

**DİSPERS TURUNCU BOYA KATKILI  
ZLI-1132 TİPİ SIVI KRİSTALİN Y-H TİPİ GÖSTERGELERDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Meryem GÜRLÜK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2012**

**ANKARA**



**DİSPERS TURUNCU BOYA KATKILI  
ZLI-1132 TİPİ SIVI KRİSTALİN Y-H TİPİ GÖSTERGELERDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Meryem GÜRLÜK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2012**

**ANKARA**

Meryem GÜRLÜK tarafından hazırlanan “DİSPERS TURUNCU BOYA KATKILI ZLI-1132 TİPİ SIVI KRİSTALİN Y-H TİPİ GÖSTERGELERDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Ahmet ALICILAR .....

Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Atilla MURATHAN .....

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ALICILAR .....

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ali DİŞLİ .....

Kimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 05/10/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

MERYEM GÜRLÜK

**DİSPERS TURUNCU BOYA KATKILI  
ZLI-1132 TİPİ SIVI KRİSTALİN Y-H TİPİ GÖSTERGELERDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Meryem GÜRLÜK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2012

**ÖZET**

Sıvı kristaller, göstergelerin temel bileşenleri olduklarından görüntü teknolojisinde önemli malzemelerdir. Uygulanan elektrik alanıyla sıvı kristal moleküllerin yönelimlerinin değişme olasılıkları onların LCD'lerde kullanımı açısından önemlidir. Yolcu-Hancı(Y-H) tipi sıvı kristal göstergeler geniş görüş açısı, düşük maliyet, mükemmel renk tonu ve yüksek parlaklıkları sebebiyle çok fazla ilgi çekmektedirler. Bu çalışmanın amacı farklı moleküler yapıda boyalar kullanarak moleküler yönlenmeyi geliştirmek ve nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı üzerine etkilerini incelemektir. Bu amaçla 3 farklı boyarmadde (Dispers turuncu 11, 13 ve 37) ZLI-1132 nematik sıvı kristaline ayrı ayrı eklenmiş ; çözünürlükleri, düzen parametreleri, tekstürleri ve faz geçiş sıcaklıkları belirlenmiştir. Sonuçta, maksimum çözünürlük Dispers turuncu 13 boya için %2,60 ; maksimum düzen parametresi Disperse turuncu 37 için 0,56 olarak elde edilmiştir. Ayrıca ZLI-1132 nematik sıvı kristaline boya katkısı nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı üzerine olumsuz bir etki göstermemiştir.

**Bilim Kodu** : 912.1.094  
**Anahtar Kelimeler** : Sıvı kristal, Düzen parametresi, Tekstür, Dispers boya, Yolcu-Hancı sistemler, Faz geçişi  
**Sayfa Adedi** : 92  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Ahmet ALICILAR

**INVESTIGATION OF APPLICABILITY  
OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS DOPED WITH DISPERSE ORANGE  
DYE IN GUEST-HOST SYSTEMS  
(M.Sc. Thesis)**

**Meryem GÜRLÜK**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
October 2012**

**ABSTRACT**

Liquid crystals are important materials in display technology, because they are basic components of liquid crystal displays (LCDs). The possibilities of changing orientation of liquid crystal molecules by the applied electric fields, is important for their use in LCDs. Guest-Host liquid crystal displays (GH-LCDs) have attracted much attention because of their wide viewing angle, lower costs, excellent hues and high brightness levels. The aim of this study is to improve the molecular orientation and to investigate effects on the nematic-isotropic phase transition temperature of dyes having different molecular structure. For this purpose, three different dyes (disperse orange 11, 13 and 37) were separately doped to nematic liquid crystal (ZLI-1132). Their solubilities, order parameters, textures and phase transition temperatures were determined. In conclusion, maximal solubility were assessed as 2,60% for Disperse orange 13 dye ; maximal order parameter value ( $S=0,56$ ) was obtained with azo structured Disperse orange 37. Moreover, doping dye into ZLI-1132 did not demonstrate negative effect on the phase transition temperature.

**Science Code** : 912.1.094  
**Keywords** : Nematic liquid crystal, Order parameter, Texture,  
Dispers dye, Guest-Host systems, Phase  
transition  
**Total page** : 92  
**Adviser** : Prof. Dr. Ahmet ALICILAR

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım süresince bana yol gösteren ve her türlü desteğini hiç bir zaman esirgemeyen danışmanım Sayın Prof.Dr.Ahmet ALICILAR'a sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda bilgisiyle kayda değer katkısı bulunan, tüm sorularıma eksiksiz cevap veren, önerileri ve bilgisi ile yol gösteren Sayın Dr.Fatih AKKURT'a ve Yard.Doç.Dr.Nihan KAYA'ya katkılarından ötürü minnettarım.

Tez çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan sevgili arkadaşlarım Meryem Sena EREL'e, ve Hilal ALTINDİŞ'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca hayatımın her aşamasında destek ve sevgilerini hiç bir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                        | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET.....                                                              | iv           |
| ABSTRACT.....                                                          | vi           |
| TEŞEKKÜR.....                                                          | viii         |
| İÇİNDEKİLER.....                                                       | ix           |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                              | xii          |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                                | xiii         |
| RESİMLERİN LİSTESİ.....                                                | xv           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                           | xvi          |
| 1. GİRİŞ.....                                                          | 1            |
| 2. SIVI KRİSTALLER.....                                                | 3            |
| 2.1. Sıvı Kristallerin Tarihçesi.....                                  | 3            |
| 2.2. Sıvı Kristal Tanımı ve Özellikleri.....                           | 4            |
| 2.3. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları.....                          | 7            |
| 2.4. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması.....                          | 9            |
| 2.4.1. Termotropik sıvı kristaller.....                                | 10           |
| 2.4.2. Liyotropik sıvı kristaller.....                                 | 17           |
| 2.5. Sıvı Kristallerin Fiziksel Özellikleri.....                       | 20           |
| 2.5.1. Sıvı kristallerin optik özellikleri.....                        | 21           |
| 2.5.2. Sıvı kristallerin elektriksel ve manyetik özellikleri.....      | 23           |
| 2.6. Sıvı Kristal Yönelimleri.....                                     | 25           |
| 2.7. Sıvı Kristal Gösterge (LCD) Teknolojisinin Temel Prensipleri..... | 27           |

|                                                                         | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.8. Nematik Sıvı Kristal Göstergeler.....                              | 29           |
| 2.8.1. Yolcu-Hancı (Y-H) sistemleri.....                                | 30           |
| 2.8.2. Polimer dispers sistemler.....                                   | 35           |
| 3. BOYARMADDELER.....                                                   | 37           |
| 3.1. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması.....                             | 37           |
| 3.1.1. Çözünürlüklerine göre sınıflandırma.....                         | 37           |
| 3.1.2. Boyama özelliklerine göre sınıflandırma.....                     | 39           |
| 3.1.3. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma.....                      | 43           |
| 3.2. Sıvı Kristal Göstergelerde Kullanılan Boyarmaddeler.....           | 46           |
| 4. KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ.....                                      | 48           |
| 4.1. Boyarmaddenin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüğü.....                    | 48           |
| 4.2. Düzen Parametresinin Belirlenmesi.....                             | 49           |
| 4.3. Polarize Mikroskopik Teknikler.....                                | 50           |
| 5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....                                           | 52           |
| 6. MATERYAL VE METOT.....                                               | 57           |
| 6.1. Araç ve Gereçler.....                                              | 57           |
| 6.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler.....                                | 57           |
| 6.1.2. Kullanılan cihazlar.....                                         | 59           |
| 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....                                             | 60           |
| 7.1. Boyarmaddelerin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüklerinin Belirlenmesi... | 60           |
| 7.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerlerinin Belirlenmesi.....         | 63           |
| 7.3. Numunelere Ait Tekstürlerin Eldesi.....                            | 64           |
| 8. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                            | 65           |

|                                                                                                                       | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 8.1. Boyarmaddelerin Çözünürlükleri.....                                                                              | 65           |
| 8.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerleri.....                                                                       | 67           |
| 8.3. Numunelere Ait Tekstürler.....                                                                                   | 69           |
| 9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                                                             | 73           |
| KAYNAKLAR.....                                                                                                        | 74           |
| EKLER.....                                                                                                            | 82           |
| EK-1. Boyarmaddelere ait absorpsiyon grafikleri.....                                                                  | 83           |
| EK-2. Boyarmaddelerin kalibrasyon grafikleri.....                                                                     | 84           |
| EK-3. Boyarmaddelerin çözünürlük tayinleri için örnek hesaplama,<br>ayrıntılı deney verileri ve çalışma şartları..... | 85           |
| EK-4. Katkısız ZLI-1132 sıvı kristali ve boyarmadde-sıvı kristal<br>karışımlarına ait tekstürler.....                 | 88           |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                                         | 92           |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                           | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 8.1. Boyarmaddeler için deneysel veriler ve çözünürlük değerleri.....     | 65    |
| Çizelge 8.2. Çalışılan boyarmaddelere ait düzen parametre değerleri.....          | 67    |
| Çizelge 8.3. Boya katkılı ZLI-1132 sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları..... | 70    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Kolesterol benzoatın kimyasal yapısı ve kolesterol benzoat kristalinin erimesinin şematik gösterimi ..... | 3     |
| Şekil 2.2. Tipik bir sıvı kristalin molekül yapısı.....                                                              | 4     |
| Şekil 2.3. Katı, sıvı kristal ve sıvı fazda moleküllerin düzenliliği.....                                            | 5     |
| Şekil 2.4. Katı kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı geçiş.....                                 | 6     |
| Şekil 2.5. Sıvı kristallerin sınıflandırılması.....                                                                  | 9     |
| Şekil 2.6. Termotropik sıvı kristallerin molekül yapıları.....                                                       | 11    |
| Şekil 2.7. Termotropik sıvı kristal fazları.....                                                                     | 12    |
| Şekil 2.8. Simektik A ve Simektik C fazında moleküllerin tabaka doğrultusu boyunca yönelimi.....                     | 13    |
| Şekil 2.9. Simektik kristallerde ara fazların sıcaklığa göre değişimi.....                                           | 13    |
| Şekil 2.10. Nematik fazın şematik gösterimi ve polarize mikroskop kullanılarak çekilmiş fotoğrafı.....               | 14    |
| Şekil 2.11. Yön vektörü ile molekül arasındaki açının değişimi.....                                                  | 15    |
| Şekil 2.12. Kolesterik sıvı kristallerin şematik gösterimi.....                                                      | 16    |
| Şekil 2.13. Liyotropik bir sıvı kristalin şekli (sabun).....                                                         | 17    |
| Şekil 2.14. Liyotropik sıvı kristaller olarak biyomembranlar.....                                                    | 18    |
| Şekil 2.15. Liyotropik fazda konsantrasyona bağlı faz geçişleri.....                                                 | 20    |
| Şekil 2.16. Sıvı kristal ortamdaki polarize olmayan ışığın davranışı.....                                            | 22    |
| Şekil 2.17. Sıvı kristalde ışığın moleküler eksen boyunca yayılması.....                                             | 22    |
| Şekil 2.18. Dielektrik sabiti uygulanan alan ile sıvı kristal madde arasındaki etkileşim.....                        | 25    |

| <b>Şekil</b>                                                                                                 | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2.19. Sıvı Kristal moleküllerinin yönlenimi.....                                                       | 26           |
| Şekil 2.20. Sıvı kristal moleküllerin oluklu yüzey boyunca dizilimi.....                                     | 27           |
| Şekil 2.21. Sıvı kristal moleküllerin ışığı yönlendirmesi.....                                               | 28           |
| Şekil 2.22. Elektrik alan altında sıvı kristal moleküllerin dizilimi.....                                    | 29           |
| Şekil 2.23. Boya katkılı nematik sıvı kristal.....                                                           | 31           |
| Şekil 2.24. Saf sıvı kristale boya katkısıyla nematik sıvı kristal<br>molekülünün yönelimindeki değişim..... | 33           |
| Şekil 2.25. Sıvı kristal göstergenin şematik gösterimi.....                                                  | 34           |
| Şekil 2.26. Polimer dispers sıvı kristalin şematik gösterimi.....                                            | 36           |
| Şekil 4.1. Polarize mikroskop ve bölümleri.....                                                              | 50           |
| Şekil 6.1. Dispers turuncu boyarmaddelerin moleküler yapıları.....                                           | 58           |
| Şekil 6.2. Kullanılan nematik sıvı kristalin moleküler yapısı.....                                           | 58           |
| Şekil 7.1. Aseton içinde çözünmüş Dispers Turuncu 11<br>boyarmaddesine ait A- $\lambda$ grafiği.....         | 61           |
| Şekil 7.2. Aseton içinde çözünmüş Dispers Turuncu 11<br>boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği.....          | 62           |
| Şekil 7.3. Sıvı kristal ile doldurulmuş planar yönelime sahip bir<br>hücrenin kesiti.....                    | 63           |

**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>                                                                                 | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 8.1. DT 11 katkılı ZLI-1132 sıvı kristaline ait farklı sıcaklıklardaki tekstürler..... | 72           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler               | Açıklama                                             |
|------------------------|------------------------------------------------------|
| $A_{\perp}$            | Dik yöndeki absorbands                               |
| $A_{\parallel}$        | Paralel yöndeki absorbands                           |
| $D_{\perp}$            | Dik yöndeki optik yoğunluk                           |
| $D_{\parallel}$        | Paralel yöndeki optik yoğunluk                       |
| $n$                    | Direktör; moleküler yönelimin genel eksen            |
| $n_o$                  | Optik eksene dik olan kırılma indisi                 |
| $n_e$                  | Optik eksene paralel olan kırılma indisi             |
| $q$                    | Moleküller ile yön vektörü arasındaki açı            |
| $R$                    | Dikroik oran                                         |
| $S$                    | Düzen parametresi                                    |
| $T_I$                  | İzotropik faz sıcaklığı                              |
| $T_N$                  | Nematik faz sıcaklığı                                |
| $T_{NI}$               | Ortalama nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı       |
| $\epsilon_{\perp}$     | Dik yöndeki dielektrik sabiti                        |
| $\epsilon_{\parallel}$ | Paralel yöndeki dielektrik sabiti                    |
| $\lambda$              | Dalga boyu                                           |
| $\Delta\epsilon$       | Dielektrik anizotropi                                |
| $\Delta n$             | Optik anizotropi                                     |
| $\Delta T_I$           | Katkılı sıvı kristale ait $T_I$ sıcaklığındaki kayma |
| $\Delta T_N$           | Katkılı sıvı kristale ait $T_N$ sıcaklığındaki kayma |
| $\Delta T_{NI}$        | Ortalama berraklaşma sıcaklığındaki kayma            |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>       |
|--------------------|-----------------------|
| <b>CR</b>          | Kontrast oranı        |
| <b>DT 11</b>       | Dispers turuncu 11    |
| <b>DT 13</b>       | Dispers turuncu 13    |
| <b>DT 37</b>       | Dispers turuncu 37    |
| <b>ITO</b>         | İndiyum kalay oksit   |
| <b>LC, SK</b>      | Sıvı kristal          |
| <b>LCD</b>         | Sıvı kristal gösterge |
| <b>UV</b>          | Ultraviyole           |
| <b>Y-H</b>         | Yolcu-Hancı           |

## 1. GİRİŞ

Maddenin en bilinen halleri katı, sıvı ve gaz fazlarıdır; fakat maddenin bunların dışında halleri de vardır. Her bir halde moleküller farklı bir düzene sahip olduklarından maddenin tüm bu halleri birbirlerinden farklıdır [Yıldırım, 2011]. Katı yapıda atom veya moleküller belirli konumlarda örgü titreşimleri yaparak dururlarken, dönme hareketi yapamazlar. Sıvı fazda ise moleküller ötelenme hareketi ile birlikte dönme hareketini de yapabilmektedirler. Katıların erimesi sonucu düzenli molekül yapısı bozulur ve moleküllerin dönüş serbestliği kazandığı sıvı faza geçilir. Katıdan sıvı faza geçerken aradaki faz, daha düzenli molekül dizilişine sahip sıvı hal gösterdiğinden dolayı bu tip maddelere sıvı kristal denilmiştir [Köysal, 2007].

Sıvı kristaller ve gösterdikleri ilginç faz değişimleri araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Her türlü mekanik etkiye, sıcaklık ve basınç değişimlerine son derece duyarlı olmaları, elektriksel, manyetik ve optik özelliklerinde gözlenen anizotropik davranışlar nedeniyle sıvı kristaller, giderek artan bir ilgi ve geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Sıvı kristaller, ekran endüstrisinde yeni bir devir başlatmış ve temel bilimcilerde büyük ilgi uyandırmıştır [Lueder, 2001].

Sıvı kristaller normal izotropik sıvı ile üç boyutlu katı kristal arasında yer bulan anizotropik sıvılardır. Anizotropik fiziksel özellikler sergilemelerine neden olan çubuksu molekül yapıları ve bu moleküllerin doğrultu adı verilen bir vektör boyunca uzun eksenleri istikametinde yönlendirilebilir olmalarıdır [Akar, 2006].

Sıvı kristal materyaller birçok ortak özelliklere sahiptirler. Bunlar arasında; çubuksu bir moleküler yapı, uzun eksenin eğilmezliği ve kuvvetli iki kutupluluk veya kolay polarize olabilme sayılabilir [Akbaş, 2011]. Küçük elektrik alanları uygulayarak, sıvı kristallerin moleküler dizilişleri değiştirilebilmekte ve ışık kaynağına bağlı olarak sıvı kristaller saydam ya da ışık geçirmez olabilmektedir.

Sıvı kristaller; dijital saatlerde, hesap makinalarında, osilografik göstergelerde, radyasyon ve basınç sensörlerinde, otomobil ve uçakların gösterge panellerinde, dizüstü ve masaüstü bilgisayar ekranları ile televizyon ekranlarında geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Boya katkılı sistemler Yolcu-Hancı (Y-H) sistemleri diye bilinmektedir. Maliyet ve kontrast yönüyle bu tip göstergeler bazı avantajlara sahiptir [Bauman ve Moryson,1997]. Bu sistemlerde hancı nematik sıvı kristal olup, yolcu olarak dikroik veya pleokroik boyalar kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bazı azo ve antrakinon yapılı boyarmaddelerin sıvı kristal boyası olarak Yolcu-Hancı (Y-H) sistemlerde kullanılabilirliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmanın ilk aşamasında üç tane (dispers turuncu 11, 13, ve 37) azo ve antrakinon yapıda boyarmadde seçilerek, ZLI-1132 tipi sıvı kristal içerisindeki çözünürlükleri belirlenmiştir.

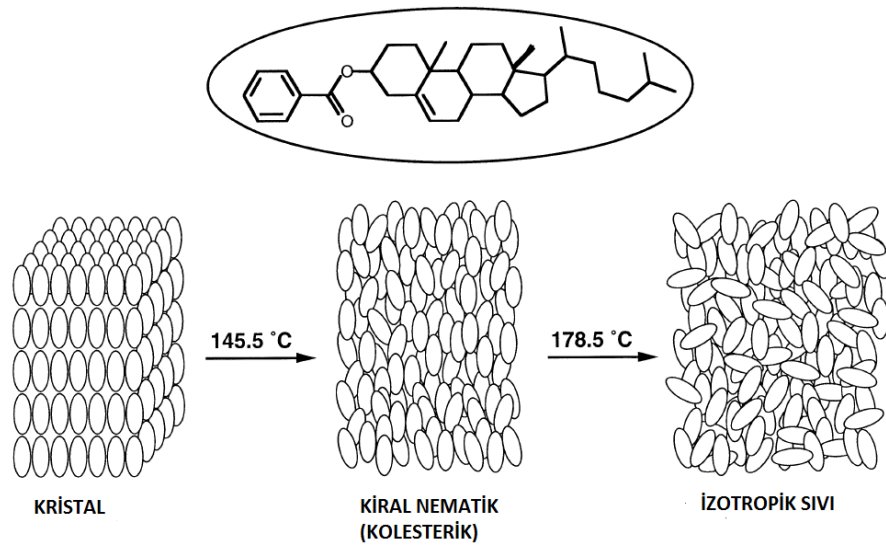
Çalışmaların devamında hazırlanan boya katkılı sıvı kristal numunelerin düzen parametreleri tespit edilmiştir. Bu işlemin ardından hazırlanan numunelerin faz geçiş sıcaklıkları ve tekstürleri polarize mikroskop yardımı ile belirlenmiştir.

## 2. SIVI KRİSTALLER

### 2.1. Sıvı Kristallerin Tarihçesi

Doğada bazı organik maddeler, katı sıvı ve gaz fazının dışında dördüncü bir faz özelliği gösterirler. Bu faz durumunda; bu tip maddeler katı ve sıvı özelliklerinin bir karışımına sahiptir [Eren ve ark., 2002].

Avusturyalı kimyacı Friederich Reinitzer sıvı kristal yapıyı 1888 yılında keşfetmiştir. Reinitzer Kolesterol benzoat adlı organik maddeyle yaptığı bir deney sırasında 145°C sıcaklıkta aniden katı fazdan bulanık bir sıvıya ve sıcaklığın artması ile bu bulanık sıvının 178°C sıcaklıkta aniden berrak bir sıvıya dönüştüğünü gözlemiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kolesterol benzoatın kimyasal yapısı ve kolesterol benzoat kristalinin erimesinin şematik gösterimi [Kelly ve O'Neill , 2000]

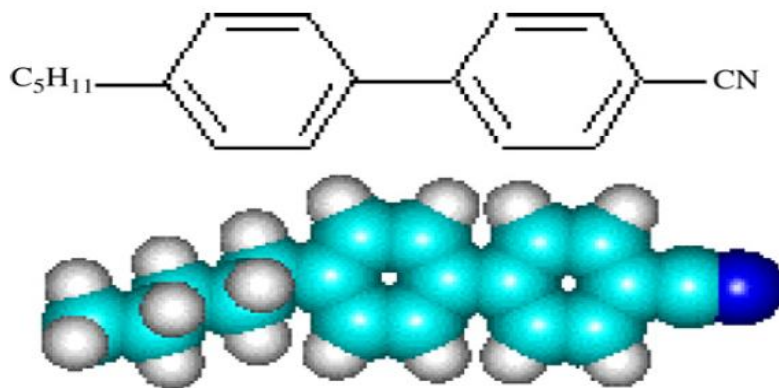
Bu tür hal değişimleri, artan ve azalan sıcaklık değişimleri ile tekrarlanabilirlik göstermiştir. İki yıl sonra Gatterman *p*-azoksianisol ve *p*-azoksifenetol adlı maddelerin de aynı davranışı gösterdiğini açıklamıştır. Daha sonra Alman

fizikçi Lehmann bulanık görünümlü ara fazın maddenin yeni bir hali olduğuna karar vermiştir. Maddenin bu yeni hali sıvı kristal olarak adlandırılmıştır. Sıvı kristaller diğer sıvılar gibi akıcı olup bulundukları kabın şeklini almalarına karşılık, katı kristaller gibi polarize ışığı çift kırma özelliğine sahiptir ve girişim renkleri verebilmektedir [Eren ve ark., 2002; Wang ve ark., 2002; Williams, 2009].

