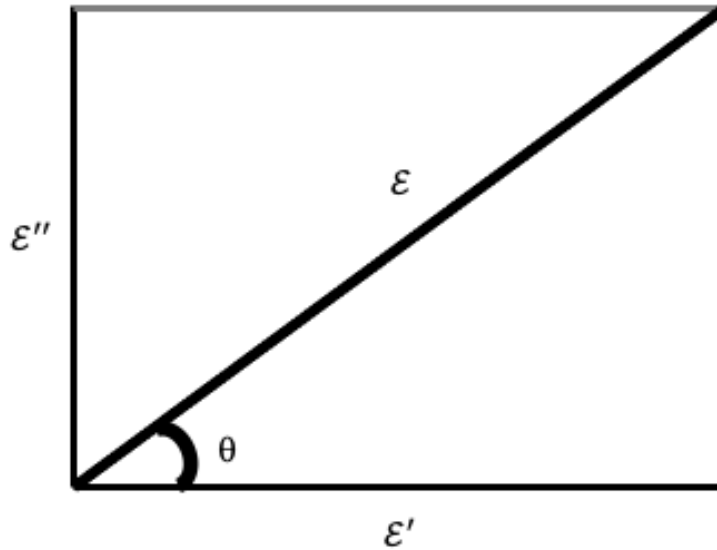
$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon'' \quad (4.11)$$

Formülde yer alan ϵ' kompleks dielektrik sabitin reel kısmını belirtmekte ve malzemede depolanan enerjiyi ifade etmektedir. ϵ'' kısmı ise kompleks dielektrik sabitin sanal kısmını oluşturmakta ve malzemede oluşan enerji kayıplarını göstermektedir [57].

Kondansatörde, paralel levhalar arasına konulan dielektrik malzemede, ϵ'' ' nün ϵ' ' ye oranı, yani kaybedilen enerjinin depolanan enerjiye oranı kayıp tanjant faktörü olarak ifade edilmektedir ve aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır;

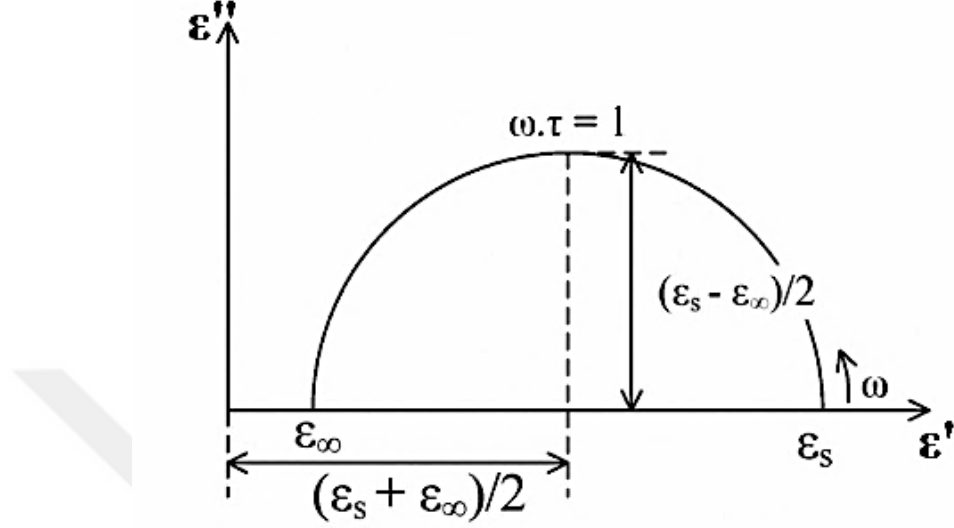
$$\tan \theta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (4.12)$$

$\tan \theta$ değeri, dielektrikte ısı olarak açığa çıkan enerjinin büyüklüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 4.2. Kayıp tanjant vektör diyagramı.

Dielektrik malzemenin özelliklerinin tanımlanmasında, ϵ' ve ϵ'' değerleri son derece önemlidir. Şekil 4.3'te tek relaksasyon zamanına sahip sistemler için Cole-Cole diyagramı verilmiştir [58].



Şekil 4.3. Tek relaksasyon zamanına sahip sistemler için Cole-Cole diyagramı.

Cole-Cole diyagramında görüldüğü gibi tek relaksasyon zamanına sahip dielektrik malzemeler Debye modeline uygundur. Bu malzemelerde, merkezi yatay $\epsilon'' = 0$ ekseninde olan ve kayıp faktörü tepe noktasının $1/\tau$ ' da oluştuğu bir yarım daire söz konusudur. Tek durulma zamanına sahip dielektrik malzeme için bu oluşum, $\epsilon' = (\epsilon_s + \epsilon_\infty)/2$ ' de ϵ' ekseninde merkezi olan ve yarıçapı $\epsilon' = (\epsilon_s + \epsilon_\infty)/2$ değerinde olan bir yarım daire şeklindedir. $\omega\tau = 1$ olduğunda $\epsilon' = (\epsilon_s + \epsilon_\infty)/2$ değerinde ϵ'' en yüksek değerini almaktadır. Çoklu relaksasyon zamanına sahip dielektrik malzemelerde ise merkezi $\epsilon'' = 0$ ekseninin altında kalan bir yarım daire veya bir yay meydana gelmektedir [56], [58].

Cole-Cole diyagramı, Debye dielektrik ifadesini kompleks düzlemdeki yay şekli ile genelleştirmiş ve bunu relaksasyon zamanı dağılımlarının belirli bir tipine uygulamıştır. Cole-Cole denklemi;

$$\epsilon^* = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (4.13)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Denklemde bulunan ϵ_∞ dielektrik sabitinin yüksek

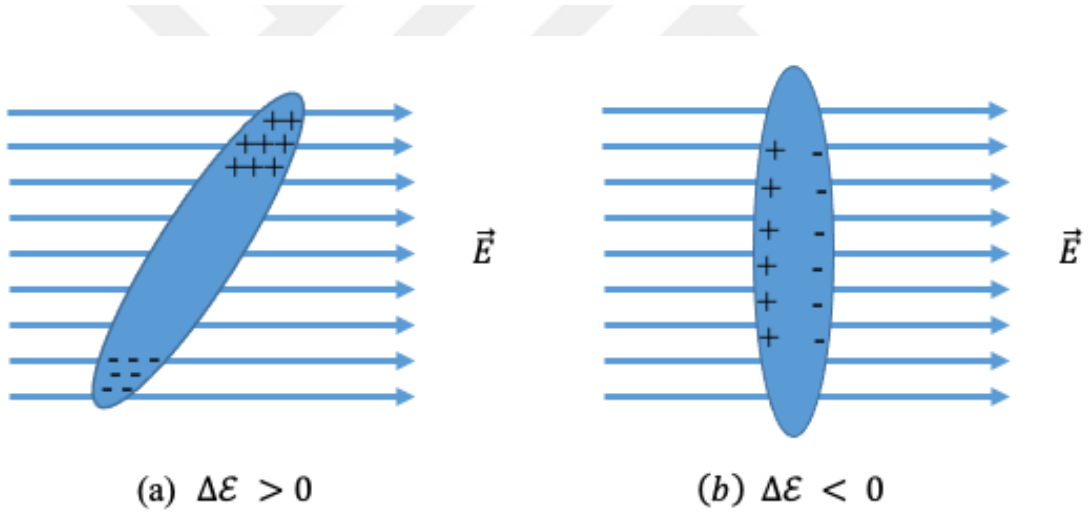
frekans limiti, ϵ_s dielektrik sabitinin düşük frekans limiti, ω açısal frekans, τ relaksasyon zamanı ve α ($0 < \alpha < 1$) dağılım parametresi olarak isimlendirilmiştir.

Bununla birlikte $\alpha = 1 - n$ eşitliği ile de verilmektedir. $\alpha = 0$ olması durumunda Cole-Cole eşitliği Debye eşitliğine indirgenmektedir [57].

Malzemeye uygulanan dış alan ile birlikte moleküllerin ne kadar yöneldiğinin bir ölçüsü olan dielektrik anizotropi [59];

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} \quad (4.14)$$

formülü ile ifade edilmektedir. ϵ_{\parallel} elektrik alana paralel yönde ölçülen dielektrik sabiti; ϵ_{\perp} 'de elektrik alana dik yönde ölçülen dielektrik sabitini tanımlamaktadır. $\Delta\epsilon > 0$ durumu pozitif tipi dielektrik anizotropi, $\Delta\epsilon < 0$ durumu ise negatif tipi dielektrik anizotropi olarak adlandırılmaktadır



Şekil 4.4. Sıvı kristal molekülünün elektrik alan içinde yönelimi.