İleri materyaller olarak teknolojide geniş yer bulan sıvı kristallere ilgi her geçen gün artmakta ve farklı yapıdaki yeni sıvı kristal malzemelerin dizaynı, fiziksel özelliklerinin belirlenmesi konusundaki araştırmalara hızla yenileri eklenmektedir [Yazıcı ve ark., 2009].

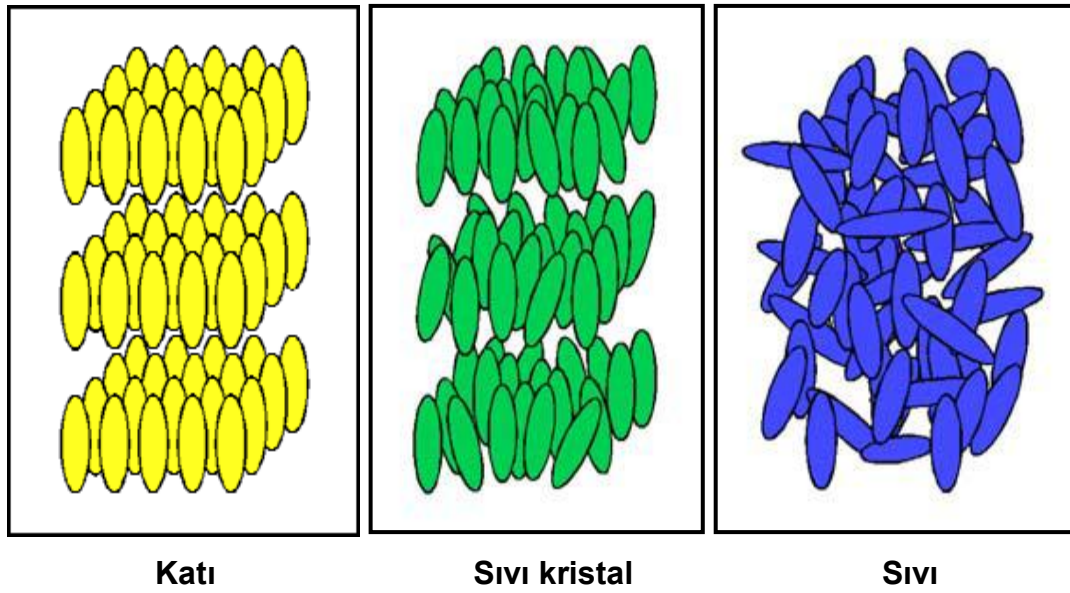
## 2.2. Sıvı Kristal Tanımı ve Özellikleri

Maddenin katı kristal – izotropik sıvı arasındaki yeni bir konumu olan sıvı kristaller hem sıvıya hem de katıya ait özellikler gösterirler. Sıvı kristaller; kendilerine özgü bir yapıya sahip moleküllerin düzgün bir yapı oluşturacak biçimde düzenlenmeleriyle oluşan sistemlerdir. Şekil 2.2, tipik bir sıvı kristalin moleküler yapısını göstermektedir.



Şekil 2.2. Tipik bir sıvı kristalin molekül yapısı (Pentil-Siyano-Bifenil 5CB)  
[Khoo, 2009]

Sıvı kristal mezofaz; maddenin düzenli moleküler yapıya sahip katılar ve düzensiz moleküler yapıya sahip olan sıvılar arasındaki bir ara fazdır. Sıvı kristal yapılarda ara faz olarak adlandırılan durum, sıvılardaki akıcılık özelliklerine sahip olmaları ile beraber kristallerdeki optik özellikleri göstermeleridir [Eser, 2006]. Katı, sıvı kristal ve sıvı fazda moleküllerin düzenliliği Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Katı fazda moleküller veya atomlar belirli örgü konumlarında oldukça düzenli bir şekilde dizilmişlerdir fakat dönme serbestlikleri yoktur. Sıvı fazda ise moleküller düzensiz bir şekilde dizilmişlerdir ve dönme serbestlikleri vardır [Yıldırım, 2011]. Sıvı kristaller her iki fazın da özelliklerini taşırlar.



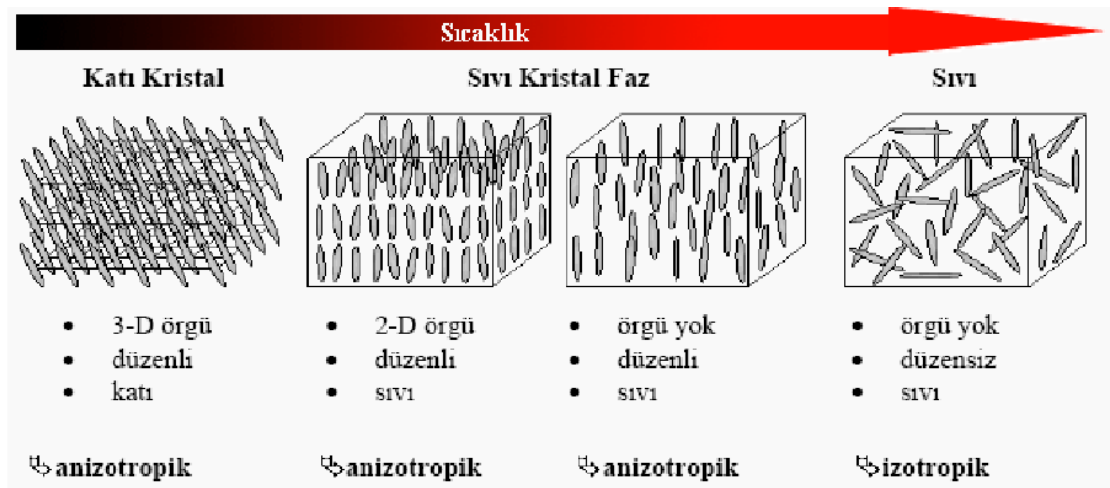
Şekil 2.3. Katı, sıvı kristal ve sıvı fazda moleküllerin düzenliliği  
[\[http://scifun.chem.wisc.edu\]](http://scifun.chem.wisc.edu)

Sıvı kristal hal; yönlenmiş bir düzenliliğe sahip olmayan izotropik sıvı hal ile üç boyutlu uzun mesafeli periyodik bir düzenliliğe sahip katı (kristal) hal arasında oluşan özel bir fiziksel durumdur ve her iki fazın özelliklerini taşır. Sıvı kristal ara fazı sıvılara özgü akışkanlık, ıslatılabilirlik, damla oluşumu gibi temel özellikleri ve katı kristal yapıya özgü uzun erişimli yönelimsel moleköl

düzeni gibi belirgin özellikleri taşır. Bu nedenle ileri düzeyde anizotropik sıvı olarak da adlandırılabilirler [Akbaş, 2011; Babacan, 2008].

Sıvı kristallerde katı kristallere benzer bir yönelim düzeni olduğundan ışığın kırılmasına ve yansımaya neden olur. Bu özelliklerinden dolayı ise kristallere benzerler. Ayrıca sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ışığın özel bir dalga boyunu kırması seçici yansıma özelliğine sahip olduğunu gösterir. Polarize ışık ta çift kırılma özelliğine sahip olup, girişim renkleri verebilir. Üzerine düşen ışığa göre spektrumdaki renkleri sırasıyla sergiler [Akbaş, 2011].

Sıvı kristaller sıcaklığa bağlı faz geçişi gösterirler. Katı kristal yapıda moleküller üç boyutta düzenli bir şekilde dizilmişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla örgü düzenliliği önce iki boyuta inmektedir, daha sonra belirli bir sıcaklık değerinde moleküllerin arasındaki etkileşimin azalmasıyla bu düzen tamamen kaybolmaktadır ve yapı izotropik sıvı faza geçmektedir. Şekil 2.4'te katı kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı bu geçiş görülmektedir [Yıldırım, 2011].



Şekil 2.4. Katı kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı geçiş [Yıldırım, 2011]

Sıvı kristallere uygulanan elektrik alan ile moleküllerin yeniden düzenlenmesi sağlanmakta ve ortamın anizotropisini değiştirmek mümkün olabilmektedir. Moleküler düzende meydana gelen bu değişimler gösterge amaçlı çeşitli cihazların gelişimine neden olmuştur. Günümüzde sıvı kristal gösterge cihazları (LCD'ler), teknolojinin birçok alanında kendine uygulama sahası bulmuştur. Sıvı kristal ekranların düşük güç tüketimi gerektirmeleri, küçük boyutları ve karmaşık devre elemanları ile uyumlu çalışabilmeleri onların öneminin bir kat daha artmasını sağlamış; teknolojik uygulamalardaki yerini daha da sağlamlaştırmıştır [Priestley ve ark., 1975].

### **2.3. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları**

Sıvı kristaller teknolojik önemleri ve olağandışı fiziksel özellikleri (dielektrik ve optik anizotropi, akış özellikleri) nedeniyle son zamanlarda en çok araştırılan konulardan biri olmuştur [Manohar ve ark., 2010].

Sıvı kristallerin anizotropik yapısıyla birlikte gelen sıcaklık, elektrik ve manyetik alan ve basınçtan etkilenme özellikleri nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Sıvı kristaller özellikle ekran tasarımlarında (LCD) kullanılmış ve üzerine yapılan araştırmalar ve gelişen teknoloji sonucunda daha çok rağbet görmüştür [Altındış, 2012].

Sıvı kristaller hesap makinelerinde, saatlerde, bilgisayarlarda, radyasyon ve basınç sensörlerinde, otomobil ve uçakların gösterge panellerinde vb. sistemlerde kullanılırlar ve bu cihazlarda görüntünün kaynağıdır. Daha net bir görüntü elde edilmesi ve daha az enerji kullanılması bakımından elektronik gösterge sistemlerinde, sıvı kristal tercih edilmektedir [Aldanma, 2007]. Sıvı kristal gösterge elde etmek için elektrik ve manyetik alana duyarlılıkları sebebiyle çoğunlukla nematik sıvı kristaller kullanılmaktadır [Babacan, 2008]. Kolesterik sıvı kristaller uçak sanayinde, uçağın ek yerlerinin hatalı olup olmadığını anlamak için kullanılmaktadır. Hata aranan yüzeye kolesterik sıvı kristal kaplanır ve bir yönden ısıtılıp diğer yönden

soğutulur. Kısa bir süre sonra yüzeyde hareket dağılımı dengeye ulaşacağından, ekler hatasız imal edilmişler ise yüzey tek renk görülür. Eğer bir ek hatası varsa ısıyı iyi iletemeyeceğinden diğer noktalara nazaran daha yüksek hararete ulaşılır ve o noktanın rengi değişir.

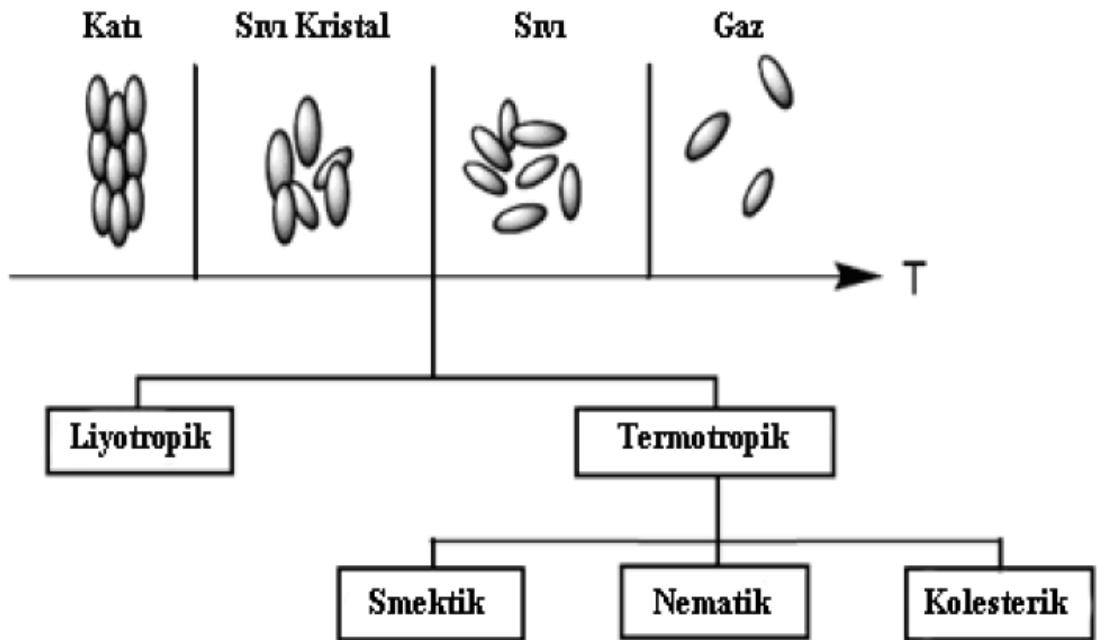
Sıvı kristalli sensörler tıpta, hastalıklı dokuların teşhisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Deri enfeksiyonları ve tümörlerin sıcaklığı, bunları çevreleyen derinin sıcaklığından 2-3°C daha fazla olduğundan bu sıcaklık farkı sıvı kristalli sensörler yardımıyla tespit edilebilir. Böylelikle sinir ve damar yollarının açık olup olmadığı belirlenebilir [Babacan, 2008]. Termogravürlerde, meme tümörlerinin tespitinde sıvı kristaller büyük bir kullanım potansiyeline sahiptir [Özgan ve Yazıcı, 2003]. İnsan vücudu gibi canlı sistemlerde bulunması ve hücre yapısı içerisindeki biyolojik olayları kontrol işlevleri nedeniyle, biyofiziksel araştırmalara da yeni bir kapı açmıştır [Yıldırım, 2011].

Sıvı kristaller geçen 30-40 yıldır yüzey üzerindeki sıcaklıkların ölçülmesinde ve görselleştirilmesinde oldukça pahalı olmayan bir yöntem olarak kullanılmıştır. Hava jetleri, düz bir levha üzerine dik açıda çarptırılarak, levha üzerinde oluşan ısı transferi, görsel olarak sıvı kristal renkleriyle tespit edilmiştir [Koç, 2012].

Günümüzde sıvı kristal gösterge cihazları (LCD'ler), yukarıda verilen alanlara ek olarak teknolojinin birçok alanında kendine uygulama sahası bulmuştur. Amerika, Japonya ve Avrupa'nın birçok ülkesinde bu alanda devamlı ve sürekli araştırmalar başlatılmış, çok yönlü gelişmeler sağlanmıştır [Akkurt, 2009].

## 2.4. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristaller termodinamik açıdan termotropik ve liyotropik olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar (Şekil 2.5). Fazlar arasındaki geçişler sıcaklık değişimi ile gerçekleşiyorsa, bunlar termotropik sıvı kristallerdir. Ancak; farklı bileşenlerin karışımı ile faz geçişleri olabilir. Bu tür sıvı kristallere ise liyotropik sıvı kristaller adı verilmiştir [Yıldırım, 2011].



Şekil 2.5. Sıvı kristallerin sınıflandırılması [Yıldırım, 2011]

Termotropik sıvı kristaller, uygun bir bileşiğin belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmasıyla gözlenirler, bu sıcaklığın altında kristal örgüsü dayanıklıdır. Liyotropik sıvı kristallerin gözlenmesi için de polar bileşiklerle çözücü molekülleri arasında kuvvetli bir etkileşimin olması gereklidir [Yerlikaya, 2000].

### 2.4.1. Termotropik sıvı kristaller

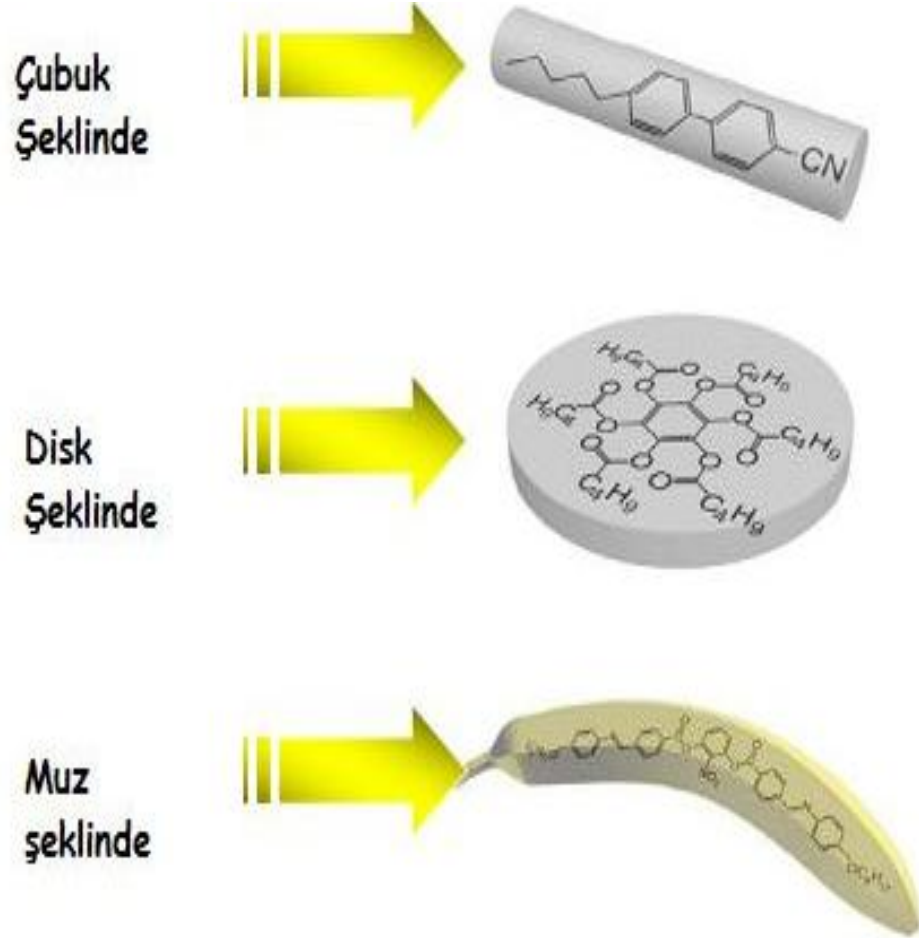
Termotropik sıvı kristaller, lineer olduğu kadar nonlineer optik özellikleri nedeniyle çok fazla incelenen ve en geniş kullanım alanına sahip olan sıvı kristallerdir [Khoo, 1995].

Kristal yapı ısıtıldığında izotropik sıvıya doğru olan geçişte tek basamaklı bir geçiş yerine ara faz oluşuyorsa bu tip sıvı kristallere termotropik sıvı kristaller denir.

Termotropik sıvı kristallerde bu arafazların oluşumunun ana sebebi sıcaklıktır. Termotropik bir sıvı kristal fazı; bazı maddelerde katı ve sıvı haller arasındaki bir sıcaklık aralığında meydana gelir. Bu sıcaklık aralığında madde, hem sıvı hem de katıların özelliklerinden bazılarına sahiptir. Bu tip sıvı kristallerin molekül yapılarına bakıldığında moleküllerin ince çubuksu veya disk şeklinde olduğu görülür [Priestley ve ark., 1975; Sage, 1990].

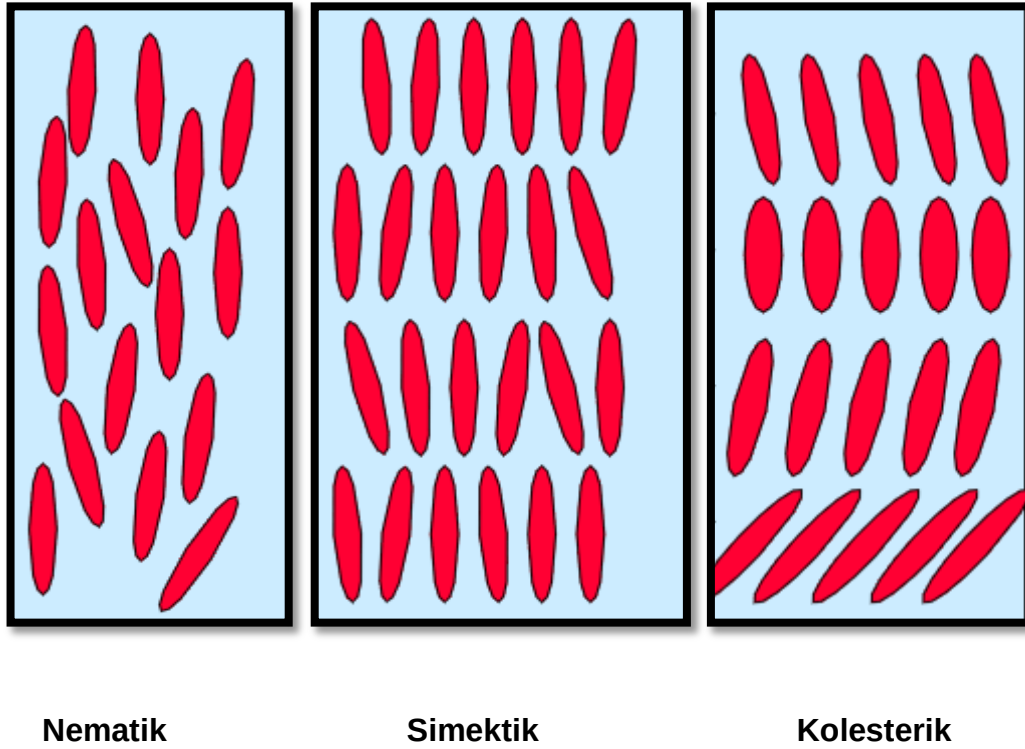
Termotropik sıvı kristallerin birtakım ortak özellikleri vardır. Bunlar; moleküllerin çubuksu yapıda olması, molekülün uzun eksenini boyunca yer alan aromatik halkalar nedeniyle molekülün rijit bir yapı sergilemesi, molekül yapılarında polar gruplar ve kalıcı dipoller bulunması ve genelde molekül eksenini boyunca kuvvetli dipoller, molekül uçlarında ise zayıf polar grupların bulunmasıdır [Akbaş, 2011].

Termotropik sıvı kristallerin farklı tipleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Termotropik sıvı kristallerin molekül yapıları  
[\[http://www.polimerler.com\]](http://www.polimerler.com)

Termotropik sıvı kristaller sıcaklıkla olan ara değişim fazlarına göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar; nematik, simektik ve kolesterik tipteki sıvı kristallerdir [Kuvet, 2011] (Şekil 2.7).

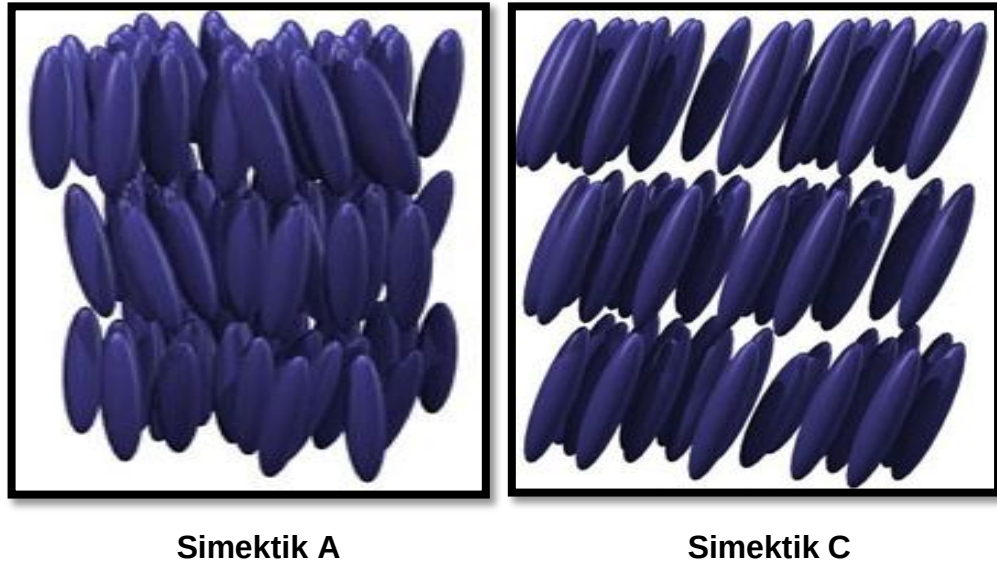


Şekil 2.7. Termotropik sıvı kristal fazları [<http://relaxation.chemie.uni-due.de/lehre>]

#### *Simektik faz*

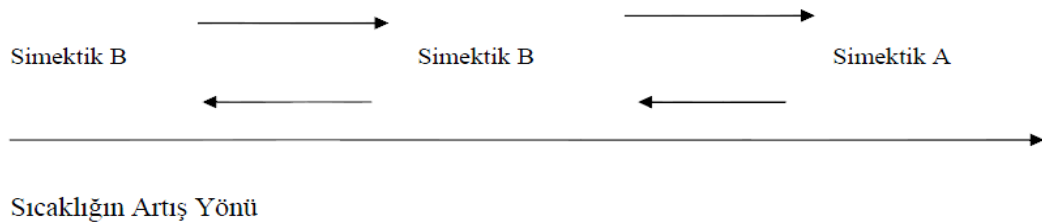
Simektik sıvı kristal fazdaki moleküller için yönelim düzenine ek olarak konumsal düzen de söz konusudur. Ortam içinde moleküllerin tabakalı bir yerleşim sergiledikleri gözlenmektedir [Coşkun, 2007]. Bu yapıda çubuksu veya disk şeklindeki moleküllerin uzun eksenleri katman düzlemine dik olacak şekilde yerleşirler. Moleküller bu katmanlar içinde belli aralıklarda yerleşir ve aynı doğrultu boyunca yönelirler [Akbaş, 2011]. Simektik A'da moleküller tabaka düzlemine dik olacak şekilde yönelmişlerdir. Simektik C'de

ise moleküllerin yönelimi tabaka düzlemiyle açı yapmaktadır (Şekil 2.8). Simektik B fazı ise hekzogonal bir paketleme düzeni göstermektedir ve bu fazın bazı özellikleri sıvı kristalden çok katı kristale benzemektedir.



Şekil 2.8. Simektik A ve Simektik C fazında moleküllerin tabaka doğrultusu boyunca yönelimi [<http://barrett-group.mcgill.ca>]

Sıvı kristal her üç simektik fazda da bulunabiliyorsa ara fazların sıcaklığa göre değişimi Şekil 2.9'daki gibi olur.

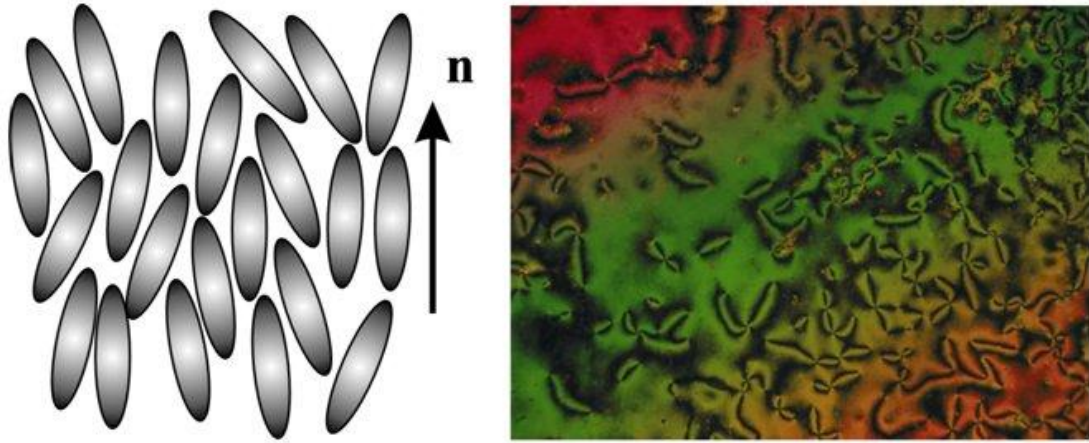


Şekil 2.9. Simektik kristallerde ara fazların sıcaklığa göre değişimi [Coşkun, 2007]

### Nematik Faz

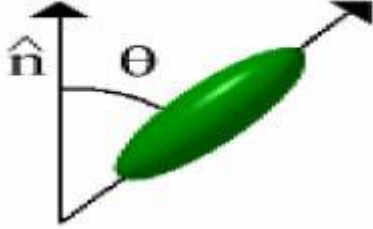
Nematik sıvı kristaller en çok incelenen sıvı kristal türüdür. Onlar aynı zamanda en çok kullanılan sıvı kristallerdir. Bunun nedeni, nematiklerin, sıvı kristallerin ikili doğasına – akıcılık ve kristalik yapı – en iyi şekilde örnek olmasıdır [Khoo, 1995].

Nematik özelliğe sahip bir bileşikte moleküller, düz ve ortalama bir yön veya doğru boyunca yönlenmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Nematik fazın şematik gösterimi ve polarize mikroskop kullanılarak çekilmiş fotoğrafı [<http://www-g.eng.cam.ac.uk>]

Moleküllerin uzun eksenleri ortaklaşa olarak bir  $n$  yön vektörü (direktörü) boyunca dizilirler. Bu uzun moleküler eksenler, ortalama olarak paraleldirler. Bununla birlikte, moleküller uzun eksen yönünde serbestçe hareket etme imkânına sahiptirler [Şen, 2010]. Moleküller ile yön vektörü arasındaki  $q$  açısının artması yönelim düzeninin azaldığının, azalması ise düzenin arttığının bir göstergesidir. Mükemmel bir kristalde bu  $q$  açısı sıfırdır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Yön vektörü ile molekül arasındaki açının değişimi  
[\[http://www.polimerler.com\]](http://www.polimerler.com)

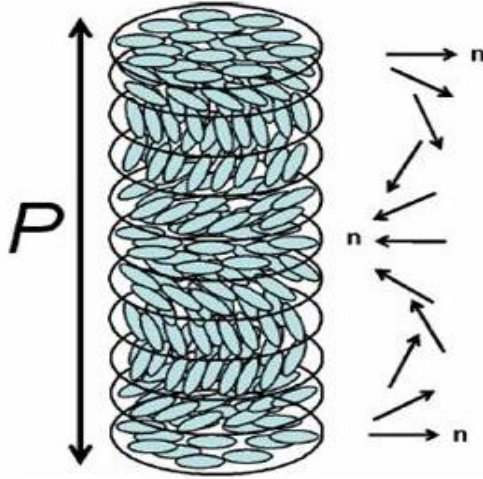
Moleküller üç yönde hareket edebilmektedirler ve konumsal bir düzene sahip olmayıp, rastgele dizilmişlerdir. Dolayısıyla sıvılara oldukça benzemektedirler; ancak yönelimsel düzene sahip olmaları onları diğer sıvılardan ayırt etmektedir [Şen, 2010]. Nematik sıvı kristaller sıvılardan farklı olarak anizotrop özellikler de gösterir [Nesrullazade, 2000]. Nematik fazlar, yüksek sıcaklıkta mezofaz oluşturan termotropik sıvı kristallerdir. Daha yüksek sıcaklıklara ısıtmakla izotropik sıvı elde edilebilir [Değirmenci, 1996].

Nematik sıvı kristaller ışığı yüksek çift kırma, kolay sentez, yüksek hassasiyet ve yapısal esneklik gibi özellikleri olan yararlı malzeme karakteristiklerine sahiptirler. Bu yüzden nematik sıvı kristaller, gerekli doğrusal olmayan optik fonksiyonların üretilmesindeki kullanımlarından ötürü büyük öneme haizdirler [Ono ve Ito, 2003].

#### *Kolesterik faz*

Kolesteriklerin yapısını, birçok nematik benzeri iki boyutlu yüzeylerin üst üste konmuş yığını olarak tasavvur edebiliriz. Yön vektörü ile moleküllerin ağırlık merkezi bir yüzeyde yerleşir. Fakat nematiklerden farklı olarak yön vektörü sabit kalmaz, bir yüzeyden diğerine geçerken değişir. Yön vektörü yüzeyler

boyunca helis çizerek spiral yapıyı oluşturur. Yön vektörünün helis çizerek bir tur dönmesi için gerekli olan mesafe spiral adımdır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Kolesterik sıvı kristallerin şematik gösterimi  
[\[http://www.polimerler.com\]](http://www.polimerler.com)

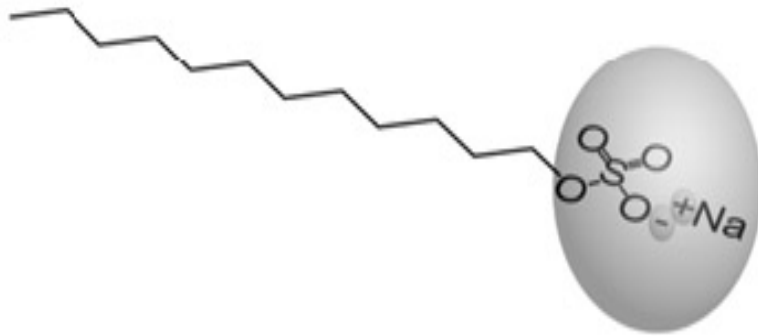
Nematik fazda uzun erimli öteleme düzenin eksikliği kolesterik fazda akışkanlığa neden olur. Bu durum, nematik ve kolesterik düzenin çok benzer olduğunun kanıtıdır [Helfrich ve Heppke, 1980].

Kolesterik fazda, madde her biri nematik benzeri yapıya sahip tabakalardan oluştuğundan, yapı termodinamik özellikleri ve elastik sabiti yönüyle nematiklere benzemektedir. Sıcaklık ve basınç değişimlerine, dışarıdan etkiyen elektrik ve manyetik alanlara son derece duyarlıdırlar. Kolesterik sıvı kristallerin bu özelliklerinden dolayı elektronik devrelerin veya mikro yapıların kusurlarının belirlenmesinde, şok dalgalarının uçakların yüzeylerindeki etkilerinin incelenmesinde ve hastalıklı dokuların teşhisinde yararlanılmaktadır [San, 2002].

### 2.4.2. Liyotropik sıvı kristaller

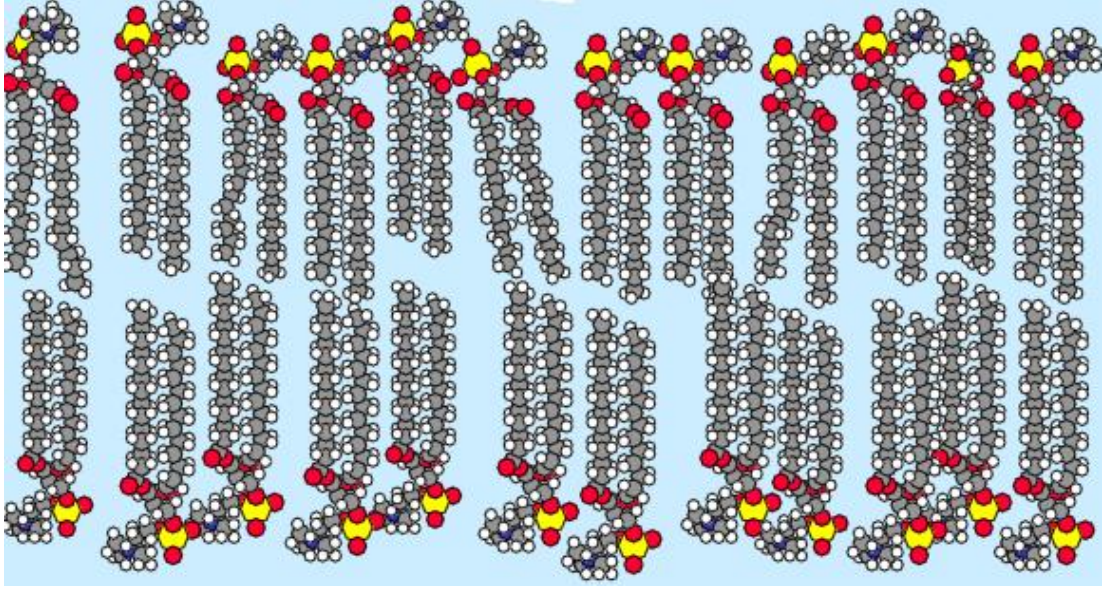
Liyotropik sıvı kristaller su veya yağ gibi bir çözücü varlığında oluşurlar. Liyotropik sıvı kristaller iki veya daha çok bileşenli sistemlerdir ve bu grupta faz değişimine sebebiyet veren etken konsantrasyondur. Bu sistemler belirli konsantrasyon ve sıcaklık aralıklarında, fazların farklı türlerini gösterirler. Fazlar, farklı yapısal özelliklere sahiptirler ve farklı noktasal simetrilerle karakterize edilirler. Liyotropik fazların yapısal ve fiziksel özellikleri, liyotropik sistemin bileşenlerinin sayısı, türü ve konsantrasyonundaki değişimlerle değişir [Aldanma, 2007].

En yaygın sistemler; su ve amfibilik moleküller ( sabunlar, deterjanlar ve lipidler gibi ) tarafından oluşturulur. Sıvı kristal fazın varlığını kontrol eden en önemli değişken konsantrasyondur [Khoo, 1995]. Şekil 2.13'te liyotropik bir sıvı kristalin şekli görülmektedir.



Şekil 2.13. Liyotropik bir sıvı kristalin şekli (sabun) [Yıldırım, 2011]

Liyotropik sıvı kristallere bir başka örnek olarak biyomembranlar verilebilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Liyotropik sıvı kristaller olarak biyomembranlar  
[\[http://relaxation.chemie.uni-due.de\]](http://relaxation.chemie.uni-due.de)

Amfibilik bileşikler (çift karakterli); molekülün bir ucunda suda çözünmeye eğilimli polar bir başlık, diğer ucunda ise suda çözünmeyen organik bir kuyruktan meydana gelmektedirler. Yani aynı molekülde çözünebilirlik özelliğinden dolayı iki farklı grup yer almaktadır [Karapınar, 1994]. Amfibilik moleküllerin çözücü ile olan karşılıklı etkileşimleri çok önemlidir. Çözücünün molekülleri düzenli olarak dağılmazlar ve sistemin bazı kısımlarında diğer kısımlarına göre daha fazla birikim oluştururlar. Sulu faz durumunda su molekülleri amfibilik maddenin polar (baş) kısmında toplanır. Çözücü organik madde ise, moleküller fazın hidrokarbon kısımlarında (alkil kuyruk etrafında) toplanır. Amfibilik moleküllerin önemli bir özelliği hidrokarbon kısımların birlikte toplanarak ve düzenlenerek su ile temastan kaçınması, hidrofil kısımların ise mümkün olduğunca su ile temasta olma eğilimidir. Bu özellik

çok büyük çeşitlilikte olan grupların ve liyotrop fazların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Liyotrop sıvı kristalleri oluşturan yapı elemanları arasındaki etkileşmeler iki türdür.

1. Uzun erimli moleküller arası kuvvetler yani elektrostatik kuvvetler (hidrofil etkileşmeler).
2. Van der Waals kuvvetleri (lipofil etkileşmeler).

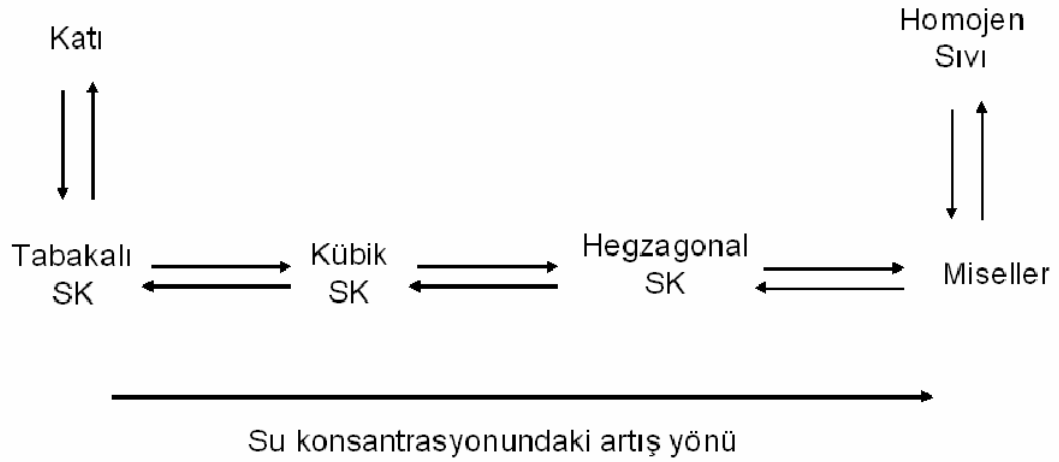
Miselli sıvı kristal yapan çift karakterli moleküller belli bir miktar suda çözüldükleri zaman baş gruplar (hidrofil gruplar) su içinde çözünür. Hidrokarbon kısımları ise suda çözünmedikleri için sudan uzaklaşarak bir arada toplanır. Suda çözünmeyen bu hidrokarbon zincirine suyu sevmeyen hidrofob kısım da denir.

Baş grupların su içinde çözünmesi ve hidrokarbon kısımlarının su tarafından itilerek bir arada kümeleşmeleri sonucu ortaya çıkan yapıya misel adı verilir. İki türlü misel oluşabilir:

- a. *Normal Misel* : Hidrofil gruplar miselin dış sınırında toplanır, hidrofob kısımlar ise miselin iç kısmını doldurur.
- b. *Ters Misel* : Hidrofil gruplar miselin içinde hapsedtikleri su çevresinde toplanır, hidrofob kısımlar ise dışa doğru yönelir.

Misel oluşması, çözücü ve polar gruplar arasındaki çekim kuvveti ile çözücü ve hidrofob gruplar arasındaki itme kuvvetlerine bağlıdır. Bu etkiyle, hidrofil polar baş gruplar bir arada, hidrokarbon kısımları da bir arada toplanırlar. Bunun sonucu, su miktarına bağlı olarak izotrop ya da anizotrop çözeltiler oluşur. Misel yapısına sahip anizotrop çözeltilere miselli sıvı kristaller ya da liyotropik sıvı kristaller adı verilir. Liyotropik sıvı kristal kavramı hem çift tabaka hem de bu yapıya sahip olmayan sıvı kristal sistemlerini de kapsar.

Fazların oluşum sırası yoğunluk takibi ile gözlemlenebilir. Karışımdaki su konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak ortaya çıkan fazların oluşum sırası Şekil 2.15'teki gibidir [Akar, 2006].



Şekil 2.15. Liyotropik fazda konsantrasyona bağlı faz geçişleri [Akar, 2006]

Liyotropik sıvı kristaller doğada özellikle canlı sistemlerde bolca bulunmaktadır. Liyotropik sıvı kristaller deterjanlar, gıda endüstrisi, petrol çıkarma endüstrisi, tıp teknolojisi potansiyel uygulamalarında kullanılmaktadırlar [Epik, 1995].

## 2.5. Sıvı Kristallerin Fiziksel Özellikleri

Sıvı kristallerin fiziksel özellikleri iki grupta sınıflandırılabilir : birincisi düzenli faza ait olan, uzun-erimli düzen ve kristallik fiziksel özelliklerle karakterize edilen; diğeri ise düzensiz faza ait olan, kısa erimli düzen ve akışkanlık özellikleri ile karakterize edilendir [Khoo, 1995]. Sıvı kristaller ileri seviyede çift kırıcı maddeler olup, optik eksen doğrultusu ( $n$ ) ve buna dik doğrultuda ölçülen kırılma indisleri arasında belirgin bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yüksek elektrooptik ve manyetooptik katsayılarına sahiptirler [Aldanma, 2007].