Dielektrik parametreler kullanılarak malzemelerin alternatif akım (AC) iletkenlik değeri de belirlenmektedir. AC elektriksel iletkenlik matematiksel olarak;

$$\sigma_{ac} = \epsilon_0 \omega \epsilon'' \quad (4.15)$$

formülü ile ifade edilmektedir.

4.3. ELEKTRO-OPTİK ÖZELLİKLER

Üzerine elektrik alan uygulanmadığında minimum enerjiye sahip yapılar olarak bilinen sıvı kristallerin moleküler yönelimleri elektrik alan uygulanmasıyla değişmektedir. Moleküllerin bu yönelimi sıvı kristalin elastik ve visko-elastik kuvvetlerinin oluşturduğu eşik değerini geçmesi ile ortaya çıkmaktadır. Buna, Freedericksz eşiği adı verilmektedir [22]. Freedericksz eşiği için gerekli olan alan kuvveti, sıvı kristal yapılarda eğilme, burulma ve bükülme gibi durumları ortaya çıkarmakta ve Denklem (4.16) ile ifade edilmektedir;

$$(E_t)_{eğilme,burulma,bükülme} = \frac{\pi}{d} \sqrt{\frac{K_{11,22,33}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \quad (4.16)$$

Burada, d kalınlık, $K_{11,22,33}$ ise sırasıyla eğilme, burulma, bükülme elastik sabitleridir. Malzemeye uygulanan elektrik alan şiddetinin eşik değerinin üzerinde olması, hücre kalınlığına bağlı olarak periyodik mesafelerde moleküler yönelimin bozulması nematik sıvı kristallerde yüklü parçacıkların oluşturduğu hidrodinamik etkiden kaynaklanmaktadır [22]. Sıvı kristallerde yönelimi gerçekleştirebilmek için gerekli minimum voltaj değeri, eşik voltajı olarak tanımlanmaktadır. Eşik voltajı (V_{th});

$$V_{th} = \pi \sqrt{\frac{K_{11,22,33}}{(\Delta \epsilon) \epsilon_0}} \quad (4.17)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Formüldeki eşik voltajı değeri, $K_{11,22,33}$ parametresinin karekökü ile doğru; $\Delta \epsilon$ parametresinin karekökü ile ters orantılı bir şekilde değişim göstermektedir.

Eşik voltajı parametresinin SK damlacık boyutuna bağlı olarak değişim gösteren ifadesi Denklem (4.18) ile ifade edilmiştir [4]. Denkleminde yer alan d film kalınlığı, R damlacık yarıçapı, l damlacıkların en boy oranıdır (büyük/küçük yarıçap oranı), ϵ_0 boş alanın dielektrik sabiti, K elastik sabit, $\Delta \epsilon$ dielektrik anizotropidir. $1/c$, damlacıklar ve polimer arasındaki dielektrik veya iletkenlik uyumsuzluğundan dolayı alanın damlacıklar üzerindeki etkinliğini ifade eder.

$$V_{th} = \frac{d}{cR} \left(\frac{k(l^2 - 1)}{\epsilon_0 \Delta \epsilon} \right)^{1/2} \quad (4.18)$$

Kompozit yapılar için elde edilen zıtlık oranı (CR) parametresi, elektro-optik cihaz uygulamalarında son derece önemli bir yere sahip olup Denklem (4.19)' da da gösterildiği gibi geçirgenliğin maksimum (T_{on}) ve minimum (T_{off}) değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır [37], [60];

$$CR = \frac{T_{on}}{T_{off}} \quad (4.19)$$

Yükselme süresi (τ_R) ve düşme süresi (τ_F) PDSK kompozitlerinin elektro-optik özelliklerini tanımlayan önemli parametrelerdendir. τ_R kompozit yapının voltaj ile oluşan ışık geçirgenliğinin %10'dan %90'a yükselmesi için gereken süre olarak ifade edilir ve Denklem (4.20)' den hesaplanır;

$$\tau_R \cong \frac{\gamma}{\Delta \epsilon V^2} \quad (4.20)$$

Burada γ ve V sırasıyla dönme viskozitesini ve uygulanan voltajı temsil eder [37], [61].

τ_F ise kompozit yapının voltaj ile oluşan ışık geçirgenliğinin %90'dan %10'a düşmesi için gereken süre olarak da ifade edilirken Denklem (4.21) ile hesap edilmektedir [37], [61].

$$\tau_R \cong \frac{\gamma R^2}{k(l^2 - 1)} \quad (4.21)$$

Toplam tepki süresi τ_t ile gösterilir ve Denklem (4.22) ile verilir [62], [63].

$$\tau_t = \tau_R + \tau_F \quad (4.22)$$

5. DENEYSEL YÖNTEM

5.1. KULLANILAN MALZEMELER

Bu tez çalışmasında, Sigma Aldrich firmasından aldığımız E63 kodlu nematik SK ve CdSeS/ZnS KN yapıları kullanılmıştır. Şekil 5.1’de E63 kodlu nematik SK’ in bileşimini oluşturan moleküler yapıların açık formülleri verilmiştir [64];

- 1) [1,1’-Biphenyl],4-carbonitrile,4’-pentyl (5CB)
- 2) [1,1’-Bi-phenyl],4-carbonitrile,4’-heptyl (7CB)
- 3) [1,1’,4’-1’’- Terphenyl],4-carbonitrile,4’’pentyl (5CT)
- 4) Benzonitrile,4-(4 propyl-1-cyclohexen-1-yl) (PCH3)
- 5) [1,1’-Biphenyl]-4-carbonitrile,4’(4-pentyl-1-cycl ohexen-1-yl) (BCH5)
- 6) [1,1’-Biphenyl]-4-carboxylic acid, 4’-heptyl-4’-cyano[1,1’-biphenyl]-4-yl ester (DB71).

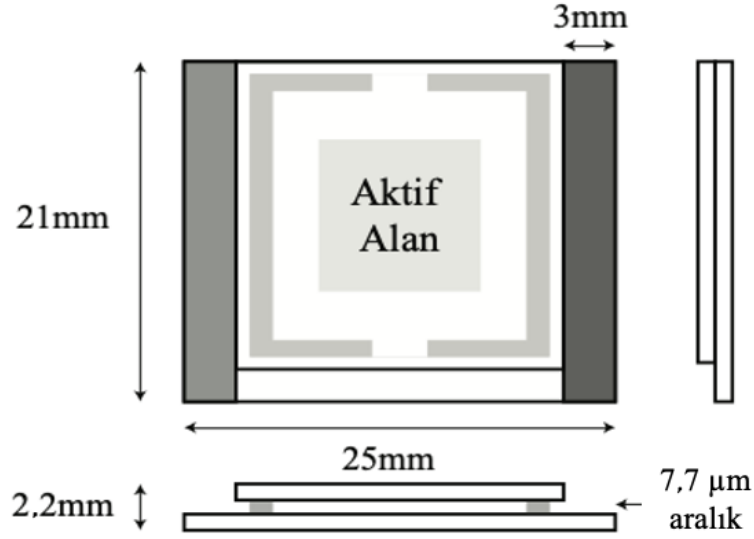
Şekil 5.1. E63 kodlu Nematik SK’in moleküler yapısını oluşturan bileşenler.

E63 nematik SK; $n_e=1,7444$ ve $n_o=1,5172$ kırılma indekslerine ve düşük frekans bölgelerinde pozitif dielektrik anizotropiye sahiptir. UV ile kürlenebilir fotopolimer Norland Optical Adhesive 65 (NOA65) (kırılma indeksi 1,524) Norland firmasından tedarik edilmiştir. NOA65 polimeri renksiz ve kür edilmiş hali esnektir. Ayrıca NOA65, genleşme katsayıları farklı olan malzemeler arasında zorlamayı düşük tutmak için esnek bir özelliğe sahiptir. Bu özellikler NOA65’ in PDSK yapı oluşumunda kullanılan en yaygın malzeme olmasına olanak sağlamaktadır [43]. Aynı zamanda, NOA65’in kırılma indisi çalışmada kullanılan E63 kodlu nematik SK’ in kırılma indisi ile eşleşebilir özelliktedir.