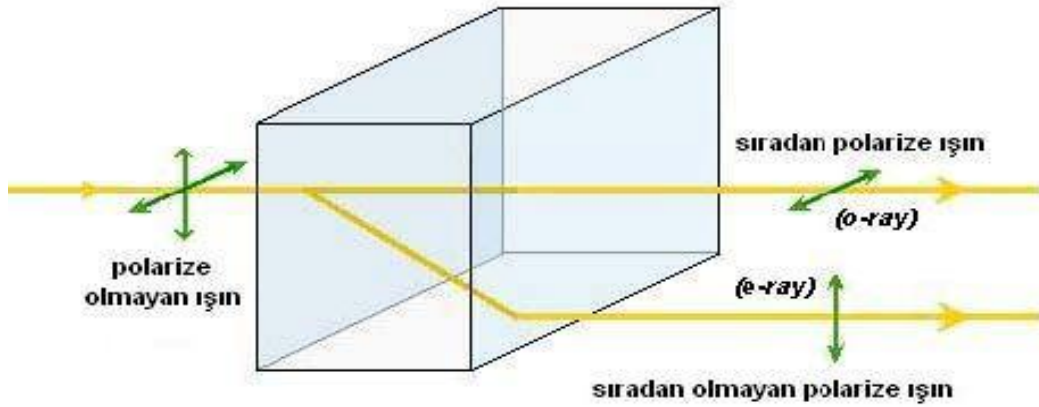
Sıvı kristallerde moleküllerin özel bir düzeni mevcuttur. Ne kristaller gibi düzenli bir moleküler yapıya, ne de sıvılar gibi tamamen düzensiz bir yapıya sahiptirler. Sıvı kristaller kristal yapıdaki anizotropik düzen ile sıvı yapıdaki izotropik düzen arasında bir davranış sergiler. Sıvı kristalde moleküler düzeni tanımlamak amacıyla düzen parametresi kullanılır.

Düzen parametresinin ( $S$ ) değerine göre, pek çok sıvı kristal faz durumu vardır [Yıldırım, 2011]. Eğer nematik sıvı kristalin tüm molekülleri yönlendiriciye paralel yönelmişlerse ( $S=1$ ), bu durum maddenin katı halde olduğunu gösterir. Tüm moleküller tamamen rastgele yönlerde iseler, çubuk eksenleri tüm yönlerde eşit olasılıklarda bulunurlar ( $S=0$ ). Yani madde izotropik, başka ifadeyle sıvı haldedir.

Genellikle termotropik sıvı kristal fazlarında düzen parametresi 0,3 ile 0,9 değerleri arasındadır. Hem katı hem de sıvı halde iken  $S$ 'nin nümerik değeri, izotropik faza yaklaştıkça azalmakta ve izotropik fazda sıfıra eşit olmaktadır. Bu da berraklaşma sıcaklığı (clearing point) olarak da bilinen nematik-izotropik faz geçişi sıcaklığına ( $T_{NI}$ ) karşılık gelmektedir [Kumar, 2001].

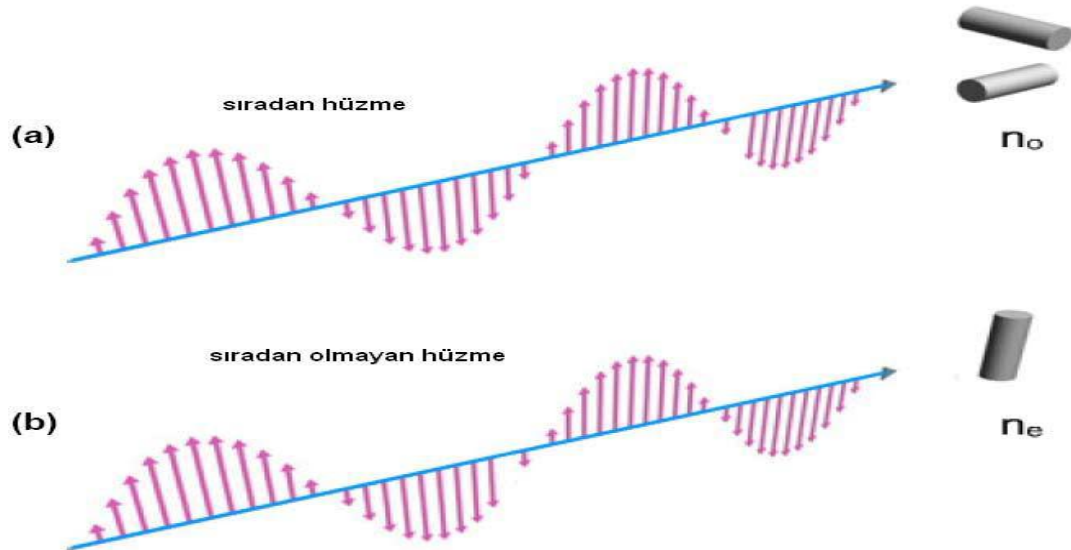
### 2.5.1. Sıvı kristallerin optik özellikleri

Sıvı kristaller; doğrultu vektörüne göre, uygulanan elektrik veya manyetik alanların yönüne bağlı olarak farklı şekilde davranır. Çünkü ışık elektromanyetik bir dalgadır. Elektrik alan vektörleri dik yönelimlerdedir ve sıvı kristal ortamda farklı hızlarda yayılmaktadırlar, dolayısıyla  $n_o$  ve  $n_e$  olmak üzere iki farklı kırılma indisi oluşmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Sıvı kristal ortamdaki polarize olmayan ışığın davranışı [Kuvet, 2011]

Bunlardan ilkinde,  $n_o$ , gelen polarize ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu sıvı kristalin direktör eksenine dik olacak şekildedir [Şekil 2.17 (a)].  $n_e$ 'de ise gelen ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu sıvı kristalin optik eksenine paralel olacak şekildedir [Şekil 2.17 (b) ].



Şekil 2.17. Sıvı kristalde ışığın moleküler eksen boyunca yayılması; (a) sıradan hüzme, (b) sıradan olmayan hüzme ( $n_o$  sıradan kırılma indisi,  $n_e$  sıradan olmayan kırılma indisi) [Kuvet, 2011]

Nematik sıvı kristaller pozitif dielektrik anizotropiye sahip olup,  $n_e > n_o$  'dır. Genelde nematik sıvı kristaller için  $n_o$  yaklaşık olarak 1,5 ve maksimum fark,  $\Delta n$ ; 0,05 ile 0,5 arasında değişmektedir [Kaya, 2010].

### 2.5.2. Sıvı kristallerin elektriksel ve manyetik özellikleri

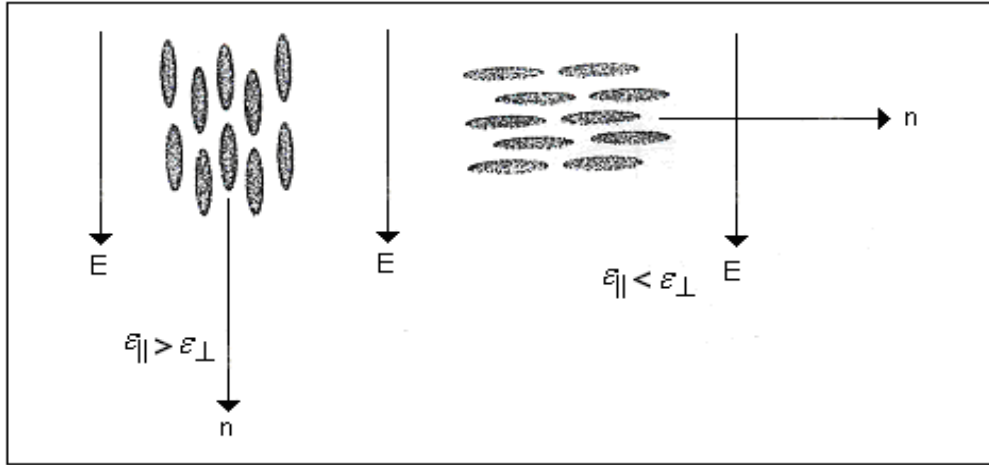
Katılarda, moleküller diğer moleküllerle olan bağları tarafından yerlerinde tutulduğundan bir elektriksel alan uygulama çok az bir etki yaratır. Sıvılarda, molekülün yüksek kinetik enerjisi, bir elektriksel alan uygulayarak onların yönlendirilmesini imkansız kılar. Sıvı kristal moleküllerine dik elektriksel dipol, molekülün genişlik ve uzunluğu boyunca derece derece değiştiği için, doğrultu vektörünü yönlendirmek amacıyla bazı tür sıvı kristaller daha düşük elektriksel alan gerektirirken, bazıları çok daha büyük elektriksel alana ihtiyaç duyar. Bu kapsamda “elektriksel duyarlılık” terimi tanımlanmış ve birim kristal hacmi başına alan kuvvetine karşı elektriksel dipol şeklinde ifade edilmiştir. Dolayısıyla elektriksel duyarlılık, materyali elektriksel olarak polarize etmenin bir ölçüsüdür [Akar, 2006].

Sıvı kristal malzemeler diamanyetik özellik gösterir ve moleküller anizotropik olduğundan indüklenen manyetik momentin büyüklüğü, uygulanan alanın molekül eksenine göre nasıl yönlendiğine bağlıdır. Bu noktada başka bir nicelik diamanyetik anizotropi olarak tarif edilebilir. Diamanyetik anizotropinin işareti optik anizotropi ile aynıdır. Hidrokarbon zincirlerinin diamanyetik anizotropisi, aromatik halkaların anizotropi değerinden iki derece daha düşüktür. Dolayısıyla moleküler yapıda benzen halkaları mevcut ise, moleküllerin diamanyetik davranışında üstünlükler görülür [Eser, 2006].

Nematik sıvı kristaller üzerine bir dış elektrik alan uygulandığında, ortamdaki esneklik kuvvetleri molekülleri önceki konumları muhafaza etmeye zorlar. Normal olarak kalıcı veya indüklenmeli elektriksel dipole sahip olan moleküller hangi fazda olursa olsunlar uygulanan bir alan boyunca yönelmek eğilimindedirler. Sıvılarda moleküllerin düzensiz hareketleri alan boyunca

yönelme şansını ortadan kaldırırken, katılarda moleküller arası bağ kuvvetli olduğundan yönelimin gerçekleşmesi zordur. Sıvı kristal ortamdaki moleküller ise uygulanan dış alana karşı tepki göstermektedirler. Dielektrik sabiti; uygulanan alan ile sıvı kristal madde arasındaki etkileşmenin ölçüsüdür. Böylelikle, ortamın dielektrik anizotropisi  $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$  şeklinde tanımlanır.  $\epsilon_{\parallel}$  ve  $\epsilon_{\perp}$  ise sırasıyla elektrik alana paralel ve dik yönde ölçülen dielektrik sabitlerdir. Dielektrik anizotropinin iki tipi vardır. İlki pozitif dielektrik anizotropi olarak isimlendirilir (p-tipi) ve yönelim eksenini boyunca dielektrik sabiti doğrultu eksene dik alan boyunca olandan daha büyüktür.  $\Delta\epsilon$  bu durumda sıfırdan büyüktür. Öteki tipi ise, negatif dielektrik anizotropidir ve  $\Delta\epsilon < 0$  şeklindedir.  $\Delta\epsilon > 0$  büyük sıfır ise doğrultu elektrik alana paralel,  $\Delta\epsilon < 0$  küçük sıfır ise alana dik olarak yönelir [Coşkun, 2007].

Şekil 2.18'de açıklanan durumun çift kırıcılık olayının başka bir yansıması olduğunu anlamak için kırılma indisiyle dielektrik sabiti arasındaki ilişkiyi hatırlamak yeterlidir. Polarize bir ışık demeti sıvı kristale girdiği zaman iki demete ayrılır, bu demetlerde düzlem polarizedir. Elektrik alan vektörleri dik yönelimlerde ve sıvı kristal ortamda farklı hızlarda yayılmaktadırlar, dolayısıyla da iki farklı kırılma indisi olmaktadır. Optik anizotropi  $\Delta n = n_e - n_o$  olarak adlandırılan çifte kırınım sıvı kristallerin karakterizasyonunda önemli rol oynamaktadır. Şayet optik eksene paralel yayılan demetin kırılma indisi diğer bileşenlerden daha büyükse optik anizotropi pozitif, aksi durumda ise negatiftir [San, 2002].



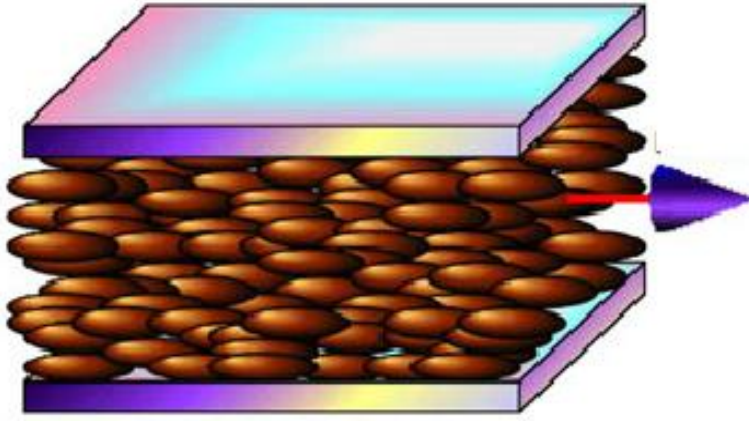
Şekil 2.18. Dielektrik sabiti uygulanan alan ile sıvı kristal madde arasındaki etkileşim [Aldanma, 2007]

## 2.6. Sıvı Kristal Yönelimleri

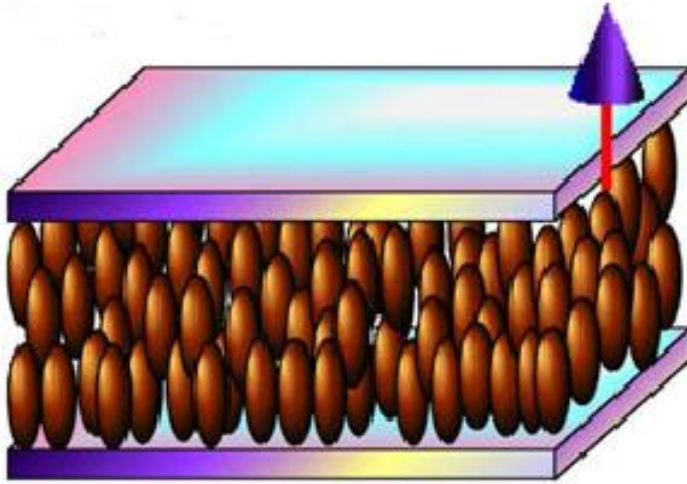
Sıvı kristallerin konulduğu alt tabana farklı yüzeysel işlemler uygulanarak moleküllerin hücre içinde istenilen biçimde yönlendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu yüzey işlemleri mekanik veya kimyasal olabilir [Köysal, 2007].

Termotropik sıvı kristal numunede, destekleyici alt tabakayı mekanik ve/veya kimyasal olarak farklı şekillerde işleyerek molekül dizilimlerinin çeşitli türleri elde edilebilir. Eğer alt tabaka, polar uçları bu tabaka tarafında toplanan amfifilik moleküllerin ince bir filmi (örneğin, hekzadesil-trimetil amonyum bromür maddesi) ile kaplanırsa, termotropik sıvı kristal molekülleri, yönlendiricileri alt tabakaya dik olacak şekilde dizileceklerdir. Bu konfigürasyona homeotropik dizilim denir. Eğer alt tabaka düzgün bir şekilde sürülürse, termotropik sıvı kristal molekülleri, yönlendiricileri alt tabakanın sürülme yönüne paralel olacak şekilde dizilirler. Bu yapılandırma homojen veya planar (düzlemsel) dizilim olarak adlandırılır [Emek, 2007].

Pozitif dielektrik anizotropiye sahip bir sıvı kristal ile çalışılırken, sıvı kristal moleküllerinin yönlendirici tabakaya paralel yönlendiği planar hücreler kullanılır. Negatif dielektrik anizotropiye sahip bir sıvı kristal ile çalışılırken, sıvı kristal moleküllerinin yönlendirici tabakaya dik yönlendiği homeotropik hücreler kullanılmaktadır (Şekil 2.19) [Ghanadzadeh ve Beevers, 2001].



a) planar hücre



b) homeotropik hücre

Şekil 2.19. Sıvı Kristal moleküllerinin yönlenimi a) planar hücre b) homeotropik hücre [Goodby, 2012]

## 2.7. Sıvı Kristal Gösterge (LCD) Teknolojisinin Temel Prensipleri

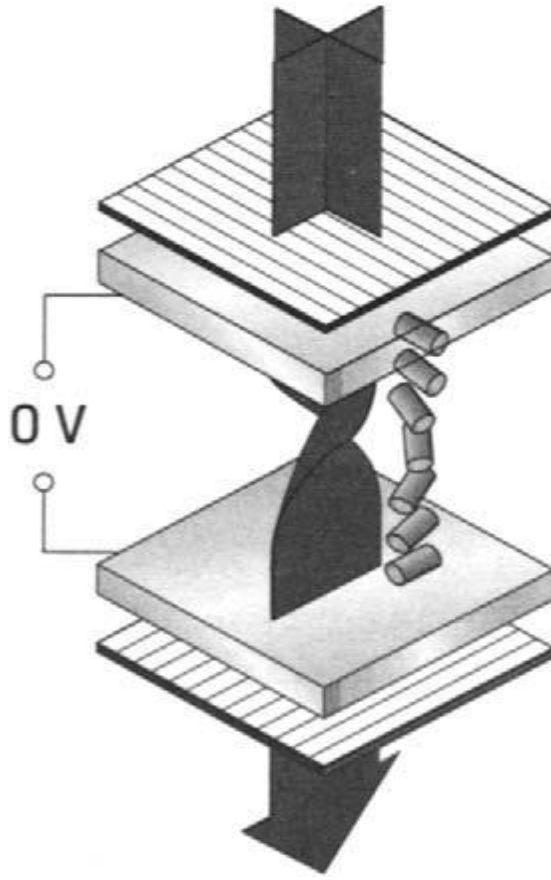
Sıvı kristal molekülleri ince oyuklardan oluşmuş bir yüzeyle karşılaştıkları zaman, bu moleküller oyuklar boyunca sıralanmaya eğilimlidirler (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Sıvı kristal moleküllerin oluklu yüzey boyunca dizilimi

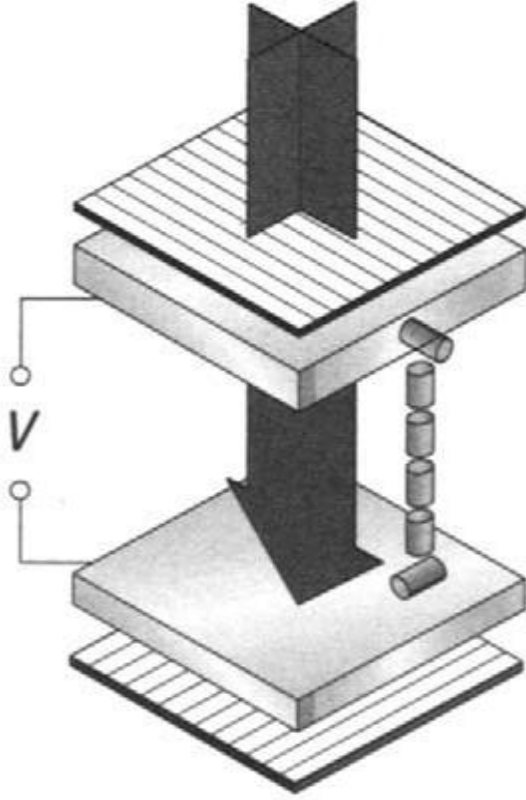
Sıvı kristal hücrede her iki alt taban da aynı tip moleküler yönelime sahip olup genellikle paralel yönelim seçilir. Yapıda hücrenin karşılıklı duvarlarındaki sıvı kristal moleküller arasında  $90^\circ$  lik bir açı farkı vardır. Arada kalan sıvı kristal molekülleri hücre duvarları arasındaki bu açı farkına uyacak şekilde bir yönelime girerler. Bu yapıdaki nematik sıvı kristallerin ortalama yönelimi, uygulanan bir elektrik alan değeriyle kolaylıkla değiştirilebilir [Köysal, 2007].

Şeffaf iletken kaplama yapılan bu cam yüzeyler, iki polarizör arasına yerleştirilir. Oluşan sandviç tipi bükümlü nematik yapı, üzerine gelen ışığın polarizasyon doğrultusunu çevirir ve moleküllerin yönelim eksenini izleyen ışık hücreden geçer. Moleküller  $90^\circ$  dönebilme ve kıvrılma özelliğine sahiptirler. Işık da sıvı kristal tabakalardan geçtiği için aynı dönüşü maruz kalır (Şekil 2.21) ve ortam aydınlık görünür [Kaya, 2010].



Şekil 2.21. Sıvı kristal moleküllerin ışığı yönlendirmesi [Haaren, 2000]

Sıvı kristal hücreye elektrik alan uygulandığında, moleküller tekrar düzenlenmeye meyillidir ve uygulanan elektriksel alan boyunca hepsi aynı yöne doğru sıralanırlar. Düz bir hat takip ederek gelen ışığın polarizasyonu değişmez ve ortam karanlık görünür (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Elektrik alan altında sıvı kristal moleküllerin dizilimi [Haaren, 2000]

Sıvı kristal hücreye giren ışığı, tek bir yönde hareket eden çizgisel bir dalgaya dönüştürmek için polarizörler kullanılmaktadır. Işığın geçmesi için polarizörler ile ışığın aynı polarizasyon eksenine sahip olması gerekmektedir [Şen, 2010].

## 2.8. Nematik Sıvı Kristal Göstergeler

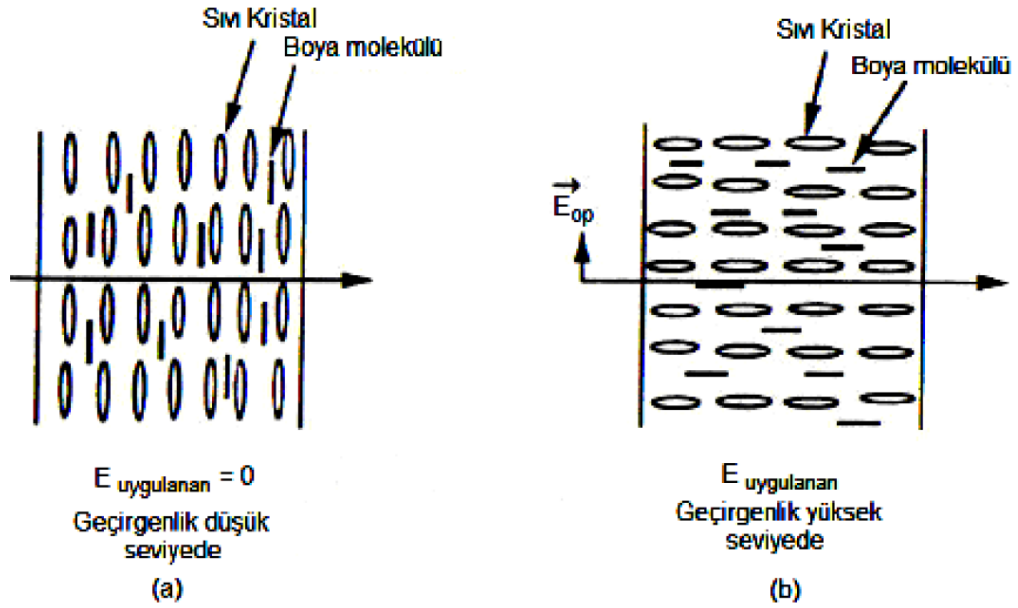
İki değişik nematik sıvı kristal gösterge kullanılmaktadır. Bunlardan ilki Yolcu-Hancı (Y-H) sistemleridir ki; bunlar hancı olan nematik sıvı kristalin katkılardan dolayı özelliklerinin değişmesini içerir. İkinci tip ise polimer dispers sıvı kristal göstergelerdir ki; bir polimer içerisinde gömülü bulunan nematik sıvı kristal damlacıklarından müteşekkildir [Lueder, 2001].

### 2.8.1. Yolcu-Hancı (Y-H) sistemleri

Boyarmadde ile sıvı kristali renklendirilerek oluşturulan sistemler Yolcu-Hancı veya kısaltılmış olarak Y-H sistemleri diye bilinir. Bu sistemlerde hancı nematik sıvı kristal içinde yolcu olarak dikroik veya pleokroik boyalar bulunmaktadır. Bu boyalar, optik absorpsiyon spektrumu moleküler yönlenmeye göre gün ışığının polarizasyonuna kuvvetli derecede bağımlı olan boyalardır. Dolayısıyla bu boyalar farklı şartlarda iki veya daha fazla sayıda farklı renk sergileyebilmektedirler [Çağıl ve Kaya, 2011].

Dikroik azo boyalar optik özellikleri nedeniyle Yolcu-Hancı tipi göstergelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dikroik boyalar (yolcu), sıvı kristal (hancı) içinde çözünürlerse boyaların kendine özgü bir yönde sıralanmaları sıvı kristal moleküllerinin düzenleyici parametreleri tarafından belirlenir [Bauman ve Moryson, 1997].

Optik ve elektrooptik uygulamalarda sık kullanılan yolcu-hancı etkisi, çözünmüş boyaların absorpsiyon katsayılarının, boya moleküllerinin uzun (optik) eksenine paralel veya dik polarize olmuş optik alanlar için farklı olması gerçeğini kullanmaktadır. Genel olarak boya molekülü uzun eksenine paralel polarizasyona sahip optik alanda, uzun eksenine dik polarizasyona sahip optik alandakinden daha çok soğurma yapmaktadır. Bu boya molekülleri, ev sahibi nematik sıvı kristaller tarafından yeniden yönlendirilebilmekte ve hücrenin ışık geçirgenliği dış alanın uygulanması ile değiştirilebilmektedir (Şekil 2.23) [Şen, 2010].



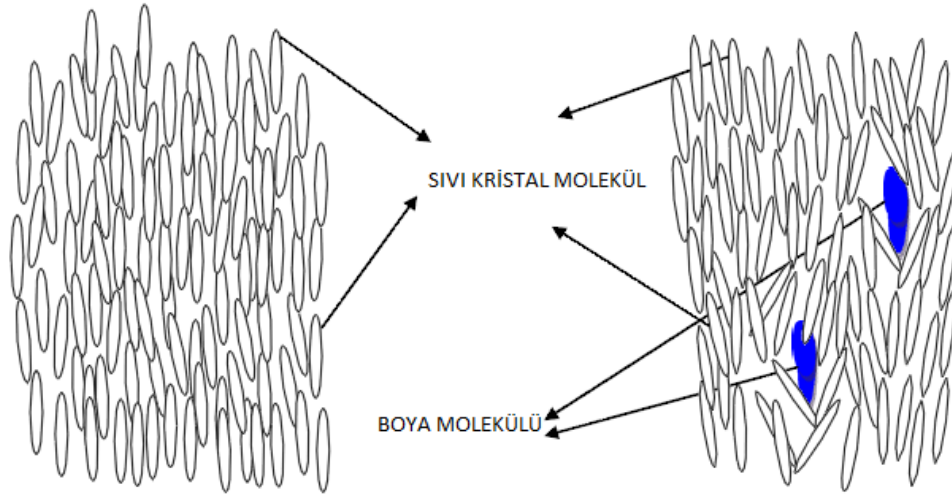
Şekil 2.23. Boya katkılı nematik sıvı kristal; a) Elektrik alan uygulanmadan önce, b) Elektrik alan uygulandıktan sonra [Khoo, 2007]

Nematik sıvı kristallerde bu tarz bir etkileşim üzerine yapılan ilk araştırmalardan birisi Heilmeyer ve Zanoni'nin çalışmalarıdır. Bu çalışmada dikroik, yani optik absorpsiyon spektrumu moleküler yönlenmeye göre gün ışığının polarizasyonuna kuvvetli derecede bağımlı olan bir boyanın yönlenmesinin uygulanan elektrik alanı içinde nematik hancı tarafından kontrol edildiği deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmacılar yaptıkları diğer bir çalışmada elektriksel alandaki bu yönlenmenin malzemenin optik yoğunluğunda ve sonuç olarak ortamdaki geçen ışığın renginde değişimle sonuçlandığını ileri sürmüşlerdir. Bu çalışmada pleokroizm sergileyen malzemelerin genellikle uzun, silindirik şekilli ve kromofor gruplar içeren maddeler olduğunu vurgulayan araştırmacılar pleokroik molekülün uzun eksenine polarize gün ışığının elektrik vektörüne paralel yönlendiği durumda molekül tarafından ışığın soğurulacağını ve boyanın karakteristik renginin gözleneceğini söylemişlerdir. Tersine, yani dik yönlendiği durumda ise az soğurma gerçekleşir veya hiç soğurulma olmaz ki gün ışığı değişmeden geçirilir [Canbulat, 2006].

Yolcu-Hancı etkisi boyaların elektronik spektrumları ile ilgili bilgi edinmek ve renkli ya da siyah-beyaz elektronik göstergelerin yapılarında olmak üzere iki önemli alanda kullanılmaktadır. Maliyet ve kontrast yönüyle bu tip göstergeler bazı avantajlara sahiptir. Bilinen göstergelerle karşılaştırıldığında Yolcu-Hancı sıvı kristal göstergelerin en büyük avantajı polarizör ihtiyacını ortadan kaldırması ve bunun sonucunda yüksek parlaklık, düşük fiyat ve görünüm açısının kontrastının bağımsız olmasını sağlamasıdır [Bauman ve Moryson, 1997].

Y-H tipi sistemlerde temel prensip, boya ve başka katkılar kullanarak hancı sıvı kristalin bazı optik özelliklerinin değiştirilmesidir. Katkılı sıvı kristal sistemler, değişik teknolojik uygulamalara imkân vermeleri sebebiyle son zamanlarda en çok araştırılan konulardan biri olmuştur. Karbon nanoparçacıkların katılmasıyla sıvı kristallerin fotorefraktif, holografik, elektro-optik ve yeniden yönlendirme gibi lineer olmayan özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır [Köysal ve San, 2008].

Boya katkısı saf sıvı kristal moleküllerin molekül arası etkileşimini değiştirir ve saf sıvı kristalin moleküler dinamiğinde değişikliğe neden olur [Manohar ve ark., 2010]. Eğer saf nematik sıvı kristale katkı için çubuk şeklinde boya molekülü kullanılırsa, boya molekülleri kendine özgü geometrisini takip etmek ve aynı geometride kalmak için uğraşır. Sıvı kristal matriste çubuk şeklinde molekülün bu davranışı son yıllarda pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Şekil 2.24'de saf kristal matriste boya varlığında boya moleküllerinin etrafındaki saf sıvı kristal moleküllerin yöneliminin bozulduğu görülür. Boya molekülleri etrafındaki bu rastgele yönelim, yönelim düzeninde azalmaya neden olur [Manohar, Pandey ve ark., 2010].



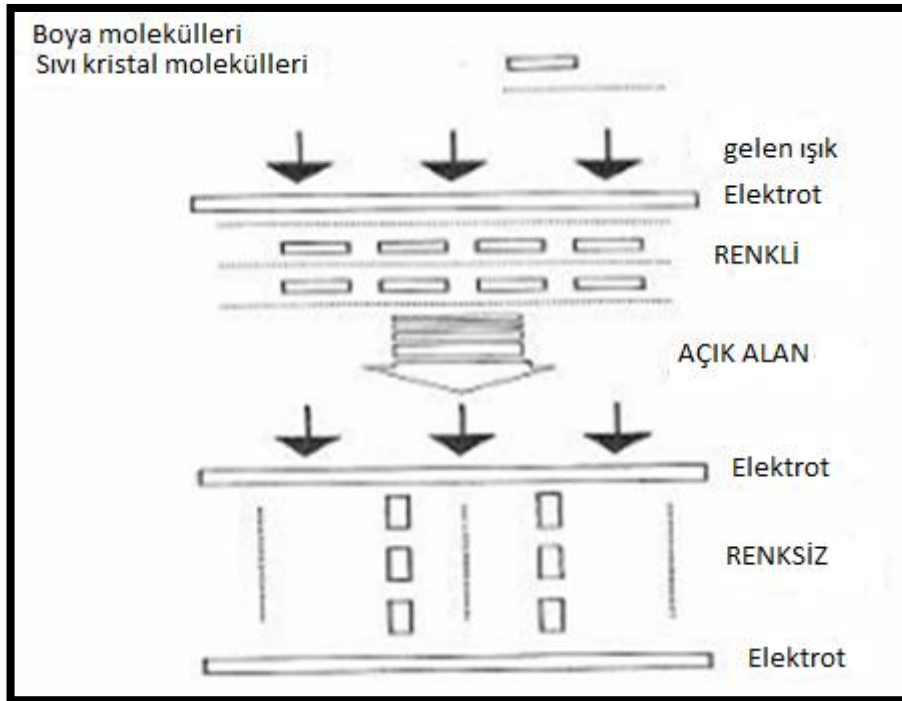
Şekil 2.24. Saf sıvı kristale boya katkısıyla nematik sıvı kristal molekülünün yönelimindeki değişim [Manohar, Pandey ve ark., 2010]

Y-H tipi sıvı kristal göstergelerde saf ve parlak renkler elde edebilmek için kullanılan boyaların yüksek absorpsiyon katsayısına ve uygun spektral özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle Y-H sistemlerinde genellikle mükemmel foto kararlılığa ve renk tonuna sahip olan azo ve antrakinon boyalar ile bu boyaların karışımları kullanılmaktadır. Azo boyalar genellikle yüksek çözünürlük ve düzen parametre değerleri ile ön plana çıkarken; yüksek kimyasal, foto ve elektro-kimyasal kararlılıkları antrakinon boyaları ilgi çekici duruma getirmektedir [Iwanaga ve ark., 2000; Ivashchenko, 1994].

Yolcu-Hancı tipi sıvı kristal göstergelerin performansında, sıvı kristal içinde dikroik boya çözünürlüğünün ve çözünürlükteki kararlılığının önemli olduğu, bu bakımdan boya ve sıvı kristal arası hidrojen bağı oluşumunun etkin olacağı vurgulanmıştır. Hidrojen bağlarının boyadaki -OH benzeri gruplar ile kristaldeki -CN benzeri gruplar arasında oluşacağı ileri sürülmüştür [Canbulat, 2006].

Sıvı kristal göstergelerde istenen özelliklerin ortaya çıkmasını sağlamak için, verilen sıvı kristal matris için seçilen boyanın etkin olması gerekir. Bu nedenle Yolcu ve Hancı moleküller arasındaki etkileşimin çok iyi bir şekilde bilinmesi gerekir [Martynnski ve ark., 2002].

Şekil 2.25'te boya içeren sıvı kristal hücrenin nasıl çalıştığı gösterilmektedir. Basitçe sıvı kristal hücre sıvı kristal materyal (hancı) ve uygun bir boya (yolcu) karışımı ile doldurulur ve elektrik alan uygulanır. Böylece boya molekülleri uygulanan elektrik alana paralel olarak sıralanmaya zorlanır ve boyanın geçiş dipol momenti ışık dalgasına bağlı olan elektrik vektörü ile dikey konuma gelir. Bu yönlenmede boya daha fazla ışık soğurmaz ve hücreden geçen ışık renksiz bir şekilde görülür [Hallas ve Waring, 1990].



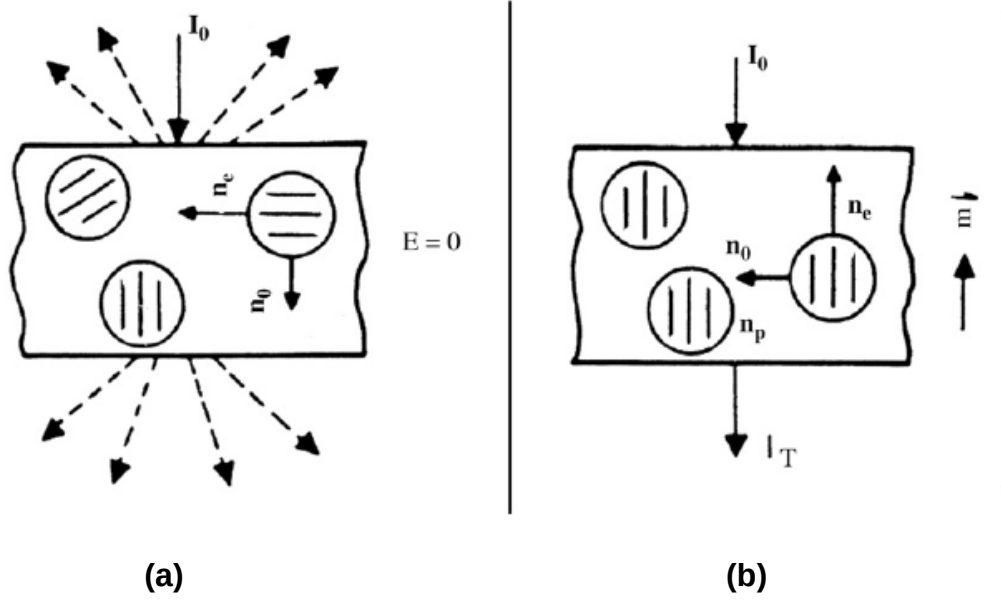
Şekil 2.25. Sıvı kristal göstergenin şematik gösterimi [Canbulat, 2006]

Y-H sistemlerinde kullanılacak boyarmaddeler için aşağıdaki şartlar aranır:

- Yüksek düzenlilik parametresi,
- Sıvı kristalde iyi çözünürlük,
- Noniyonik yapı,
- Ultra saflık,
- Kimyasal, fotokimyasal ve termal kararlılık gibi operasyonel karakteristikler üzerinde bir bozulmaya veya faz geçiş sıcaklıkları üzerinde bir değişime sebep olmamaları,
- Belli bir renk aralığında kullanılabilir ve siyah renk oluşturmak üzere karıştırılabilir olmaları,
- Boya tüketimini ve sıvı kristal viskozitesine etkiyi minimize etmek için molar absorpsiyon katsayısının yüksek olması [Bamfield, 2001].

### 2.8.2. Polimer dispers sistemler

Polimer dispers sıvı kristaller, mikron boyutlarındaki sıvı kristal damlacıklarının polimer matrisinin içine yerleştirilmesiyle oluşturulur. [Khoo, 1995]. Bu sıvı kristal damlacıklarının optik indisleri, dış alanın yokluğunda, sınırdaki kristal-polimer etkileşimine bağlıdır ve rastgele dağılım gerçekleşir (Şekil 2.26-a). Rastgele yönelmiş bu sıvı kristal damlacıklara gelen polarize olmayan ışık da kırılarak yansır ve büyük saçılmaya neden olur. Sonuçta geniş bir açıda dalgalanma yani karanlık görüntü oluşur. Uygun voltajın uygulanması halinde ise sıvı kristal moleküllerinin doğrultu vektörleri elektriksel alana paralel olacak biçimde yönelirler (Şekil 2.26-b). Sistem sıvı kristal damlacıklarının kırma indisinin izotropik polimer zeminin kırma indisi ile uyum sağlamasından dolayı şeffaf görünür; sonuçta çift kırınım etkisinin kaybolmasıyla ışık çok canlı beyaz renk vererek geçer [Khoo, 2009].



Şekil 2.26. Polimer dispers sıvı kristalin şematik gösterimi

Polimer dispers sıvı kristaller fotonik ve optoelektronik uygulamalar için ışık modölatörleri olarak kullanılırlar [Loiko ve ark., 2012]. Polimer dispers sıvı kristal hücreler çok ekonomik aygıtlardır. Bunlar pahalı polarizörlere ihtiyaç duymazlar ve nitekim çok parlaktırlar. Buna ilaveten yönlendirme tabakası ve bu tabakanın sürtülmesi gibi işlemlere de gerek yoktur. Bu özellikler geniş alanlı görüntülerde kendilerine olumlu katkı sağlamaktadır [Akkurt, 2009].

### 3. BOYARMADELER

Boyar madde, uygulandığı malzemeye kalıcı bir şekilde rengini veren, yoğun renkli ve genelde karmaşık yapıları organik bileşiklere denir. Boyar maddeler kimyasal bileşiklerdir ve muamele edildikleri cisme renklilik kazandırır. Pigmentlerin aksine, boyar maddelerin hemen hemen hepsi suda çözünürler ve renk dağılımlarının düzenli olabilmesi için sulu çözeltileri halinde uygulanırlar [Karaoğlu, 2007 ; Çanakçı, 2010]. Ancak her renk veren veya renkli olan madde boyarmadde değildir. Bugün kullanılan birçok boyarmadde sentez ürünleridir [Taner, 2006].

Başta tekstil ve dokuma olmak üzere kağıt, deri, gıda ve kozmetik sanayilerinde kullanılan boyar maddelerin doğal ve yapay (sentetik) birçok türü vardır. Günümüzde kullanılan boyar maddelerin çoğu, petrolden veya kömür katranından elde edilen benzen grubu hidrokarbonlardan hazırlanır. Bilinen ilk boyar maddeler, bitkisel kökenli kök boya, indigo ve safrandır [Karaoğlu, 2007].

#### 3.1. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Boyarmaddeler karakteristiklerine göre üç grupta sınıflandırılır [Taner, 2006].

- a) Çözünürlüklerine göre sınıflandırılması
- b) Boyama özelliklerine göre sınıflandırılması
- c) Kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması

##### 3.1.1. Çözünürlüklerine göre sınıflandırma

###### 1- Suda çözünen boyarmaddeler

Boyarmadde molekülü en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşır. Sentez sırasında kullanılan başlangıç maddeleri suda çözünen grup içermiyorsa, bu

grubu boyarmadde molekülüne sonradan eklemek suretiyle çözünürlük sağlanabilir. Ancak tercih edilen yöntem, boyarmadde sentezinde başlangıç maddelerinin iyonik grup içermesidir. Suda çözünen boyarmaddeler tuz teşkil eden grubun karakterine göre üçe ayrılır.

*a. Suda çözünen anyonik boyarmaddeler*

Bu boyarmaddeler suda çözünen grup olarak en fazla sülfonik (  $-\text{SO}_3^-$  ), az olarak da karboksilik (  $-\text{COO}^-$  ) asitlerin sodyum tuzlarını içerirler (  $-\text{SO}_3\text{Na}$  ve  $-\text{COONa}$  ).

*b. Suda çözünen katyonik boyarmaddeler*

Moleküldeki çözünürlüğü sağlayan grup olarak bir bazik grup (örneğin- $\text{NH}_2$ ) asitlerle tuz meydana getirmiş halde bulunur. Asit olarak inorganik veya organik asitler kullanılır.

*c. Zwitter iyon karakterli boyarmaddeler*

Bu gruptaki maddelerin molekülünde hem asidik hem de bazik karakterli gruplar bulunmaktadır. Bunlar bir iç tuz teşkil etmiş halde bulunurlar. Boyama esnasında nötral veya bazik ortamda anyonik boyarmadde gibi hareket ederler.

**2. Suda çözünmeyen boyarmaddeler**

Suda çözünmeyen boyarmaddeleri çeşitli gruplara ayırabiliriz:

*a. Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler*

Bu boyarmaddeler her çeşit organik çözücüde çözünürler. Solvent boyarmaddeleri de denilen bu boyarmaddeler sprey veya lak halinde

uygulanabilirler. Matbaa mürekkebi, vaks ve petrol ürünlerinin renklendirilmesinde kullanılırlar.

*b. Substratta çözünen boyarmaddeler*

Suda çok ince süspansiyonları şeklinde dağılarak, en çok sentetik elyaf üzerine uygulanan dispersiyon boyarmaddeleri bu gruba girer.

*c. Geçici çözünürlüğü olan boyarmaddeler*

Çeşitli indirgeme maddeleri ile suda çözünebilir hale getirildikten sonra elyafa uygulanabilirler. Daha sonra elyaf içinde iken yeniden yükseltgenerek suda çözünmez hale getirilirler.

*d. Elyaf içinde oluşturulan boyarmaddeler*

Elyaf içinde iki ayrı bileşenden kimyasal bir reaksiyonla oluşturulan boyarmaddeler bu sınıfa girer.

*e. Polikondenzasyon boyarmaddeler*

Bu boyarmaddeler, elyaf üzerine uygulanırken ya da uygulandıktan sonra birbiri ile farklı moleküllerle kondense olarak büyük moleküller oluştururlar.