Bu tez çalışmasında E 63 kodlu nematik Sk yapıya katkı maddesi olarak, CdSeS/ZnS KN yapısı kullanılmıştır. Yarı iletken KN’lar toluen içerisinde çözülmüş olarak Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. CdSeS/ZnS KN yapısı 6 nm çap uzunluğuna ve 525 nm emisyon dalga boyuna sahiptir.

Numunelerin elektro-optik ve dielektrik özelliklerinin ölçümleri için SK hücreler kullanılmıştır. Ölçümde kullanılan hücreler, Instec firmasından temin edilmiştir. Bu

hücreler; $7,7 \mu\text{m}$ kalınlığında ve $100 \Omega/\text{cm}^2$ yüzey direncine sahiptir. Bu çalışmada kullanılan sıvı kristal hücrelerin temsili yapısı Şekil 5.2’ de gösterilmektedir [30].

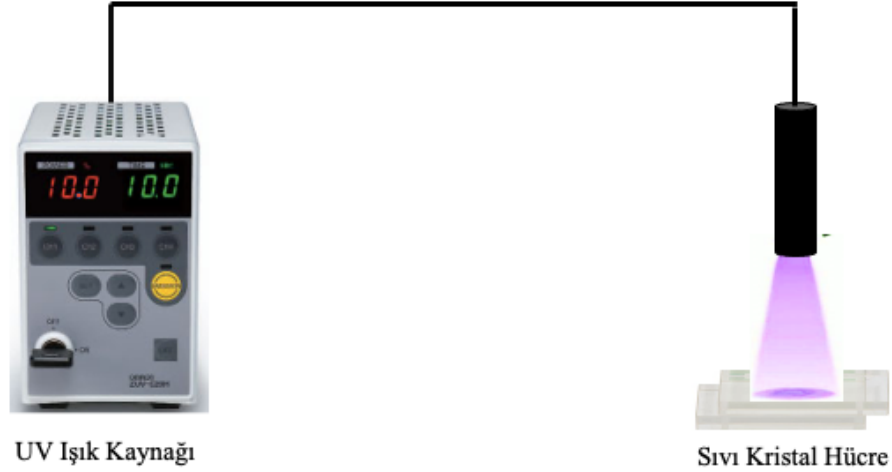


Şekil 5.2. Kullanılan sıvı kristal hücrelere ait temsili gösterim ve ölçüler.

5.2. NUMUNALERİN HAZIRLANMASI

Çalışmamızda KN katkılı PDSK hazırlamak için, ilk olarak E63 nematik SK, ağırlıkça %1.0 oranında CdSeS/ZnS KN ile katkılanmıştır. KN katkılı nematik SK (SK/KN) yapının homojen bir şekilde karışması için, 100°C ’de 2 saat süre ile bir ultrasonik banyoda tutulmuştur. Daha sonra hem SK hem de SK/KN karışımı, 1/1 oranında NOA65 ile karıştırılmıştır. Homojen dağılımın sağlanabilmesi için numuneler 100°C ’de ultrasonik banyoda 2 saat süresince karıştırma işlemine maruz bırakılmıştır. Dielektrik, elektro-optik ve morfolojik ölçümler için SK hücreler kullanılmıştır.

Hazırlanan numunelerin viskozitesini azaltmak ve hücre içine dolumunu kolaylaştırmak için ısı tablası kullanılmış, hazırlanan bu yapılar kılcallık etkisi ile SK hücrelere doldurulmuştur. Hazırlanan numunelerdeki PDSK yapıları oluşturmak için polimerizasyon kaynaklı faz ayırma yöntemi tercih edilmiştir. SK hücrelere doldurulan saf ve KN katkılı PDSK kompozit yapılar Omron marka ZUV-C20H model cihaz kullanılarak 1 saat boyunca Şekil 5.3’ te görüldüğü gibi UV ışığa ($\sim 10 \text{ mW}/\text{cm}^2$) maruz bırakılmıştır. Bu işlemlerin sonunda PDSK ve PDSK/KN olmak üzere iki farklı kompozit yapı elde edilmiştir.

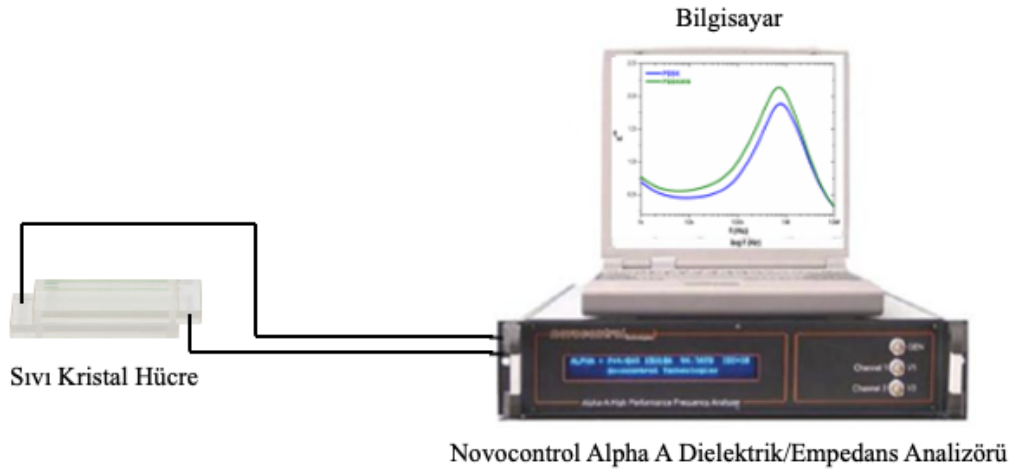


Şekil 5.3. Örneklerin UV ışık ile polimerizasyonunun şematik gösterimi.

5.3. ÖLÇÜMLER

5.3.1. Dielektrik Ölçümler

PDSK ve KN katkılı PDSK kompozitlerinin dielektrik ölçümleri, 1 kHz-10 MHz frekans aralığında bilgisayar kontrollü Novocontrol Alpha A Dielektrik/Empedans Analizörü ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm düzeneğine ait temsili gösterim Şekil 5.4’ te verilmiştir [30].

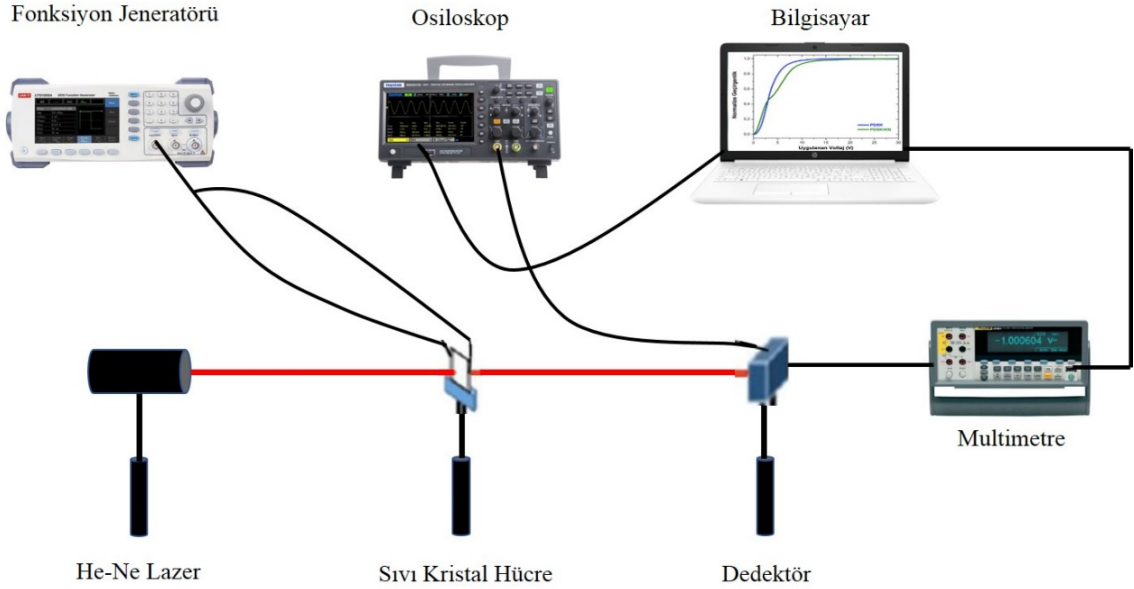


Şekil 5.4. Dielektrik ölçümler için kullanılan deney düzeneği.