### **3.1.2. Boyama özelliklerine göre sınıflandırma**

#### **1. Asit boyarmaddeler**

Uygulamanın asidik banyolarda yapılması ve hemen hemen hepsinin organik asitlerin tuzları olmasından dolayı bu maddelere asit boyarmaddeler denilir. Molekülde bir veya birden fazla  $-SO_3H$  sülfonik asit grubu veya  $-COOH$  karboksilik asit grubu bulunur. Bu maddeler başlıca yün, ipek, poliamit,

katyonik modifiye akrilonitril elyafı olmak üzere kâğıt, deri ve besin maddelerinin boyanmasında kullanılmaktadırlar.

## 2. Bazik boyarmaddeler

Katyonik grubu renkli kısımda taşırlar ve organik bazların hidroklorürleri şeklinde bulunurlar. Yapıları gereği bazik olduklarından anyonik grup içeren liflerle bağlanırlar. Boyarmadde katyonu, elyafın anyonik gruplarıyla tuz oluşturur ki bu ilişki iyoniktir.

## 3. Direkt boyarmaddeler

Direkt boyarmaddeler önceden bir işlem yapılmaksızın, boyarmadde çözeltisinden selüloz veya yüne doğrudan çekilirler ve genellikle sülfonik, bazen de karboksilik asitlerin sodyum tuzları şeklindedirler. Suyu karşı dayanıklılıkları sınırlıdır. Fakat boyama sonrası yapılan ek işlemler sayesinde suya karşı dayanıklılığı iyileştirilebilir.

## 4. Mordan boyarmaddeler

Mordan sözcüğü, boyarmaddenin elyafa tutunmasını sağlayan madde anlamı taşımaktadır. Bu sınıfa giren boyarmaddelerin çoğu, asidik ya da bazik fonksiyonel gruplar içerirler. Hayvansal ve bitkisel elyaf ile kararsız bileşik oluştururlar. Mordan olarak Al, Sn, Fe, Cr tuzları kullanılır; bunun sebebi suda çözünmeyen hidroksitler oluşturmalarıdır. Boyarmadde molekülleri ile bu tuzların katyonları elyaf üzerinde suda çözünmeyen bileşikler oluştururlar. Yün boyamada kullanımı önem taşıyan yalnız krom tuzlarıdır [Taner, 2006; Pekkuş, 2006].

## 5. Reaktif boyarmaddeler

Uygun koşullar altında lif ile kimyasal reaksiyona girerek, kovalent bağ verme özelliğine sahip tek boyarmadde sınıfıdır. Küçük ve basit molekül yapılarına sahiptirler [Taner, 2006]. Kimyasal reaksiyon sonucu kovalent bağ oluşturdıklarından, elde edilen boyanın yıkamaya karşı dayanıklılığı yüksek ve renkler çok parlaktır. Boyama soğukta bekletmeyle yapıldığı için enerji tasarrufu sağlar. Reaktif boyarmaddelerin molekülleri çok küçük olduğundan elyaf içine difüzyon hızları büyüktür, dolayısıyla boyama kısa sürede tamamlanır [Altındış, 2012].

Yüksek haslıklar, geniş renk paleti, renk tonlarının canlılığı, çok sayıdaki boyama yöntemine uygunluk gibi avantajlarının yanında bu boyarmadde sınıfının; boyanma maliyetlerinin yüksek olması ve klor gibi kullanım haslıklarının düşük olması gibi dezavantajları mevcuttur. Bu dezavantajlar reaktif boyarmaddeler üzerine yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadırlar [Bulut ve Akçalı, 2010].

## 6. Küp boyarmaddeler

Suda çözünmeyen ve karbonil grup içeren maddelerdir. İndirgenme ile suda çözünür hale getirilirler ve bu halde iken elyafa çekilirler. Daha sonra oksidasyon ile tekrar çözünmez hale getirilirler. İndirgenme için  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  (Sodyumditiyonit), oksidasyon için ise hava oksijeni kullanılır. Daha çok selülozik, kısmen de protein elyafın boyanması ve baskısında kullanılırlar.

## 7. Metal – kompleks boyarmaddeler

Metal iyonları ile belirli gruplara sahip bazı azo boyar maddelerinin kompleks oluşturmasıyla meydana gelen boyarmaddelerdir. Azo grubu kompleks oluşumunda rol oynar. Asıl renk veren maddenin yanı sıra, yapısında krom, nikel veya kobalt metallerinin bir veya daha fazla atomunu içeren, oldukça

büyük moleküllerden oluşurlar. Yün ve sentetik (özellikle poliamit, akrilik ve polyester) lifler için uygulanabilen bir çeşit asit boyarmaddesi türüdür. En fazla yün ve poliamit lifleri için kullanılırlar. Poliüretanlar için de uygundur ve doğrudan boyamaya imkan sağlarlar [İçoğlu, 2006].

#### 8. Dispers boyarmaddeler

Hidrofob özelliğe sahip primer, sekonder asetat ve sentetik elyafın boyanmasında dispers boyar maddeler kullanılır. Bunlar, sudaki çözünürlükleri çok az olan organik bileşiklerin çok ince öğütülmüş süspansiyonları şeklinde uygulanır [Karaoğlu, 2007].

Dispers boyarmaddeleri iki formda bulunurlar; mikrodispers granüller ( veya toz boyarmaddeler) ve sıvı boyarmaddeler. Dispersiyon stabilitesi, kolay karıştırılabilirlik, hazır pH ve doğal yapısı itibariyle köpürmemesi, sıvı boyarmaddeler için bazı gereksinimlerdir. Sıvı boyarmaddeler, kolay kullanım özelliklerine sahip olmakla birlikte, depolama esnasında konsantrasyon değişimi, çökme, buharlaşma gibi, muhtemel olumsuzluklarla karşı karşıyadır. Sıvı boyarmaddelerin depolanması ve kullanılması, özel önlemler gerektirmektedir [İçoğlu, 2006].

Kullanılan en önemli dispers boyarmaddelerin kimyasal tipleri monoazo, antrakinon ve diazo yapılarıdır. Bu üç tipteki kimyasal yapı, tüm dispers boyarmaddelerin toplamının %85'ini oluşturmaktadır.

Dispers azo boyarmaddeler yapılarındaki benzen halkasında özel bileşenler ve heterokromatik diazo bileşikler kullanılarak farklılaştırılmaktadır. Dispers boyarmaddelerin sentezinde diazo ve kenetleme bileşeni olarak heterosiklik bileşiklerin kullanılması son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Bu tip boyarmaddeler parlak mavi ve kırmızı renkler verirler ve zayıf renk veren dispers antrakinonlarla karşılaştırıldığında avantajlı sayılmaktadırlar [Uğur, 2004].

Boyarmadde boyama işlemi sırasında dispersiyon ortamından hidrofob elyaf üzerine difüzyon yolu ile çekilir. Boyama, boyarmaddenin elyaf içinde çözünmesi şeklinde gerçekleşir. Dispersiyon boyarmaddeleri polyester elyafın boyanmasında kullanılırlar [Taner, 2006].

### 9. Pigment boyarmaddeler

Pigment boyarmaddelerle boyamanın ilginç yönü maksimum ışık haslığındaki pigmentlerin seçilmesinin mümkün olmasıdır. Uygun bir bağlayıcı kullanıldığı takdirde yıkama haslığı da yüksek standarda ulaşır. Özellikle açık renklerde ışık ve yıkama haslıkları iyidir [Çanakçı, 2010]. Bunun yanında, eğer renk çok koyu ise, boyamanın sürtme haslıkları iyi değildir. Pigmentlerin ve reçinelerin olağanüstü geliştirilmeleri ile günümüzde çok daha koyu renklerin eldesi de mümkün hale gelmiştir [İçoğlu, 2006].

### 3.1.3. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma

#### 1. İndigoid boyarmaddeler

İndigo, Hindistan’ da yetişen tropik bir bitki olan indigo (*Indigofera tinctoria* L.) bitkisinden elde edilen mavi renkli bir boyarmaddedir .Boyarmaddenin yapısı iki indoksil molekülünün birleşmesinden türetilmiş olan bir aromatik bileşik şeklindedir.İndigo sadece tekstil boyamacılığında değil, bunun yanında antik çağlardan beri kozmetik, kanama durdurucu, iltihaplanmayı, kanseri ve ülseri önleyici olarak da kullanılmıştır [Deveoğlu ve Karadağ, 2011].

#### 2. Nitro ve nitrozo boyarmaddeler

Nitro boyalar yapısında fenol, naftol veya aromatik aminlerin türevlerini bulunduran boyalardır. Nitrozo bileşikleri tek başına boyarmadde özelliği taşımamaktadır. Ağır metal tuzları ile meydana getirdikleri kompleksler boyarmadde özelliği göstermektedir [Erel, 2012].

### 3. Polimetin boyarmaddeler

Polimetin boyarmaddeleri renkli bileşikler içinde büyük bir grup oluşturur. Bir amonyum grubu ile biten, konjuge karbon atomları zinciri içeren bir kromofor grupla karakterize edilirler [Taner, 2006; Kaya, 2010].

### 4. Kükürt boyarmaddeler

Kükürt boyar maddeler, kükürt içeren kompleks yapıli organik bileşiklerdir. Selülozik elyafın boyanmasında kullanılırlar [Karaoğlu, 2007].

### 5. Azo boyarmaddeleri

Kimyasal yapılarına göre sınıflandırmada en geniş grup azo boyarmaddeleridir. Boyama güçlerinin yüksek olması, ucuz başlangıç maddelerinden sentezlenebilmeleri, kolaylıkla elde edilebilir olmaları ve tüm renk aralığını kapsamaları nedeniyle azo boyarmaddeleri önemlidirler [Gordon ve Gregory, 1983]. Azo boyarmaddelerinin tek dezavantajı mavi-mor renk aralığında donuk renkler vermeleriydi, ancak bu dezavantaj heterohalkalı bileşenlerin kullanımıyla daha parlak renkler elde edilerek giderilmiştir [Towns, 1999].

Organik boyarmaddelerin en önemli sınıfını oluştururlar. Kükürt ve küp boyarmaddeleri dışında tüm boyarmaddelerin yapısında azo grubu vardır. Azo boyarmaddelerinden alifatik grup içerenlerin renk şiddeti düşüktür. Haslık özellikleri farklıdır. Doğal boyarmaddelerde azo grubuna rastlanmaz, bu boyarmaddelerin tümü sentetik olarak elde edilirler [Taner, 2006].

Azo boyarmaddeleri, bileşiğin türüne göre değişen ve renkliliği sağlayan yapısal özelliklerin farklı sayıda olması ve molekülde farklı yerlerde bulunmalarına göre çeşitlilik göstermektedir. Azo boyarmaddelerinin yapılarından kaynaklanan bir renk ilişkisi vardır. Bu durum moleküldeki azo

grubundan kaynaklanır ve moleküldeki azo grubu sayısı arttıkça renk koyulaşır [Kılınçarslan, 1999].

Dünyadaki toplam boyarmadde üretiminin % 50'den daha fazla kısmını azo boyalar oluşturmaktadır. Bunun başlıca sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Boyama güçlerinin yüksek olması (azo boyarmaddelerin boyama gücü antrakinon boyarmaddelerinin iki katı kadardır),
- Kolaylıkla sentezlenebilmeleri,
- Ucuz başlangıç maddelerinden elde edilebilmeleri,
- Çok geniş bir renk aralığına sahip olmaları ve haslık özelliklerinin iyi olması [Çelik, 2007].

Azo boyar maddelerinin de bazı eksiklikleri vardır. Her ne kadar bu eksiklikler azo boyar maddeleri cazip hale getiren maliyet faktörünün yanında önemsiz de olsa, araştırmacılar bu eksiklikleri telafi etmek için çalışmalar yapmışlardır. Farklı diazo ve kenetlenme bileşenleri kullanılarak çok çeşitli azo boyar madde sentezlenmesi mümkündür. Bu çeşitlilik, geniş bir renk spektrumunda ve farklı haslık özelliklerine sahip azo boyarmaddelerin sentezlenmesini mümkün kılmıştır. Günümüzde azo boyarmaddeler tüm renk aralığını kapsayan boyama özelliğine sahipken; antrakinon boyarmaddeleri kırmızı, mor, mavi ve turkuaz renkleri elde etmek için kullanılır. Diğer boyarmadde sınıfları ise genellikle sarı-turuncu renk aralığında boyama sağlarlar. Azo boyar maddeler ile ilgili çalışmalar teorik organik kimyanın gelişmesine oldukça önemli katkılar sağlamışlardır. Bu yüzden azo boyar maddeleri; renk ve yapı arasındaki ilişkiyi kavramak, tautomeri ve asit-baz dengelerinin teorilerini denemek ve geliştirmek için oldukça çok kullanılır [w3.gazi.edu.tr/~znseferoglu/project1.pdf].

## 6. Antrakinon boyalar

Antrakinon soluk sarı renkli, 286°C'da eriyen ve atmosfer basıncında 379-381°C'da kaynayan kristal yapılı bir katıdır. Antrakinonlar doğada bulunmasına rağmen 1835 yılında Laurent tarafından antrasenin nitrik asit ile yükseltgenmesi ile elde edilene kadar farklarına varılamamıştır [Canbulat, 2006].

Doğal bir karşılığı olmayan azo boyalarından farklı olarak, en önemli doğal kırmızı boyaların tamamı antrakinonlardır. Antrakinon boyalarında, moleküldeki süstitüentin türü ve konumu rengi belirlemektedir [Hunger, 2003]. Antrakinonlar ısı ve yükseltgeyici reaktiflere karşı oldukça dayanıklıdır.

Antrakinon boyalar, yüksek kimyasal ve elektrokimyasal kararlılıklarından ötürü çok ilgi çekici boyalardır. Ayrıca bu serideki bileşiklerle bütün görünür bölge aralığında absorpsiyon yapan boyalar sentezlemek mümkündür. Azo bileşikleri gibi antrakinon boyalar da yolcu-hancı sıvı kristal göstergeler için yaygın dikroik boya olarak önerilmektedir [Canbulat, 2006].

### 3.2. Sıvı Kristal Göstergelerde Kullanılan Boyarmaddeler

Tekstil endüstrisinde kullanıldığı bilinen antrakinon boyaları göstergeler için uygun değildir. Normalde bunların S değerleri düşüktür ve sıvı kristaldeki çözünürlükleri azdır. Bu dezavantajlar sıvı kristal içinde istenilen çözünürlüğü verebilecek ve yüksek S değerini sağlayabilecek özel gruplar içeren dikroik antrakinon serilerinin sentezlenmesine temel oluşturmuştur [Ivashchenko, 2002].

Sıvı kristal sistemlerde kullanılan bazı boyalar şunlardır:

1. Azometinler
2. İndigoid ve tiyoindigoid boyalar
3. Merosiyanin boyalar
4. 1,3-bis (disiyanometilen) indan boyalar
5. Azulenler
6. Kinofitalonik boyalar
7. Perilen boyalar
8. Ftaloperinler
9. Trifenodioksazinler
10. İndolo [2,3-B] kinokzalinler
11. İmidazol [1,2-B]-1,2,4-triazinler
12. Tetrazinler
13. L-tipi azo boyalar
  - Monoazo boyalar
  - Bisazo boyalar
  - Trisazo ve poliazo boyalar
  - Metal kompleksi oluşturan azo boyalar
14. T-tipi azo boyalar
15. L,T-tipi azo boyalar
16. I-tipi azo boyalar
17. Benzo- ve naftokinonlar
18. Antrakinon boyalar
  - Aminoantrakinonlar
  - Aminohidroksiantrakinonlar
  - S-arilaminotioantrakinonlar
  - S-arilaminohidroksiantrakinonlar
  - T-tipi antrakinonlar
  - Antraprimidinonlar
  - İzotropik antrakinon boyalar [Erel, 2012]

## 4. KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ

### 4.1. Boyarmaddenin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüğü

Y-H tipi sıvı kristal göstergelerde kullanılacak olan boyarmaddenin düşük ve yüksek sıcaklıklar dahil, geniş bir sıcaklık aralığında sıvı kristal içerisinde yüksek çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir. Çalışma sıcaklık aralığı çok geniş olduğundan, bu aralıkta boyarmaddelerin sıvı kristal içerisinde çözünürlüklerini korumaları ve kristalize olmamaları gerekmektedir. Sıvı kristalin yapısına ve boyarmaddedeki uç bileşenlerin türü, sayısı ve konumuna bağlı olarak çözünürlük değerleri değişmekte olup, Y-H tipi sıvı kristal göstergelerin performansları da kullanılan boyarmaddelerin çözünürlüğüne ve çözünürlükteki kararlılığına bağlı olarak değişim göstermektedir [Ivashchenko, 1994].

Sıvı kristalde dikroik boya (DB) çözünürlüğünü artıran bileşenler genelde alkil grupları veya RO-, RS-, RCOO-, ROOC-, RHN- ve R<sub>2</sub>N- gibi diğer sübstitüenleri içeren gruplardır. Aromatik, heterosiklik, sikloalifatik, ve diğerleri gibi bir seri blok, DB'ya sıvı kristal içinde iyi dolgu düzeni sağlar. Azo, nafto ve antrakinon boyalar, Schiff bazları gibi birçok farklı sınıfın boyar kısımları, görünür bölgede absorpsiyon bandına sahip olan kromofor sistemli blokları oluşturur. DB molekülündeki bloklar farklı gruplarla; örneğin -CH<sub>2</sub>-, -CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-, -COO-, CONH-, -COS-, -O-, -S- vb. ile veya basit C-C hatlarıyla bağlanabilir. Bu tür bir yapının belirgin özelliği sıvı kristal molekülleriyle yakinen sarılmasına izin vermemesi, ancak sıvı kristalin DB molekülü içine yerleştirilmesidir [Ivashchenko, 1994].

#### 4.2. Düzen Parametresinin Belirlenmesi

Bu parametre (S), dikroik boyanın (DB) sıvı kristal içindeki çözeltisinin elektron polarizasyon spektrumundan aşağıdaki formül kullanılarak kolaylıkla bulunabilir [Akkurt, 2009].

$$S = (D_{\parallel} - D_{\perp}) / (D_{\parallel} + 2D_{\perp}) \quad (4.1)$$

Burada  $D_{\parallel}$  ve  $D_{\perp}$ ; sıvı kristal çözeltisi içindeki DB çözeltisinin, sırasıyla sıvı kristal yönüne paralel ve dik konumda ışık polarizasyonu için ölçülen optik yoğunluklarıdır. Kural olarak bu yoğunluklar maksimum absorpsiyon bandında ölçülür.

DB etkinliğini karakterize etmek için sıkça dikroik oran (R) kullanılır ki R'nin S ile ilişkisi şu şekildedir:

$$S = (R - 1) / (R + 2) \quad (4.2)$$

Kaynaklarda S parametresi için farklı semboller ve farklı tanımlamalar da vardır. Absorptiviteye bağlı olarak bu eşitliği;

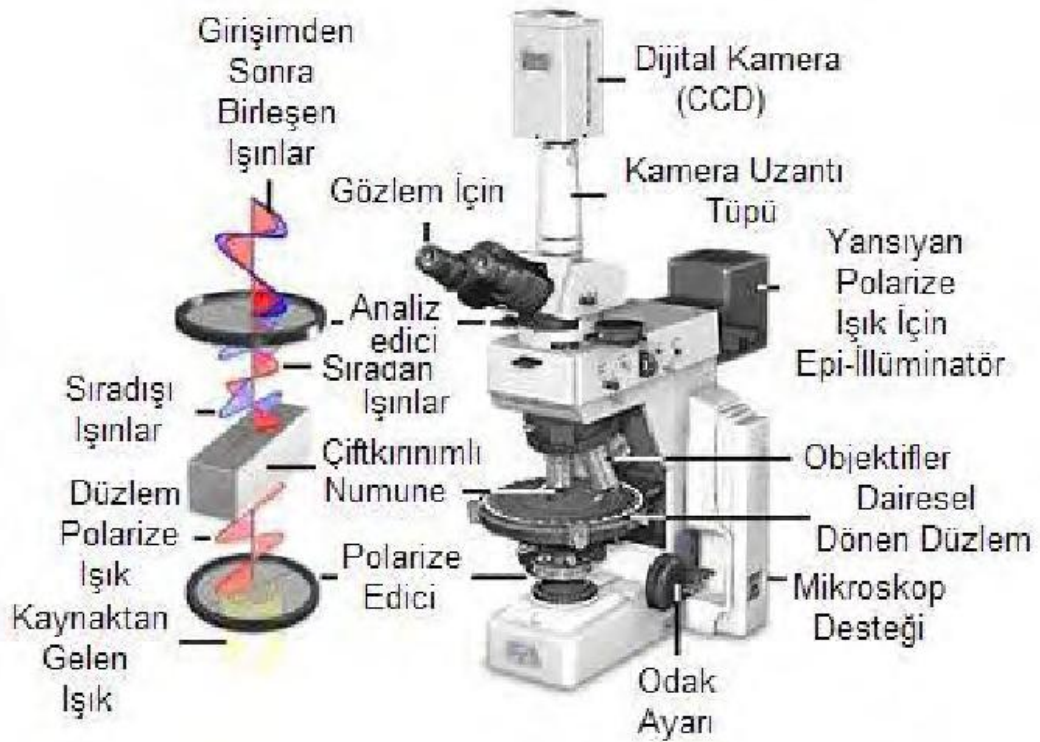
$$S = (A_{\parallel} - A_{\perp}) / (A_{\parallel} + 2A_{\perp}) \quad (4.3)$$

şeklinde yazmak da mümkündür. Burada  $A_{\parallel}$ ; gün ışığının elektrik vektörü moleküler yöne paralel olduğu zaman kristaldeki boya için maksimum dalga boyunda ölçülen optik yoğunluk,  $A_{\perp}$  ise dik durumdaki yoğunluktur [Akkurt, 2009].

S değeri, uç grupların azobenzen molekülü ile birleşmesi sonucu artmaktadır. Uç grup olarak alkoksi grubu içeren azo boyalara ait S değeri, alkilamino veya dialkilamino grupları içeren azo boyaların S değerinden daha yüksektir.