5.3.2. Elektro-Optik Ölçümler

Hazırlanan numunelerin elektro-optik ölçümleri, voltaja bağlı elektro-optik geçirgenlik sistemi kullanılarak 0-30 V aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu düzenekte, giriş sinyali olarak 632.8 nm’lik dalga boyuna sahip bir Helyum-Neon (He-Ne) lazer kaynağı, dijital

osiloskop (Tektronix TDS-2012C), foto-detektör (Thorlabs-PDA200C) ve multimetre kullanılmıştır. Elektro-optik ölçümler için kullanılan voltaja bağlı optik geçirgenlik deney düzeneği Şekil 5.5 ile verilmiştir.



Şekil 5.5. Voltaja bağlı optik geçirgenlik deney düzeneğinin şematik gösterimi.

5.3.3. Termal Ölçümler

Numunelerin faz geçiş sıcaklıkları, Şekil 5.6’da gösterilen düzenekteki Perkin-Elmer marka diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) yardımıyla, 40-110 °C sıcaklık aralığında nitrojen ortamında belirlenmiştir.



Şekil 5.6. Termal ölçümler için kullanılan deney düzeneği.

5.3.4. Morfolojik Ölçümler

PDSK kompozit yapılarda SK damlacıklarının boyut, şekil, yönelim ve dağılımlarını incelemek için FEI Quanta FEG 250 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 5.7).



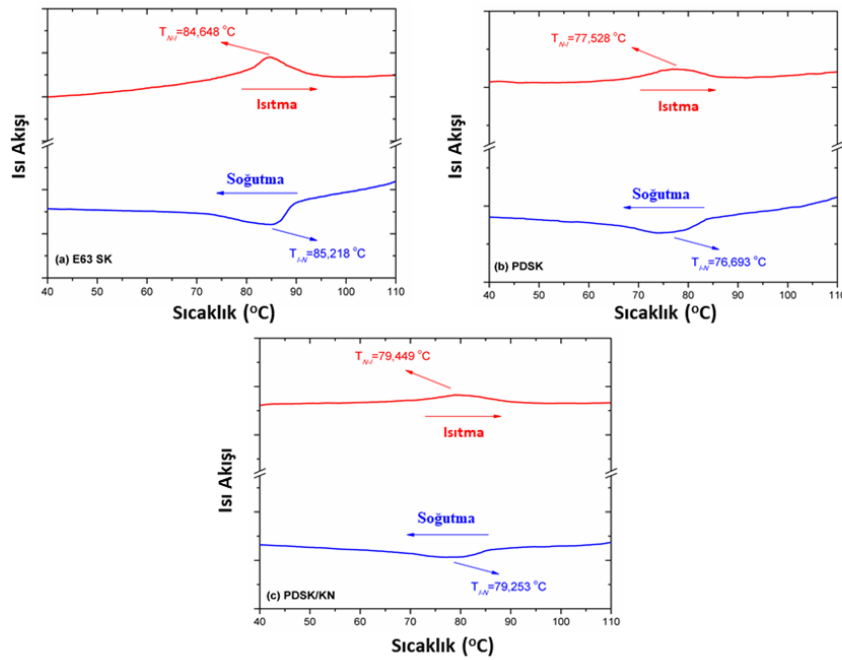
Şekil 5.7. Hazırlanan saf ve katkılı numunelerin morfolojik analizi için kullanılan SEM cihazı.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. TERMAL ÖZELLİKLER

Çalışmada E63 SK, PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının faz geçiş sıcaklıkları DSC cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 6.1 (a-c)' de E63 SK, PDSK ve PDSK/KN yapılarının ısıtma ve soğutma durumları için DSC grafikleri verilmiştir. Örneklere ait nematik fazdan izotropik faza geçiş sıcaklıkları (T_{N-I}) ve izotropik fazdan nematik faza geçiş sıcaklıkları (T_{I-N}) grafik içerisinde belirtilmiştir.

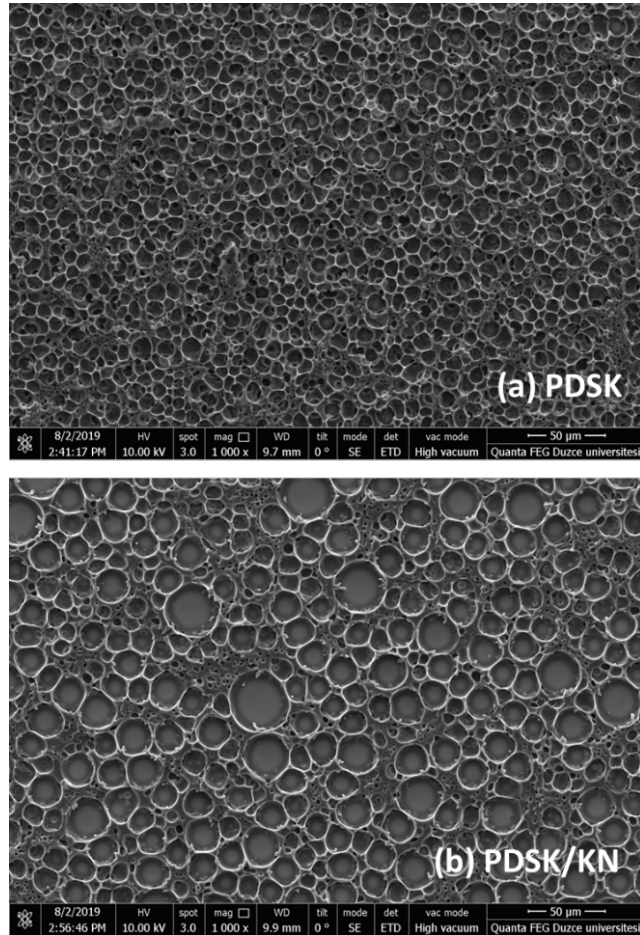
T_{N-I} ve T_{I-N} sıcaklık değerlerinin tüm örneklerde birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte PDSK kompozit yapının faz geçiş sıcaklığının E63 SK ile karşılaştırıldığında azaldığı görülmüştür. Bu davranışın temel sebebi, polimer ve SK molekülleri arasındaki etkileşimler sonucu nematik SK moleküllerinin yöneliminin değişmesidir [65]. Diğer yandan, PDSK/KN kompozit yapısının faz geçiş sıcaklığı değerlerinin PDSK kompozit yapısı ile karşılaştırıldığında artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu artışın PDSK/KN kompozit yapıda KN yapısının moleküler düzeni artırıcı yönde bir etki ile oluşabileceği olduğu düşünülmektedir [66].



Şekil 6.1. (a) E63 SK, (b) PDSK ve (c) PDSK/KN kompozit yapılarına ait DSC grafikleri.

6.2. MORFOLOJİK ÖZELLİKLER

PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının morfolojik özelliklerinin araştırması SEM cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kompozit yapılara ait SEM görüntüleri Şekil 6.2’de verilmiştir. İncelenen örneklerin SEM görüntülerinde elde edilen SK damlacıklardan yaklaşık 20 tanesinin ortalaması alınarak örneklere ait SK damlacık boyutu belirlenmiştir. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapıları için SK damlacık boyutu sırasıyla 14,22 μm ve 19,95 μm olarak hesaplanmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi SK damlacık boyutunun PDSK yapıya CdSeS/ZnS KN katkılanması ile arttığı görülmüştür. Bu artışın temel sebebi, PDSK kompozit yapıya KN katkılanması sonucu ortamın viskozitesindeki artış olduğu düşünülmektedir [67]-[68].

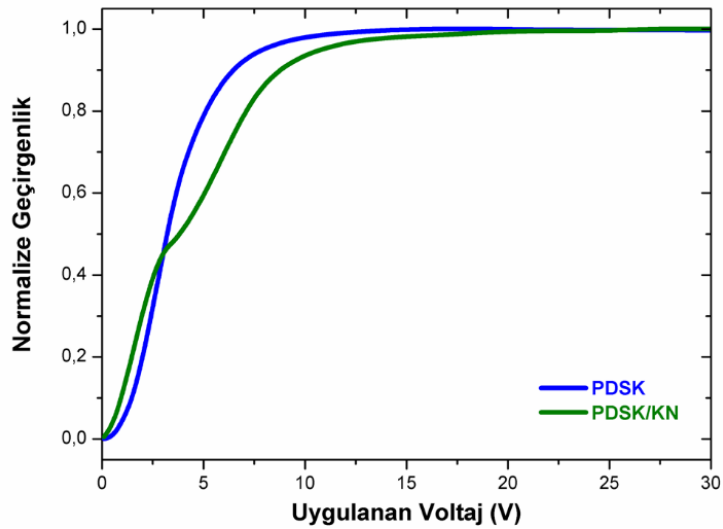


Şekil 6.2. (a) PDSK ve (b) PDSK/KN kompozit yapılarına ait SEM görüntüleri.

6.3. ELEKTRO-OPTİK ÖZELLİKLER

PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının elektro-optik davranışları elektro-optik geçirgenlik sistemi kullanılarak araştırılmıştır. Bu sistemde örneklere belirli aralıklarla artan voltaj uygulanmış ve bu voltaja karşılık gelen geçirgenlik değerleri elde edilmiştir. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının geçirgenlik-voltaj grafiği Şekil 6.3' te verilmiştir. Bu grafik kullanılarak numunelere ait eşik voltajı (V_{th}) parametresi belirlenmiş ve Çizelge 6.1' de bu parametreye ait değerler verilmiştir. Eşik voltajı parametresinin değeri, trasmitans değerinin % 10 artışı gösterdiği voltaj değerine karşılık gelmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi PDSK kompozit yapıya KN katkılanması sonucu V_{th} değeri azalmıştır. Eşik voltajı değerindeki bu azalma, PDSK yapının KN katkılanması ile fiziksel özelliklerindeki değişim ve bu değişim sonucu özellikle KN yapılarının damlacık içindeki sıvı kristal moleküller ile damlacık duvarı arasındaki örgü enerjisini azaltması olduğu sonucuna varılmıştır [67].

Eşik voltajı değerindeki azalmanın bir diğer sebebinin ise SK damlacık boyutundaki artış olduğu düşünülmektedir. Denklem (4.18) göre eşik voltajı değerinin SK damlacık boyutu (yarıçap) ile ters orantılı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Buna göre SK damlacık boyutundaki artış eşik voltajı değerinin azalmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, SK damlacık boyutunun CdSeS/ZnS KN katkılanması ile arttığı görülmüştür. Buna göre V_{th} değerindeki azalmanın elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 6.3. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının voltaja bağlı geçirgenlik grafiği.

PDSK ve PDSK/KN kompozit yapıları için CR parametresi, örneklere ait geçirgenlik-

voltaj grafikleri kullanılarak elde edilmiştir ve Çizelge 6.1’ de verilmiştir. CR değerinin PDSK kompozit yapıya KN katkılanması sonucu azaldığı tespit edilmiştir.

PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının tepki süresi parametresi (τ_t) 1 kHz kare dalga ve 5 V_{pp} AC geriliminde elde edilmiştir. Ölçümü yapılan kompozit yapıların osiloskopta ki dalga formunun minimum değerinin % 10’dan % 90’a ulaştığı süre yükselme süresi, maksimum değerinin % 90’dan % 10’a düştüğü süre ise düşme süresi olarak belirlenmiştir. Yükselme ve düşme sürelerinin toplamı ise kompozit yapıya ait tepki süresi olarak hesaplanmış ve Çizelge 6.1’ de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi τ_t parametresinin değeri PDSK yapıya KN katkılanması ile artmıştır. Bu sonuç PDSK/KN kompozit yapısında artan moleküler etkileşime bağlı olarak viskozitesinin artması ile açıklanmaktadır [61].

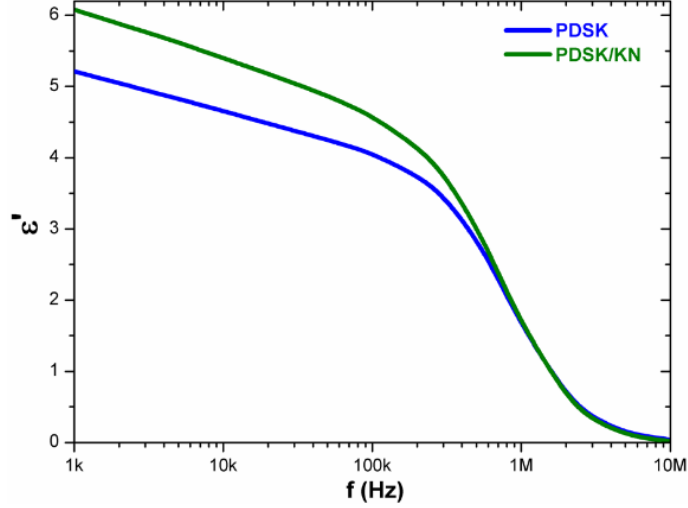
Çizelge 6.1. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının elektro-optik parametreleri.

İncelenen Örnekler	V _{th} (V)	τ_t (ms)	CR
PDSK	1,48	73	201
PDSK/KN	0,97	113	34

6.4. DİELEKTRİK ÖZELLİKLER

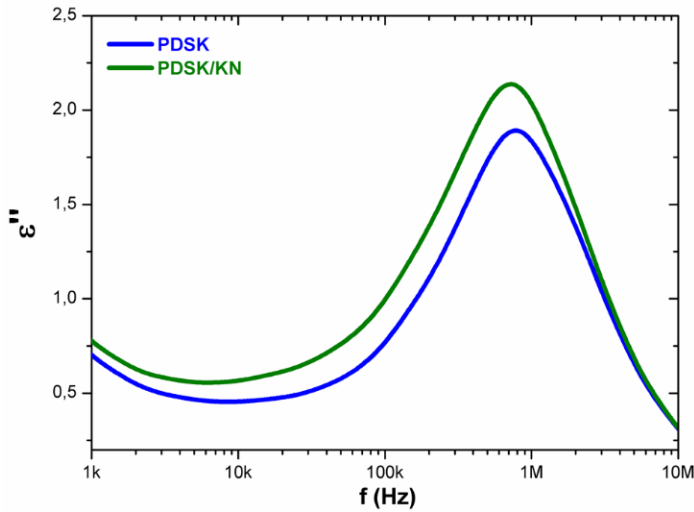
Numunelerin dielektrik özellikleri dielektrik/empedans spektroskopi tekniği kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntem SK temelli kompozit yapıların dielektrik özelliklerinin araştırılmasında kullanılan en yaygın yöntem olarak bilinmektedir ve SK molekülleri arasında oluşan moleküler etkileşim mekanizmaları hakkında önemli bilgiler vermektedir.

PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının 5 V gerilim değerinde elde edilen frekansa bağlı \mathcal{E}' değişim grafiği Şekil 6.4’te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, \mathcal{E}' değerinin PDSK/KN kompozit yapısında PDSK yapı ile karşılaştırıldığında az da olsa artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu artışın, PDSK/KN kompozit yapısını oluşturan polimer, SK ve KN yapıları arasında oluşan moleküler etkileşim mekanizmaları sonucunda ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bu moleküler etkileşim mekanizmaları kompozit yapının net dipol momentinde artışa sebep olmakta ve dolayısı ile \mathcal{E}' değerini arttırdığı düşünülmektedir [69], [70].