#### 4.3. Polarize Mikroskopik Teknikler

Polarize mikroskopi hem faz geçiş sıcaklıklarının, hem de faz tipinin tayinine olanak sağlayabilmektedir (Şekil 4.1). Bu, çapraz polarizörlerin arasında sıcaklığa bağlı tekstür incelemeleri ile elde edilir. Karakteristik tekstürler, gözlemlenen fazın açığa çıkmasına neden olurlar. Bu tekstürler bir faz geçişi sırasında değişime uğrarlar.



Şekil 4.1. Polarize mikroskop ve bölümleri [Emek, 2007]

Cihaz, üretici tarafından sağlanan karakteristik dalga boyunda beyaz ışık yayan, genellikle halojen ampul biçimindeki ışık kaynağını içerir. Bu ışık bir lens içerisinden geçerek bir ayna vasıtasıyla yukarı yansıtılır ve levha polarizör aracılığıyla doğrusal olarak polarize hale geçer. Buradaki polarizör 360° döndürülebilmektedir. Işık daha sonra kondensöre girer. Kondensör ışık kaynağından ışığı toplar ve numunenin düzgün olarak aydınlanmasını sağlar. Bu nedenle iris açıklığı doğru ayarlanmalıdır. Sıvı kristal araştırmaları için mikroskoplar genellikle üzerinde ısıtıcı ve dönebilen bir tabla bulunan düzenekle donatılmıştır. Bu tabla aynı zamanda numuneyi de içine alır ve ışığın yayılma yönüne dik düzlemdeki numunenin kusursuz dönüşü için güvenli bir şekilde monte edilmelidir. İletilen ışık daha sonra objektifin içinden geçer. Tekstür çalışmaları için genellikle üç farklı objektif kullanılır. Bunlardan x5 (kırmızı) düşük büyütme için, x10 (sarı) ve x20 (yeşil) orta ölçekli büyütme içindir. Bazen x40 (mavi) objektif de küçük yapıları çözümlemek ya da konoskopik çalışmalar için kullanışlı olabilmektedir. Objektiften gelen ışık daha sonra analizörden geçer. Tekstür çalışmalarında analizör, polarizöre doğru açılarla yönelir. Örneğin: numunede çift kırılma yok ve görüş alanı siyah renktedir. Oküler ya da mercek, görüntüyü daha fazla büyütmeye yardımcı olur. Oküler aynı zamanda görüş sahasını da temin eder [Kaya, 2010].

## 5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Konu içinde atıf yapılan literatüre ilave olarak aşağıdaki çalışmalardan bahsedilebilir.

Bauman ve Moryson, simetrik A ve nematik fazlarda dikroik boya-sıvı kristal karışımlarında Y-H etkileşimlerini incelemişlerdir. Bu amaçla 4'-n-oktil-4-siyanobifenil (8CB) ve 4'-n-oktiloksi-4-siyanobifenil (8OCB) sıvı kristalleri içerisinde kütlece %0,3 oranında çözünmüş, moleküler büyüklükleri ve şekilleri birbirinden farklı altı tane azo boyarmaddenin polarize absorpsiyon spektrumlarından, her bir boyarmadde için düzenlilik parametre değerini hesaplamışlar ve boya moleküllerinin sıvı kristal matris içerisindeki yönelmelerinin sıcaklığa bağımlılığını belirlemişlerdir. Deneysel çalışmaların ilk aşamasında polarizör donanımlı spektrofotometre cihazı kullanılarak, sıvı kristal/boya karışımlarının görünür bölgede absorpsiyon spektrumları elde edilmiştir. Sıvı kristal/boya içeren hücreye paralel ve dik konumda iken dalga boyuna karşı ölçülen absorbans değerlerinden, maksimum absorpsiyonun gerçekleştiği dalga boyundaki absorbans belirlenerek dikroik oran ve düzenlilik parametre değerleri hesaplanmıştır. 8CB sıvı kristalinde nematik fazda düzenlilik parametre değeri  $S=0,43-0,69$  arasında değişirken, 8OCB sıvı kristalinde  $S=0,44-0,72$  arasında değişen değerler almıştır. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki, kullanılan boyaların moleküler yapılarında benzen halkası gibi ağır uç grupların bulunması ya da  $-Cl$  gibi yan bileşenlerin olması sterik etkiye sebep olacağından, sıvı kristal matris içerisinde boya moleküllerinin yönelmesini azaltmaktadır. Ancak  $-NO_2$  gibi polar uçların bulunması sıvı kristaldeki  $-CN$  grubuyla kuvvetli etkileşim yapacağından yönelme üzerinde de olumlu etkileri vardır. Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında ise saf sıvı kristallerin ve boya katkılı sıvı kristallerin faz geçiş sıcaklıklarını tespit etmişlerdir. Dikroik boya ilave edilmiş sıvı kristal matrislerde faz geçiş sıcaklıkları saf hale göre değişim göstermiş, boya katkılı sıvı kristallerin faz geçiş sıcaklıkları saf haldeki sıvı kristalin faz geçiş sıcaklığına göre artış ya da azalış sergilemiştir. Bu artış ya da azalış saf

haldeki sıvı kristal ile boya katkılı sıvı kristalin düzenlilik parametre değerleri ile ilişkilendirilmiştir [Bauman ve Moryson, 1997].

Wang ve Carlisle, Dispers kırmızı 1 boya katkılı nematik sıvı kristalin optik özelliklerini araştırmışlardır. %0,3-1,0 değişen konsantrasyon oranlarında dispers kırmızı 1 azo boya katkılı E7 sıvı kristal içeren nematik sıvı kristal hücreler kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonunda düzen parametre değeri  $S=0,569$  olarak bulunmuştur. Bu değer boya moleküllerinin sıvı kristal ile iyi bir yönelim oluşturduğunu göstermiştir [Wang ve Carlisle, 2002].

Thote ve Gupta, LCD uygulamaları için dikroik boya ve sıvı kristal molekül arasındaki hidrojen bağı ile ilgili araştırmalar yapmışlardır. Dikroik boya dispers kırmızı 1 ile benzonitril, asetonitril ve 5CB sıvı kristalinin hidrojen bağı davranışını araştırmışlardır. Sonuçta, asetonitril, benzonitril ve 5CB sıvı kristal moleküllerinin  $-CN$  grupları ile dispers kırmızı 1 boyanın  $-OH$  grubu arasında H-bağı gözlemlenmiştir [Thote ve Gupta, 2004].

Ghanadzadeh ve arkadaşları, aminoazo benzen boya katkılı sıvı kristalde yolcu-hancı etkileşimini incelemişlerdir. Bu amaçla yapılan çalışmada dimetil-aminoazobenzen , oktadekan-aminoazobenzen, aminoazo benzen boyaları ve E8 sıvı kristali kullanılmıştır. Üç farklı yapıdaki aminobenzen boyalar içerisinde en yüksek düzenlilik parametre değerine oktadekan-aminobenzen boyada ( $S=0,6$ ) ulaşılmış ve çıkan bu yüksek sonuç boyadaki amino grubuna eklenen uzun alkil ucun varlığı ile açıklanmıştır [Ghanadzadeh ve ark., 2007].

Suleiman ve arkadaşları, azo boyalardan biri olan metil kırmızısı ve tek duvarlı karbon nanotüp içeren E7 nematik sıvı kristali ile çalışmışlardır. Elde edilen düzenlilik parametre değeri ( $S=0,605$ ) boya moleküllerinin sıvı kristalin uzun moleküler ekseninin yönlenme doğrultusu ( $n$ ) boyunca çok iyi sıralandığını göstermektedir. 0,6 civarındaki bu düzenlilik parametre değerinin, E7 sıvı kristalinde moleküllerin iyi dizilimleri için yeterli olduğu bildirilmiştir [Suleiman ve ark., 2008].

Akkurt ve arkadaşları, yaptıkları deneysel çalışmada ilk olarak Dispers Turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddelerinin E7 sıvı kristali içerisindeki çözünürlükleri belirlemişlerdir. Bu aşamayı takiben boyarmaddelerin sıvı kristaldeki %1'lik çözeltileri ve ardından ikili boyarmadde karışımları için düzen parametre değerleri spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir. Daha sonra boyarmadde ve sıvı kristalden oluşan karışımlara kütlece %0,05 oranında iki farklı karbon nanopartikül eklenmiş ve boyarmadde-sıvı kristal karışımları için düzen parametre tayinleri nanopartikül ilaveli olarak gerçekleştirilmiştir. Düzen parametre tayinlerinin ardından numunelerin ısı özellikleri irdelenmiştir. Numunelerin tekstürlerinin eldesi ve ardı sıra gerçekleştirilen elektriksel karakterizasyon işlemleri ile çalışmalar tamamlanmıştır. Deneysel sonuçlar, nematik sıvı kristale boya ile nanotüpün ya da fullerenin birlikte katkılandırılması ile düzen parametresinde belirgin bir artış olduğunu göstermektedir. Bu sonuç sıvı kristal ile boya molekülleri arasında oluşması muhtemel hidrojen bağlarının ilave edilen nanopartiküllerle daha da kuvvetlenmesi ve nanotüp/fulleren köprüleriyle konjuge yapının sürekliliğinin sağlanması ile açıklanmıştır. Elde edilen yüksek düzen parametre değerleri de ilave edilen boya ve nanopartikülün sıvı kristalin doğrultu eksenini boyunca iyi yönlendiğini göstermektedir. Numunelere ait termogramlar ile tekstürler birlikte incelendiğinde değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca kristale boyarmadde ve/veya nanopartikül ilavesinin sıvı kristal sıcaklık aralığını daraltmadığı, tam aksine artırıcı etki meydana getirdiği gözlemlenmiştir [Akkurt ve ark., 2009].

Manohar ve arkadaşları, boya katkılı sıvı kristallerin saf sıvı kristallere nazaran dielektrik özelliklerinin değiştiğini göstermiştir. Bu değişiklikler boyanın konsantrasyonuna bağlıdır. Bu çalışmada E-24 nematik sıvı kristali ve farklı konsantrasyonlarda antrakinin boya (D5) karışımı kullanılmıştır. Nematik fazda dielektrik anizotropi sıcaklık yükseldikçe yavaş yavaş düşmüş ve nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığında sıfır olmuştur. Saf sıvı kristalde boya konsantrasyonu arttıkça dielektrik anizotropi artmıştır [Manohar ve ark., 2010].

Iwanaga ve arkadaşları, dört sarı antrakinin dikroik boylarla katkılандırdıkları LIXON 5052XX sıvı kristallerinin Y-H tipi göstergelerde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. 1-[4-(t-bütıl)feniltiyo]-5-(2-naftiltiyo) antrakinin boya diğler boylara göre yüksek çözünürlük göstermiştir. Bu boyanın naftiltiyo grubuna sahip olduğundan daha yüksek dikroik oranı ( $DR = 11,7$ ), kontrast oranı ( $CR = 10,7$ ) ve molar absorpsiyon katsayısına ( $\epsilon = 12,000$ ) sahip olduğu ileri sürülmüştür. Ayrıca yapısal olarak benzer olan iki boya karşılaştırıldığında ariltiyo grubunun feniltiyo grubundan dikroik boyların özelliklerinin gelişmesinde daha etkili olduğu görülmüştür [Iwanaga ve ark., 2010].

Çağıl ve arkadaşları, Y-H tipi sistemlerde farklı moleküler yapıda boylar ile tek duvarlı karbon nanotüp kullanarak moleküler yönlenmeyi geliştirmiş ve nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla monoazo, bisazo ve antrakinin yapıda olmak üzere üç farklı dispers boyarmadde, farklı bileşimdeki E8 ve ZLI-1132 sıvı kristallerine ayrı ayrı eklenerek düzen parametreleri ve faz geçiş sıcaklıkları belirlenmiştir. Daha sonra bu karışımların her birine farklı oranlarda karbon nanotüp ilave edilmiş ve deneyler tekrarlanmıştır. Sonuç olarak en yüksek düzen parametre değeri antrakinin yapıda bulunmuş; karbon nanotüp ilavesi farklı etkilere sebep olmuştur. Katkılı sıvı kristallerin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki değişim, katkısız hale göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığından, sıvı kristal fazın kararlılığı üzerine olumsuz etkilerinin olmadığı sonucuna varılmıştır [Çağıl ve ark., 2011].

Kumar ve arkadaşları, gösterge cihazları için dikroik boya katkılı polimer dispers sıvı kristal malzemelerin analizlerini yapmışlardır. Bu amaçla E7 nematik sıvı kristali ve Dispers turuncu 3 azo boya kullanmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalarda düşük boya konsantrasyonları içeren dikroik polimer dispers sıvı kristal göstergelerin bu malzemelerin optik iletimi, eşik voltajı, kontrast oranı ve absorbands faktörü gibi temel özelliklerini değiştirdiğini bulmuşlardır [Kumar ve ark., 2011].

Saint-Jalm ve arkadaşları, yaptıkları deneysel çalışmalarında 2-nitro-4-(4'-desilfenil) diazenilfenil 4-(4' dodesiloksifenildiazenil) benzoat (Azo-NO<sub>2</sub>) ve 2-bromo-4-(4'-desilfenil) diazenilfenil 2-kloro-4-(4'-dodesiloksifenildiazenil) benzoat (Azo-BC) sentezlemişler, sıvı kristal olarak da E7 kullanmışlardır. Planar sıvı kristal hücrelere statik elektrik alan uygulayarak sıvı kristalin lineer olmayan optik davranışını incelemişler, azo-mesojen katkılı nematik sıvı kristal karışımının ışıkla uyarılmış etkilerini çift kırılım ölçme metodunu kullanarak gözlemlemişlerdir. Azo-mesojen fotoizomerizasyonun varlığından dolayı yığın SK moleküller üzerine uygulanan etkin elektrik alan ve ışık sistemi fiziki karmaşıklığına rağmen birkaç gerçek zamanlı holografik uygulamalarda kullanılabilir olduğu ve bu sistemlerin dezavantajının ışık sinyallerin yavaş tepkisi olduğu sonucuna varılmıştır [Saint-Jalm ve ark., 2012].

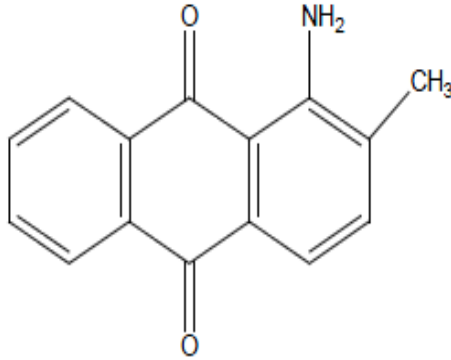
Kaya ve arkadaşları, dört farklı boya (metil kırmızısı, dispers kırmızı 1, 13, 60) ve dört farklı nematik sıvı kristal (E7, E8, E63, ZLI-1132) kullanarak hazırladığı karışımların çözünürlüklerini, düzen parametrelerini, faz değişim sıcaklıklarını ve tekstürlerini incelemiştir. Tek duvarlı karbon nanotüp ekleyerek yaptıkları çalışmada, karbon nanotüplerin sıvı kristal-boya ile katkılanmasıyla düzen parametrelerinde önemli ölçüde artış gözlemlemişlerdir. Bu durum hücrede sıvı kristal ile boya molekülleri arasında oluşması muhtemel hidrojen bağlarının ilave edilen nanopartiküllerle daha da kuvvetlenmesi ve konjuge yapının sürekliliğinin sağlanması ile açıklanmıştır. En yüksek düzen parametre değeri 0,77 olup dispers kırmızı 60 ve nanotüp katkılı E63 sıvı kristalinde elde edilmiştir. Boya ve nanotüpler eklendiğinde sıvı kristallerin tekstürlerinde fark edilebilir bir değişme görülmemiştir. Sıvı kristallerin faz geçiş sıcaklıkları limit değerler arasında kalmıştır [Kaya ve ark., 2012].

## 6. MATERYAL VE METOT

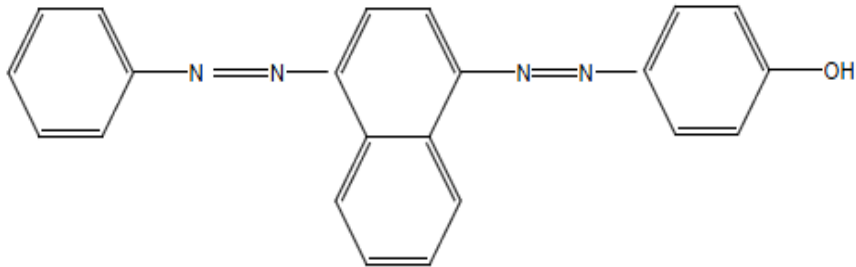
### 6.1. Araç ve Gereçler

#### 6.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler

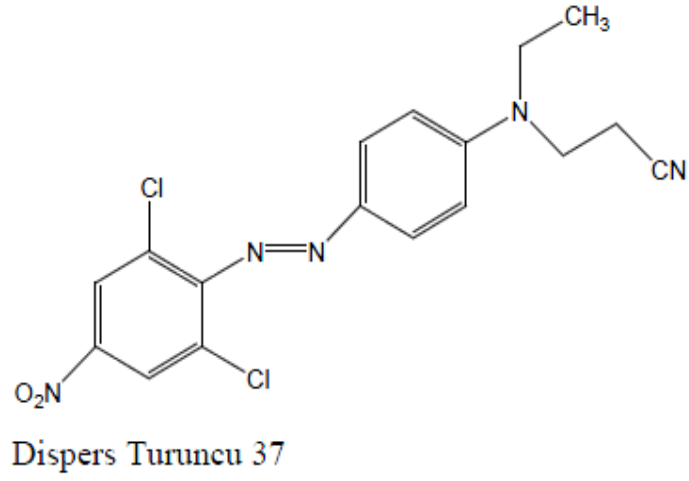
Bu çalışmada Dispers Turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddeleri kullanılmıştır. Kullanılan tüm boyarmaddeler Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır. Sıvı kristal olarak Merck firmasından temin edilen ZLI-1132 kullanılmıştır. Çözünürlük tayininde kullanılan aseton da Merck firmasından satın alınmıştır. Düzen parametresinin tayin edildiği planar yönelime sahip hücreler ise ForeSea Technologies firmasınca hazırlanmıştır. Boyarmaddelerin yapıları Şekil 6.1'de, sıvı kristalin yapısı ise Şekil 6.2'de görülmektedir.



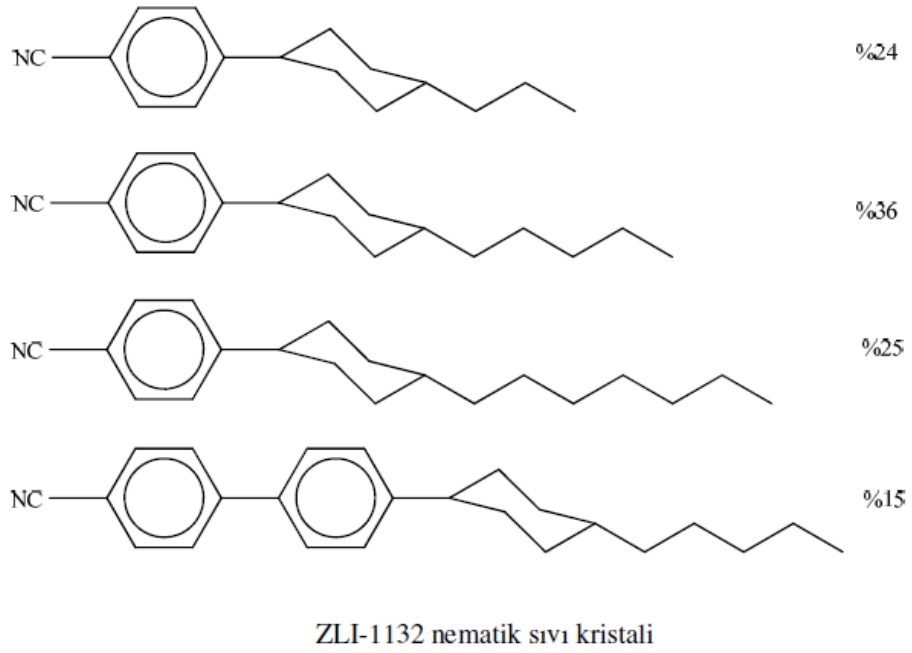
Dispers Turuncu 11



Dispers Turuncu 13



Şekil 6.1. Dispers turuncu boyarmaddelerin moleküler yapıları



Şekil 6.2. Kullanılan nematik sıvı kristalin moleküler yapısı

### 6.1.2. Kullanılan cihazlar

- Boyarmaddelerin çözünürlük tayinlerine dayalı absorpsiyon spektrumları ile düzenlilik parametresinin belirlendiği absorbans ölçümleri Perkin Elmer Lambda 900 UV-VIS-NIR cihazı ile tayin edildi.
- Numunelerin çalkalama işlemi Memmert marka su banyosu ile gerçekleştirildi.
- Çözünürlük tayininde gerçekleştirilen ayırma işlemleri için Eppendorf marka 14500 devir/dakika'lı santrifüj cihazı kullanıldı.
- Numunelere ait tekstürler (desenler) Linkam marka ısıtma-soğutma tablasına sahip Leica (DFC 280) marka polarize mikroskop ile elde edildi.