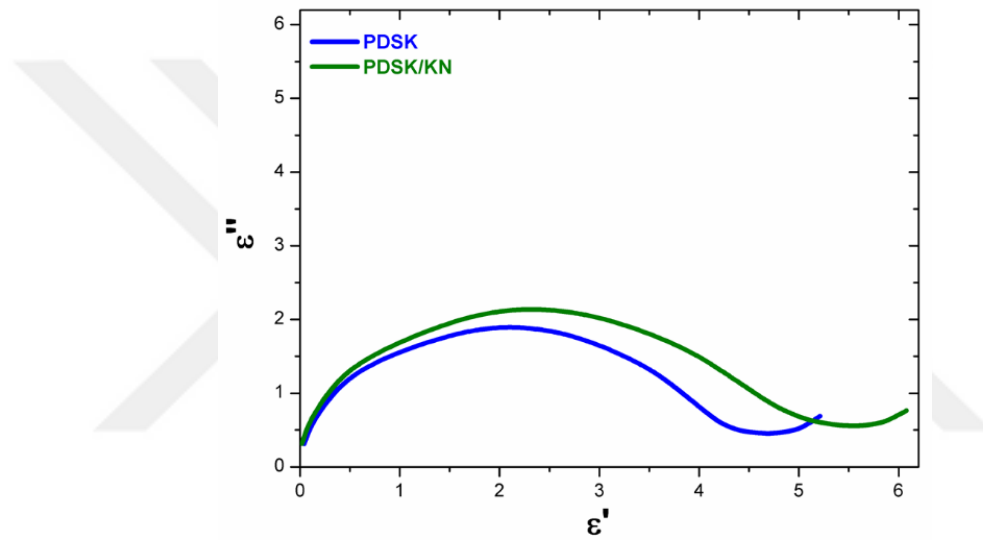
Şekil 6.4. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının ϵ' - f değişim grafiği.

Şekil 6.5' te PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının frekansa bağlı ϵ'' değişim grafiği verilmiştir. Kompozit malzemelerin $\epsilon'' - f$ grafikleri yapıların sahip oldukları relaksasyon davranışları hakkında önemli bilgiler vermektedir. Relaksasyon frekansı (f_R) değeri $\epsilon'' - f$ grafiklerinin sahip olduğu tepe noktalarından elde edilmektedir. Şekil 6.5' te PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının tek bir tepe noktasına sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçtan, her iki örneğin de tek bir relaksasyon davranışı gösterdiği anlaşılmaktadır. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının relaksasyon frekansı (f_R) değerleri Çizelge 6.2' de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, KN katkılanması sonucu PDSK kompozit yapısının f_R değerinin düştüğü görülmektedir. Bu sonuca göre, PDSK kompozit yapıya KN katkılanması ile daha düşük frekans bölgelerinde çalışabilecek yeni tip kompozit malzemeler üretilebileceği öngörülebilir.



Şekil 6.5. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının ϵ'' - f değişim grafiği.

Kompozit yapıların sahip olduğu relaksasyon davranışları Cole-Cole grafikleri kullanılarak da elde edilmektedir. Şekil 6.6’ da örneklerin Cole-Cole grafikleri verilmiştir. Cole-Cole denklemi kullanılarak PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarına ait relaksasyon zamanı (τ_R) ve α dağılım parametresi değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 6.2’ de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi τ_R parametresinin değeri polimer, SK ve KN yapıları arasında oluşan moleküler etkileşimler ve oluşan sürtünmeler sonucu PDSK/KN kompozit yapısında PDSK ile karşılaştırıldığında artmıştır. α dağılım parametresi ise her iki örnek için de sıfırdan farklı değerlere sahiptir. Buradan her iki yapı içinde Debye olmayan tip davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.

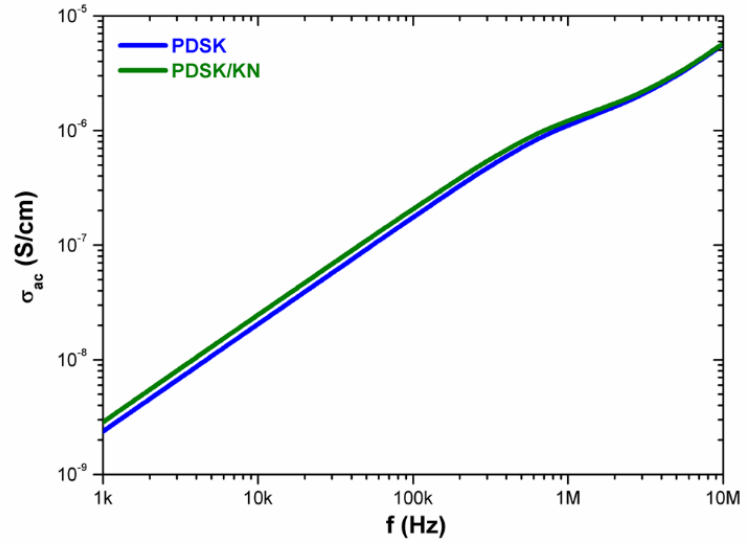


Şekil 6.6. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının Cole-Cole grafiği.

Çizelge 6.2. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının dielektrik parametreleri.

İncelenen Örnekler	f_R (kHz)	τ_R (μ s)	α
PDSK	784	0,236	0,102
PDSK/KN	725	0,272	0,123

Şekil 6.7’ de PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının frekansa bağlı σ_{ac} değişim grafiği verilmiştir. σ_{ac} değerinin hem PDSK hem de PDSK/KN kompozit yapılarında frekansa bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca PDSK/KN kompozit yapısının σ_{ac} değeri 1 MHz frekans değerine kadar PDSK kompozit yapı ile karşılaştırıldığında az da olsa üstündür. Bu artışın PDSK/KN kompozit yapısında oluşan safsızlık iyonlarının artışı ile ilgili olduğu düşünülmektedir [71].



Şekil 6.7. PDSK ve PDSK/KN kompozit yapılarının σ_{ac} -f değişim grafiği.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, PDSK yapıya katkılanan CdSeS/ZnS KN sonucu elde edilen yeni hibrit yapının elektro-optik, dielektrik ve morfolojik özellikleri üzerine yapılan araştırmanın sonuçları paylaşılmıştır.

Oluşturulan saf PDSK yapıya katkılanan CdSeS/ZnS KN sonucu moleküler düzenlenimin artması ile faz geçiş sıcaklığı 77,528 °C' den 79,449 °C' ye yükselmiştir. PDSK yapının damlacık boyutu ve moleküler tepki süresi, CdSeS/ZnS katkısıyla oluşan PDSK/KN kompozit yapıda artış göstermiştir. Bu artışa sebep olarak, moleküller arası oluşan sürtünme ve yeni yapının sürtünmeye bağlı olarak viskozite değerinin artması olarak görülmüştür. İncelenen yapılara ait eşik voltajı (V_{th}) parametresi PDSK kompozit yapıya KN katkılanması sonucu azalmıştır. Bu eğilim kuantum nokta katkısı ile i) sıvı kristal moleküller ve damlacık duvarı arasındaki örgü enerjisinin azalması, ii) PDSK/KN kompozit yapının damlacık boyutundaki artış ile açıklanmıştır. İncelenen yapıların zıtlık oranı voltaja bağlı geçirgenlik grafiklerinden saf PDSK için 201, PDSK/KN kompozit yapı için ise 34 olarak bulunmuştur. İncelenen PDSK/KN yapıda net dipol momentin moleküler etkileşimler dolayısı ile artışı kompozit yapının ϵ' değerini saf PDSK'ye göre bir miktar artırmıştır. Aynı zamanda CdSeS/ZnS KN katkısının incelenen yapıların relaksasyon davranışlarında değişime sebep olduğu ϵ'' - f grafiklerinden elde edilmiş bu frekans değerinin de 784 kHz değerinden 725 kHz değerine düştüğü görülmüştür.

Elde edilen sonuçlardan, CdSeS/ZnS KN katkılı PDSK kompozitlerin sıvı kristal ve polimer tabanlı cihaz teknolojisine dayalı yeni ve işlevsel cihazların geliştirilmesinde önemli bir öngörü sağlayacağı düşünülmektedir. Yapılan bu tez çalışmasının elektro-optik görüntüleme tabanlı cihaz uygulamaları konusunda çalışacak araştırmacılara yeni ufuklar sunacağını da düşünmekteyiz.

8. KAYNAKLAR

- [1] H. J. Shah, “Engineered interfaces for liquid crystal technology”, Doktora tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Drexel Üniversitesi, Philadelphia, PA, USA, 2007.
- [2] N. Kaya, “Mavi - kırmızı boya ve karbon nanotüp katkılı nematik sıvı kristallerin karakterizasyonu ve uygulanabilirliğinin araştırılması,” Doktora tezi, Kimya Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [3] S. Kumar, *Liquid Crystals: Experimental Study of Physical Properties and Phase Transitions*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- [4] Z. Ekici, “Sıvı kristaller, genel özellikleri, sıvı kristallerin sentezi ve uygulama alanları”, Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye, 2014.
- [5] S. Üstünel, “Sıvı kristal ikili karışımlarında halperin-lubensky-ma ölçeklenme fonksiyonunun çift kırıcılık ölçümleri ile test edilmesi”, Yüksek lisans tezi, Fizik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [6] C. J. Hsu, L. J. Lin, M. K. Huang ve C. Y. Huang, “Electro-optical Effect of Gold Nanoparticle Dispersed in Nematic Liquid Crystals”, *Crystals*, c. 7, ss. 1–10, 2017.
- [7] A. S. Pandey, R. Dhar, S. Kumar ve R. Dabrowski, “Enhancement of the display parameters of 4'-pentyl-4-cyanobiphenyl due to the dispersion of functionalised gold nano particles”, *Liquid Crystals*, c. 38, sayı 1, ss. 115–120, 2011.
- [8] C. Wan, Y. Jiao, Q. Sun, J. Li, M. Science ve Z. Agricultural, “Properties of Silver Nanoparticles Embedded into Cellulose Aerogels”, *Polymer Composite*, c. 37, sayı 4, ss. 1137–1142, 2016.
- [9] P. K. Tripathi, B. Joshi ve S. Singh, “Pristine and quantum dots dispersed nematic liquid crystal: Impact of dispersion and applied voltage on dielectric and electro-optical properties”, *Optical Materials (Amst)*, c. 69, ss. 61–66, 2017.
- [10] W. K. Lee, S. J. Hwang, M. J. Cho, H. G. Park, J. W. Han, S. Song, J. H. Jang ve D. S. Seo, “CIS–ZnS quantum dots for self-aligned liquid crystal molecules with superior electro-optic properties”, *Nanoscale*, c. 5, sayı. 1, ss. 193–199, 2012.
- [11] N. Kaya, F. Akkurt ve A. Alıcılar, “Alignment and reorientation in nematic liquid crystals doped with red dye and carbon nanotube”, *Fullerenes Nanotub. Carbon Nanostructures*, c. 19, sayı 4, ss. 262–270, 2011.
- [12] S. P. Yadav, K. K. Pandey, A. K. Misra ve R. Manohar, “Electro-optical behavior of dye doped nematic liquid crystal”, *Acta Physica Polonica A*, c. 119, sayı 6, ss. 824–828, 2011.
- [13] D. Jayoti, P. Malik ve A. Singh, “Analysis of morphological behaviour and electro-optical properties of silica nanoparticles doped polymer dispersed liquid crystal composites”, *Journal of Molecular Liquids*, c. 225, ss. 456–461, 2017.

- [14] Y. H. Fan, Y. H. Lin, H. Ren, S. Gauza ve S. T. Wu, “Fast-response and scattering-free polymer network liquid crystals for infrared light modulators”, *Applied Physics Letters*, c. 84, sayı 8, ss. 1233–1235, 2004.
- [15] S. H. Lee, T. K. Lim, S. T. Shin ve K. S. Park, “A method for improving contrast ratio of polymer dispersed liquid crystal film using the oriented azo-dye molecules in polymer matrix”, *Japanese Journal of Applied Physics*, c. 41, sayı 1, ss. 208–210, 2002.
- [16] R. R. Deshmukh ve A. K. Jain, “The complete morphological, electro- optical and dielectric study of dichroic dye-doped polymer-dispersed liquid crystal”, *Liquid Crystals*, c. 41, ss. 960–975, 2014.
- [17] I. Mora-Sero vd., “Recombination in quantum dot sensitized solar cells”, *Accounts of Chemical Research*, c. 42, sayı 11, ss. 1848–1857, 2009.
- [18] A. J. Nozik, M. C. Beard, J. M. Luther, M. Law, R. J. Ellingson ve J. C. Johnson, “Semiconductor quantum dots and quantum dot arrays and applications of multiple exciton generation to third-generation photovoltaic solar cells”, *Chemical Reviews*, c. 110, sayı. 11, ss. 6873–6890, 2010.
- [19] A. J. Shuhendler, P. Prasad, Ho-Ka C. Chan, C. R. Gordijo, B. Soroushian, M. Kolios, K. Yu, P. J. O’Brien, A. M. Rauth, X. Y. Wu, “Hybrid quantum dot–fatty ester stealth nanoparticles: toward clinically relevant in vivo optical imaging of deep tissue”, *ACS Nano*, c. 5, ss. 1958–1966, 2011.
- [20] O. Obonyo, E. Fisher, M. Edwards ve D. Douroumis, “Quantum dots synthesis and biological applications as imaging and drug delivery systems”, *Critical Reviews in Biotechnology*, c. 30, ss. 283–301, 2010.
- [21] J. Mirzaei, “Optical and electro-optical properties of nematic liquid crystals with nanoparticle additives”, Doktora tezi, Kimya Bölümü, Manitoba Üniversitesi, Winnipeg, MB, Canada, 2015.
- [22] O. Köysal, “Azo boya ve fulleren (C60) katkılı nematik sıvı kristallerin elektro-optik özelliklerinin incelenmesi”, Doktora tezi, Fizik Bölümü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 2007.
- [23] M. Schadt, “Liquid crystal materials and liquid crystal displays”, *Annual Review of Materials Research*, c. 27, ss. 305–379, 1997.
- [24] M. Okutan, “Fulleren ve azo boya katkılı nematik sıvı kristal sistemlerde dielektrik ve optik spektroskopi yöntemleri ile moleküler durulma zamanlarının ve kırılma indisi değişimlerinin incelenmesi”, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 2010.
- [25] J. P. F. Lagerwall ve G. Scalia, “A new era for liquid crystal research: Applications of liquid crystals in soft matter nano-, bio- and microtechnology”, *Current Applied Physics*, c. 12, ss. 1387–1412, 2012.
- [26] Q. Li, “Liquid Crystals Beyond Displays: Chemistry, Physics and Applications,” *Hoboken*, New Jersey, ABD, John Wiley & Sons, 2012.
- [27] M. S. Erel, “Bazı kloro ve amino antrakinon yapıları boyarmaddelerin y-h tipi sıvı kristal sistemlerde kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [28] Anonim, (2020, 24 Kasım). [Online]. Erişim:

https://tr.wikipedia.org/wiki/Sıvı_kristal.

- [29] P. K. Tripathi, “Electrical and Optical Studies of Some Liquid Crystals”, Doktora tezi, Fizik Bölümü, Lucknow Üniversitesi, Lucknow, UP, India, 2013.
- [30] G. Kocakulah, “CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı 5CB nematik sıvı kristalinin elektro-optik ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [31] M. S. Sunay, “Polimer-polimer ve polimer-metaloksit kompozit sistemlerde film oluşum davranışlarının incelenmesi”, Doktora tezi, Fizik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [32] Joe Martel. (2020, 24 Aralık). *Colorfullcs* [Online]. Erişim: <http://softmatter.seas.harvard.edu/index.php/File:Colorfullcs.jpg>.
- [33] L. W. May, “Polymer stabilized liquid crystals: topology-mediated electro- optical behavior and applications”, Doktora tezi, Kimyasal Fizik Bölümü, Kent State Üniversitesi, Ohio, USA, 2016.
- [34] S. Yıldız, “Sıvı kristal polimerlerde faz geçişleri”, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [35] P. Kumar, Neeraj, S.-W. Kang, S. H. Lee ve K. K. Raina, “520, 457 Analysis of dichroic dye-doped polymer-dispersed liquid crystal materials for display devices”, *Thin Solid Films*, c. 520, sayı 1, ss. 457–463, 2011.
- [36] K. K. Mishra, S. K. Dubey, ve S. A. Mani, “Optical characterization of inorganic nanoparticles doped in polymer dispersed liquid crystal”, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, c. 647, sayı 1, ss. 244–252, 2017.
- [37] H. Zhang, T. Zhong, M. Chen, L. Zhang, X. Liu, H. Cao, H. Yang ve S. Zhu *vd.*, “The physical properties of alkene-terminated liquid crystal molecules/E8 mixture and the electro-optical properties as they doped in polymer-dispersed liquid crystal systems”, *Liquid Crystals*, c. 45, sayı 8, ss. 1118–1128, 2018.
- [38] X. Liang, M. Chen, S. Guo, X. Wang, S. Zhang, L. Zhang, H. Yang, “Programmable electro-optical performances in a dual-frequency liquid crystals / polymer composite system”, *Polymer (Guildf)*, c. 149, ss. 164–168, 2018.
- [39] Y. Wu, H. Cao, M. Duan, E. Li, H. Wang, Z. Yang, D. Wang ve W. He, “Effects of a chemically modified multiwall carbon nanotubes on electro-optical properties of PDLC films”, *liq*, c. 45, ss. 1023–1031, 2018.
- [40] P. S. Drzaic, *Liquid Crystal Dispersions*, 1. baskı , Toh Tuck Link, Singapore :World Scientific, 1995.
- [41] M. Silva, “Effect of surfactant on PDLC films with and without permanent memory effect”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Nove de Lisboa Üniversitesi, Lisbon, Portugal, 2013.
- [42] L. G. Chen, “Thermo-Optical Properties of Polymer Dispersed Liquid Crystals”, Doktora tezi, Uygulamalı Bilimler Bölümü, RMIT Üniversitesi, Melbourne, Australia, 2007.
- [43] A. Masutani, “Guest-host effect of dyes in polymer dispersed liquid crystals”, Doktora tezi, Fizik Bölümü, Durham Üniversitesi, Durham, England, 2002.

- [44] P. Malik, “Study of phase separated polymer dispersed liquid crystal composite films”, Doktora tezi, Malzeme Bilimi Bölümü, Deemed Üniversitesi, Patiala, India, 2005.
- [45] J. Zhou, “Study of anchoring behavior of nematic fluids at the interface of polymer-dispersed liquid crystals”, Doktora tezi, Tekstil ve Elyaf Mühendisliği Bölümü, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, 2003.
- [46] L. M. Ganesan, “Coupling of the electrical, mechanical and optical response in polymer / liquid-crystal composites”, Doktora tezi, Matematik ve Doğa Bilimleri Bölümü, Potsdam Üniversitesi, Potsdam, Germany, 2010.
- [47] J. Jiang, “Polymer dispersed liquid crystal droplets: Properties and applications”, Doktora tezi, Kimyasal Fizik Bölümü, Kent State Üniversitesi, Ohio, USA, 2018.
- [48] J. Mirzaei, M. Reznikov ve T. Hegmann, “Quantum dots as liquid crystal dopants”, *Journal of Materials Chemistry*, c. 22, ss. 22350–22365, 2012.
- [49] I. L. Medintz, H. T. Uyeda, E. R. Goldman ve H. Mattoussi, “Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing”, *Nature Materials*, c. 4, sayı 6, ss. 435–446, 2005.
- [50] M. Emek, “Faz dönüşümlerinin nematik sıvı kristallerin elektrooptik özelliklerine etkisi”, Doktora tezi, Fizik Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [51] S. Ilıcan, Y. Çağlar ve M. Çağlar, “CdZnS ve ZnO yarı iletken filmlerinin yasak enerji aralıkları”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.9, sayı 1, ss. 48–54, 2005.
- [52] M. Mishra, R. S. Dabrowski ve R. Dhar, “Thermodynamical, optical, electrical and electro-optical studies of a room temperature nematic liquid crystal 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl dispersed with barium titanate nanoparticles”, *Journal of Molecular Liquids*, c. 213, ss. 247–254, 2016.
- [53] U. B. Singh, D. Singh, S. Kumar, R. Dhar ve M. B. Pandey, “The optical properties of quantum dots in anisotropic media”, *Journal of Molecular Liquids*, c. 241, ss. 1009–1012, 2017.
- [54] R. Kempaiah, “Dielectric studies of liquid crystal nanocomposites and nanomaterial systems”, Yüksek lisans tezi, Department of Chemistry and Biochemistry, University of Maryland, College Park, USA, 2016.
- [55] M. Gökçen, “Au/SiO₂/n-GaAs (MOY) yapıların elektrik ve dielektrik karakteristiklerinin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi”, Doktora tezi, Fizik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [56] A. Deryal, “Montmorillonitçe zengin bentonitlerde sıcaklık, basınç ve parçacık büyüklüğünün dielektrik özelliklere ve aktivasyon enerjilerine etkisi”, Doktora tezi, Fizik Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.
- [57] M. Yıldırım, A. Allı, G. Önsal, N. Gök ve O. Köysal, “Synthesis & chemical and dielectric characterization of poly (linoleic acid)-g-poly (dimethylaminoethyl methacrylate): A novel high-k graft copolymer”, *Composites Part B*, c. 117, ss. 43–48, 2017.
- [58] S. Zengin, “Farklı montmorillonit kil numunelerinin dielektrik özellikleri üzerine nemin etkisi”, Yüksek lisans tezi, Fizik Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2007.

- [59] M. Yıldırım, O. Köysal, G. Önsal ve E. Gümüş, “Effect of iron phthalocyanine (FePc) concentration on electrical and dielectric properties of the nematic liquid crystal composites”, *Journal of Molecular Liquids*, c. 223, ss. 868–872, 2016.
- [60] K. K. Raina, P. Kumar ve P. Malik, “Morphological control and polarization switching in polymer dispersed liquid crystal materials and devices”, *Bulletin of Materials Science*, c. 29, ss. 599–603, 2006.
- [61] V. Sharma, P. Kumar, A. Sharma, Chinky ve K. K. Raina, “Droplet configuration control with orange azo dichroic dye in polymer dispersed liquid crystal for advanced electro-optic characteristics”, *Journal of Molecular Liquids*, c. 233, ss. 122–130, 2017.
- [62] M. Pande, P. Tripathi, A. Misra, S. Manohar, R. Manohar, S. Singh, “Dielectric and electro-optical properties of polymer-stabilized liquid crystal system”, *Applied Physics A 122*, sayı 217, 2016.
- [63] P. K. Tripathi, M. Pande ve S. Singh, “Dielectric and electro-optical properties of polymer-stabilized liquid crystal. II. Polymer PiBMA dispersed in MBBA”, *Applied Physics A 122*, sayı 847, 2016.
- [64] O. Köysal, M. Gökçen, ve M. Yıldırım, “Ultraviolet light response of electrical and dielectric properties in zinc phthalocyanine and fullerene dispersed liquid crystal composites”, *Canadian Journal of Physics*, c. 93, sayı 10, ss. 1207– 1212, 2015.
- [65] T. Vimal, K. Agrahari, R. K. Sonker ve R. Manohar, “Investigation of thermodynamical, dielectric and electro-optical parameters of nematic liquid crystal doped with polyaniline and silver nanoparticles”, *Journal of Molecular Liquids*, c. 290, ss. 111241, 2019.
- [66] H. H. M. Elkhilgi, S. Khandka, U. B. Singh, K. L. Pandey, R. Dabrowski ve R. Dhar, “Dielectric and electro-optical properties of a nematic liquid crystalline material with gold nanoparticles”, *Liquid Crystals*, c. 45, sayı 12, ss. 1795-1801, 2018.
- [67] C.-C. Hsu, Y.-X. Chen, H.-W. Li ve J.-S. Hsu, “Low switching voltage ZnO quantum dots doped polymer-dispersed liquid crystal film”, *Optics Express*, c. 24, sayı 7, ss. 7063–7068, 2016.
- [68] R. R. Deshmukh ve A. K. Jain, “The complete morphological, electro-optical and dielectric study of dichroic dye-doped polymer-dispersed liquid crystal”, *Liquid Crystals*, c. 41, ss. 960–975, 2014.
- [69] A. K. Jain ve R. R. Deshmukh, “Electro-optical and dielectric study of multi-walled carbon nanotube doped polymer dispersed liquid crystal films”, *Liquid Crystals*, c. 46, ss. 1191–1202, 2019.
- [70] A. K. Misra, P. K. Tripathi, K. K. Pandey, B. P. Singh ve R. Manohar, “Dielectric properties and activation energies of Cu: ZnO dispersed nematic mesogen N-(4-methoxybenzylidene)-4-butylaniline liquid crystal”, *Journal of Dispersion Science and Technology*, c. 41, sayı 9, ss.1283-1290, 2020.
- [71] M. Yıldırım, O. Köysal, G. Onsal ve E. Gümüş, “Effect of iron phthalocyanine (FePc) concentration on electrical and dielectric properties of the nematic liquid crystal composites”, *Journal of Molecular Liquids.*, c. 223, ss. 868–872, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serkan BALCI

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Fizik	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	Fizik	Kocaeli Üniversitesi	2001
Lise	Fen/Fen Bilimleri	Hayrullah Kefoğlu Anadolu Lisesi	1997