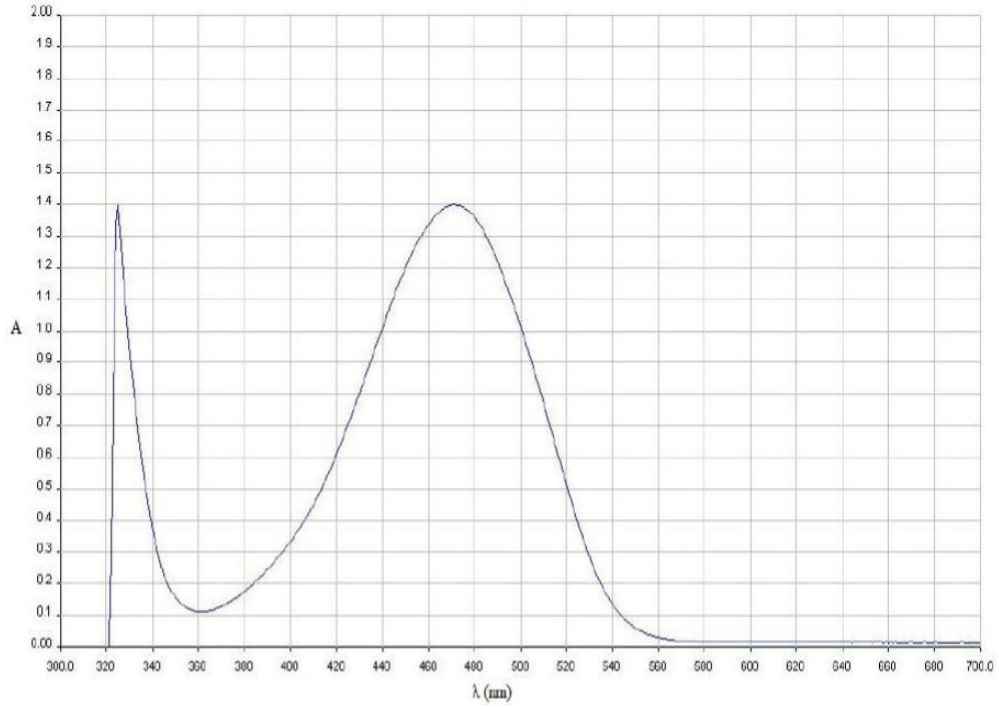
## 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 7.1. Boyarmaddelerin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüklerinin Belirlenmesi

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında Dispers Turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddelerin ZLI-1132 sıvı kristali içerisindeki çözünürlüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

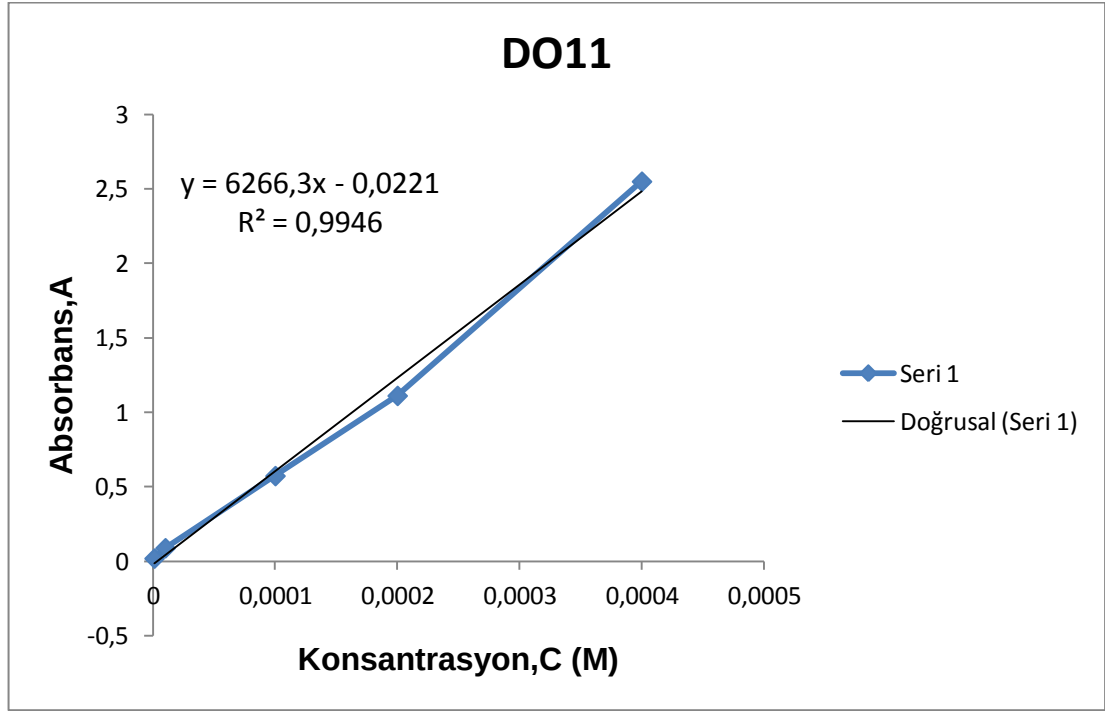
Her bir boyarmadde için  $10^{-2}$ ,  $5 \times 10^{-4}$ ,  $4 \times 10^{-4}$ ,  $2 \times 10^{-4}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  M derişimlerde standart çözeltiler hazırlanmıştır. Bu standart çözeltilerin hazırlanması sırasında çözücü olarak aseton kullanılmıştır.

Hazırlanan çözeltiler kullanılarak, UV-Visible-NIR spektrofotometre cihazı ile 300-700 nm arasında 1 nm' lik dalga boyu aralıklarıyla tarama yapıp absorbansları ölçülmüş ve her bir boyarmadde için maksimum absorpsiyonun gerçekleştiği dalga boyu belirlenmiştir. Şekil 7.1' de aseton içerisinde çözünmüş Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait absorbans (A) - dalga boyu ( $\lambda$ ) grafiği verilmiştir, diğer boyarmaddelere ait grafikler Ek-1' de yer almaktadır.



Şekil 7.1. Aseton içinde çözülmüş Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait A- $\lambda$  grafiği

Konsantrasyonu bilinen standart çözeltilerin absorbans değerleri her bir boyarmadde için belirlenen bu dalga boyunda çalışılarak ölçülmüştür. Konsantrasyon değerine karşılık okunan bu absorbans değerleri kullanılarak, her bir boyarmadde için kalibrasyon grafikleri hazırlanmıştır. Şekil 7.2' de Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği verilmiştir, diğer boyarmaddelere ait kalibrasyon grafikleri Ek- 2' de yer almaktadır.



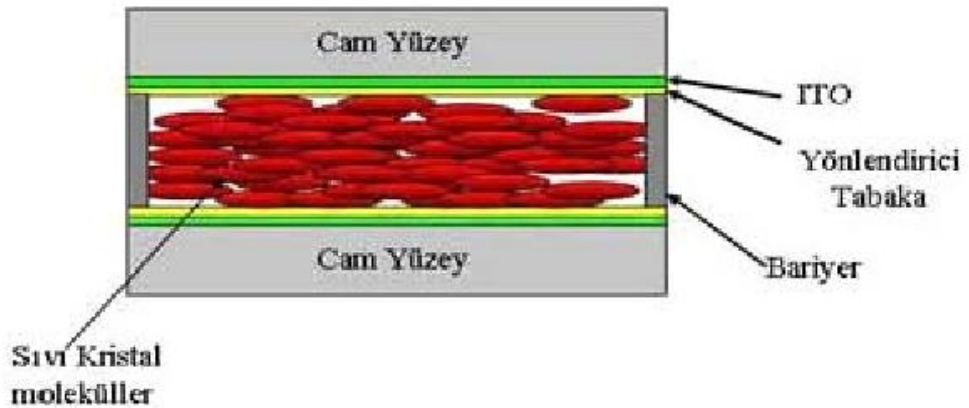
Şekil 7.2. Aseton içinde çözünmüş Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği

Daha sonra boyarmaddelerin sıvı kristalde içerisindeki çözünürlükleri belirlenmiştir. Sıvı kristal olarak; esas itibariyle siyano-fenilsikloheksan bileşenlerinden oluşan alkilsikloheksilsiyanoobenzen ve alkilsikloheksilsiyano-bifenilin ötektik karışımı olan, pozitif dielektrik anizotropiye sahip ZLI-1132 kullanılmıştır [Çağıl ve ark., 2011]. Yaklaşık olarak kütlece % 5 oranında boyarmadde ihtiva edecek şekilde hazırlanan sıvı kristal–boyarmadde karışımları (1 g SK + 0,05 g boya) Eppendorf marka santrifüj cihazında kullanılabilen 1,5 mL’lik santrifüj tüplerine konulmuştur. Bu karışımlar 20°C’ de Memmert marka su banyosunda 18 saat süre ile çalkalama işlemine tabii tutulmuş ve boyarmaddenin sıvı kristal içerisinde çözünmesi sağlanmıştır. 18 saat sonunda karışım içerisinde çözünmeden kalan boyarmadde 14500 devir/dakika’ da 20 dakika santrifüjlenerek ayrılmıştır. Sıvı kristal içerisinde çözünmeden kalan kısım aseton içerisinde çözülmüş ve UV-Visible-NIR spektrofotometre cihazı ile çözeltilerin absorbansları, uygun seyreltmeler yapılarak önceden belirlenen dalga

boylarında ( $\lambda$  max.) ölçülmüştür. Bu absorbans değerine karşı gelen konsantrasyon değeri kalibrasyon doğrusundan bulunmuş ve 20°C' de her bir boyarmaddenin ZLI-1132 sıvı kristali içerisindeki çözünürlük yüzdeleri hesaplanmıştır [Iwanaga ve ark., 2000; Thote and Gupta, 2004]. Örnek hesaplama Ek-3'te verilmiştir.

## 7.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerlerinin Belirlenmesi

Y-H tipi sistemlerde boya etkinliğini değerlendirmede ana kriterlerden biri olan düzen parametresi polarizör donanımlı UV spektrofotometre cihazı yardımıyla her bir boyarmadde için ayrı ayrı belirlenmiştir. Öncelikle sıvı kristalde en az çözünen boyanın çözünürlük yüzdesi baz alınarak boyaların hepsinden ZLI-1132 sıvı kristali içerisinde kütlece % 0,2'lik ve aynı zamanda çözünürlüğü yüksek olan boyalardan da kütlece % 1'lik olacak şekilde iki grup numune hazırlandı. Hazırlanan numuneler oda sıcaklığında yaklaşık 18 saat çalkalamalı banyoda bekletilmiştir. Daha sonra hazırlanan numuneler 25 mm<sup>2</sup> 'lik aktif alanı mevcut olan 5µm kalınlığındaki planar yönlenime sahip sıvı kristal hücrelere kapiler yöntem tekniği ile doldurulmuştur. Şekil 7.3 kullanılan sıvı kristal hücrenin kesit görüntüsüdür.



Şekil 7.3. Sıvı kristal ile doldurulmuş planar yönlenime sahip bir hücrenin kesiti

Hazırlanan hücrelerin düzen parametre değerlerinin belirlenmesinde çift polarizörlü spektrofotometrik yöntemler kullanıldı [Çağıl ve ark., 2011; Kaya, 2012]. Daha önce yapılan çalışmaların ışığında [Matsui ve ark., 1999] numunenin ön kısmına polarizör yerleştirildi. Referans hücre için kullanılan polarizör de referans hücrenin ön kısmına konuldu. Önce hücrelere paralel, sonra da dik olacak konumda polarizörler ayarlanarak absorbans ölçümleri gerçekleştirildi [Erel, 2012].

### **7.3. Numunelere Ait Tekstürlerin Eldesi**

Linkam marka ısıtma-soğutma tablalı Leica marka polarize mikroskop kullanılarak, katkısız sıvı kristal ile boya katkılı sıvı kristal numunelerin ısınma ve soğuma işlemleri sırasındaki nematik-izotropik faz geçişlerinin gözlemlendiği sıcaklıklar belirlenmiş ve bu sıvı kristal sıcaklık aralığında görüntüler (tekstürler) elde edilmiştir. Elde edilen tekstürlerde faz dönüşümlerinin gerçekleştiği anda domain yapıların oluşumu ve sıcaklıkla birlikte bu yapıların gözden kaybolarak, yapının saydam hale gelişi görüntülenmiştir. Polarize mikroskopta 20-100°C sıcaklık aralığında çalışılarak, ısıtma-soğutma işlemi sırasında katkısız sıvı kristallerin ve boya katkılı sıvı kristal numunelerin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları ve tekstürleri elde edilmiştir. Çalışılan katkılı ve katkısız sıvı kristal malzemelerin berraklaşma noktaları belirlenerek, boya katkısının buna etkisinin olup olmadığı değerlendirilmiştir.

## 8. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 8.1. Boyarmaddelerin Çözünürlükleri

Boyarmaddelerin çözünürlük tayinleri literatürde yapıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir [Iwanaga ve ark., 2000; Kaya ve ark, 2012]. Literatürde en fazla 10000 devir/dakikalık santrifüj hızı gözlenirken, yapılan deneysel çalışmada 14500 devir/dakika hız ile santrifüj işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözünürlük değerleri ise literatürdeki gibi sıvı kristal içerisinde çözünmeden kalan boyarmadde miktarı üzerinden saptanmıştır.

Boyarmaddeler için ZLI-1132 sıvı kristal içerisindeki çözünürlük değerleri ve bu değerlerin belirlenebilmesi için kullanılan deneysel veriler Çizelge 8.1' de görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu boyarmaddeler için elde edilen ayrıntılı deney verileri, çalışma şartları ve örnek hesaplama Ek-3' de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Boyarmaddeler için deneysel veriler ve çözünürlük değerleri

| Boyar maddeler | Başlangıçtaki boyarmadde miktarı (g) | Seyreltik çözelti için absorbands | Çözünen boyarmadde miktarı (g) | Çözünürlük (% m/m) |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| DT 11          | 0,05                                 | 0,30295                           | 0,004                          | 0,38               |
| DT 13          | 0,0503                               | 1,6594                            | 0,0283                         | 2,6                |
| DT 37          | 0,0527                               | 1,2603                            | 0,0027                         | 0,26               |

Yolcu-Hancı (Y-H) tipi sıvı kristal göstergelerin optimum parametreleri; boyaların dikroik özelliklerine, sıvı kristaldeki çözünürlüklerine ve değişik ortamlardaki kararlılıklarına bağlıdır [Chen ve Swager, 2007]. Y-H sistemlerinde genellikle yüksek çözünürlüğe, mükemmel foto kararlılığa ve renk tonuna sahip olan azo ve antrakinin boyalar ile bu boyaların karışımları kullanılmaktadır. Bu nedenle deneysel çalışmalarda kullanılacak boyarmaddelerin tamamı azo ve antrakinin yapıda seçilmiştir [Bahadır, 1992; Iwanaga ve ark., 2000].

Çözünürlük sonuçları incelendiğinde en yüksek çözünürlük değerine DT 13 boyasının sahip olduğu görülür. DT 13 boyası bisazo yapıya sahiptir. Bisazo yapılı boyarmaddelerin çözünürlükleri benzer yapılı boyalara göre daha yüksektir [Matsui ve ark., 1999]. Sıvı kristal ile içerisinde çözünmüş halde bulunan boya molekülleri arasında meydana gelebilecek hidrojen bağı, boyarmaddenin sıvı kristal içerisindeki çözünürlüğünü arttırmaktadır. Hidrojen bağı oluşumu, sıvı kristal ile dikroik boya yapısındaki iki fonksiyonel grup arasında hidrojen atomunun ortak kullanımıyla mümkün olabilmektedir. DT 13 boyarmaddesinin yapısındaki hidroksi (-OH) fonksiyonel grubu ile ZLI-1132 sıvı kristalinin yapısındaki siyano (-CN) grubu arasında hidrojen bağı oluşumu mümkün olmaktadır. Bu da sıvı kristal ile boya molekülleri arasındaki elektrostatik etkileşimleri arttırarak, boyarmaddelerin çözünmelerini kolaylaştırmaktadır [Naito ve Iwanaga, 1998]. Antrakinin yapılı DT 11 boyasının çözünürlüğünün antrakinin boyalar için iyi kabul edilen çözünürlük değeri olan %1,5'un altında kaldığı görülmektedir ama bu değer sıvı kristal sistemler için öngörülen çözünürlük değeri aralığındadır. [Pellatt, 1980]. DT 37 boyasının çözünürlüğünün düşük çıkması uçlardaki fonksiyonel gruplar ve bunların fazlalığı nedeniyledir. Uç bileşenlerin sayısı arttıkça yapısal kararlılık da artmakta ve çözünürlük değeri azalmaktadır [Iwanaga, 1998; Iwanaga ve ark., 1998; Grabchev ve ark., 2000]. Literatürde verilen bilgiler doğrultusunda DT 37 boyasının holografik çalışmalara uygun olduğu sonucuna varılmıştır [San ve ark., 2005; Kayacan ve ark., 2007; Köysal, 2007; San, 2008; Köysal, 2009]. Çözünürlükte hidrojen bağının yanı

sıra etkili olan en önemli faktör yapısal benzerliktir. Antrakinonlara kıyasla azo boyaların yapıları sıvı kristal moleküle daha benzer olup, mesojenik özellikleri de antrakinonlardan daha iyidir [Jia ve ark., 2003].

## 8.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerleri

Boyarmaddelere ait düzen parametre değerleri incelendiğinde, en yüksek düzen parametre değeri 0,56 olarak belirlendi. Bu değer Dispers Turuncu 37 boyarmaddesine aittir (Çizelge 8.2). Dispers Turuncu 37 dışındaki numunelere ait S değerlerine bakıldığında, değerlerin (0,34 ve 0,15) bu boyarmaddenin S değerine göre daha düşük olduğu görülmektedir ki bu da Y-H sistemlerinin düzen parametre değerlerinin boyarmaddenin moleküler yapısından etkilendiğini göstermektedir [Ghanadzadeh ve ark., 2007; Akkurt, 2009].

Çizelge 8.2. Çalışılan boyarmaddelere ait düzen parametre değerleri

| Boyarmaddeler | Düzen Parametre değeri<br>(S) |
|---------------|-------------------------------|
| DT 11 (%0,2)  | 0,34                          |
| DT 13 (%0,2)  | 0,15                          |
| DT 13 (%1,0)  | 0,03                          |
| DT 37 (%0,2)  | 0,56                          |

Boya katkılı sıvı kristal malzemelerde düzen parametre değeri 0,3 ile 0,9 arasında değişen değerler alabilmektedir. İyi bir kontrast elde edebilmek için de S değerinin mümkün olduğunca yüksek olması gerekmekte olup, uygulama tarzına bağlı olarak 0,4-0,6 arasında değişen düzen parametre değerleri yeterli görülebilmektedir [Fiksinski ve ark., 1991]. Düşük düzenlilik parametre değerleri ise anizotropik matris içerisinde boya moleküllerinin

yönlenmelerinin tamamlanmadığını ya da elektronik geçişlerin boyaların uzun moleküler eksenlerine paralel olmadığını göstermektedir [Kaya, 2010].

Yapılan çalışmada en yüksek düzen parametre değerinin azo yapılı DT 37 boyarmaddesinde ( $S=0,56$ ) elde edildiği görülmüştür. Azo boyalar genellikle yüksek çözünürlük ve düzen parametre değerleri ile ön plana çıkmaktadır. [Ivashchenko, 1994]. Boyaların moleküler uzunluğu ve genişliği düzen parametresini etkileyen temel faktördür. Farklı boy/en oranına sahip boyalar aynı sıvı kristal matris içerisinde farklı düzen parametre değerlerine sahiptirler. Literatürde yapılan çalışmaların bazıları boya molekülünün uzunluğu arttıkça yani boy/en oranı arttıkça, düzen parametre değerinin de arttığını göstermiştir [Bahadur, 1992]. DT 37 boyarmaddesinde boy/en oranının artmasıyla  $S$  değeri diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen bu yüksek düzen parametre değeri boya moleküllerinin sıvı kristalin uzun moleküler eksenini boyunca birbirlerine paralel yönde çok iyi sıralandığını ve aralarında kuvvetli etkileşimlerin olduğunu göstermektedir. DT 11 boyarmaddesinin düzen parametre değeri ( $S=0,34$ ) çok yüksek olmamakla birlikte sıvı kristal sistemler için öngörülen aralıktadır. DT 13 boyarmaddesinin yapısındaki -OH grubu ile sıvı kristalin (ZLI-1132) yapısındaki -CN grubu arasındaki hidrojen bağı nedeniyle yüksek düzen parametresi beklenirken, en düşük değerin bu boyarmaddede görülmesi ilginç bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Bu durum Y-H sistemlerinin düzen parametre değerlerinin boyarmaddenin moleküler yapısından etkilendiğini göstermektedir [Akkurt, 2009].

Sıvı kristal karışımların düzen parametre değerleri, boyarmaddelerin moleküler yapısına; sıvı kristal ile boyarmadde arasında oluşması muhtemel hidrojen bağı sayısına ve bu bağı kararlılığına; boya molekülünün boy/en oranına; boyarmaddenin yapısındaki uç bileşenlerin türü, sayısı ve pozisyonuna; nematik sıvı kristaldeki alkil ve/veya alkoksi gruplarının oranına; nematik yapı ile boyarmadde arasındaki yapısal benzerliğe; moleküller arası etkileşimlerle konjuge yapının sürekliliğinin sağlanmasına

veya boyarmaddelerde gerçekleşebilecek molekül içi etkileşimlere bağlı olarak farklı değerler alabilmektedir. Bu nedenle bir boyarmaddenin düşük ya da yüksek çıkan düzen parametre değeri irdelenirken, tüm bu etkenlerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bulunan sonucu tek bir nedene dayandırmanın hata getireceği unutulmamalıdır [Kaya, 2010].

### 8.3. Numunelere Ait Tekstürler

Polarize mikroskopta incelenen sıvı kristal maddeler, ilk izotropik sıvı damlacığının görüldüğü sıcaklıkta ( $T_N$ ) nematik yapıyı kaybetmeye başlamakta ve bulanık görünümlü bir sıvıya dönüşmektedir. Sıcaklık biraz daha arttırıldığında ikinci bir faz geçiş noktasına ulaşılır ki bu geçiş noktasında son izotropik sıvı damlacığı ile nematik yapının tamamen kaybolduğu görülür. Bu sıcaklık berraklaşma (durulanma) sıcaklığı ( $T_I$ ) olarak isimlendirilmektedir. ( $T_I-T_N$ ) sıvı kristal fazın termodinamik olarak kararlı olduğu sıcaklık bölgesini tanımlar.  $\Delta T_N$  ise katkılı sıvı kristalin  $T_N$  değerinin, katkısız sıvı kristalin  $T_N$  değerine göre değişimini ifade etmektedir.  $\Delta T_I$ ; katkılı sıvı kristalin  $T_I$  değerinin, katkısız sıvı kristalin  $T_I$  değerine göre değişimini ifade eder.  $T_{NI}$  sıcaklığı ise katkılı sıvı kristal karışımları için ortalama berraklaşma (durulanma) sıcaklığını ya da ortalama nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığını belirtmektedir [ $T_{NI}=(T_I+T_N)/2$ ].  $\Delta T_{NI}$  sıcaklığı da katkılı sıvı kristal karışımları için ortalama berraklaşma sıcaklığının, katkısız sıvı kristalin ortalama berraklaşma sıcaklığına göre değişimini vermektedir (Çizelge 8.3). Her bir boyarmadde için belirlenen bu  $\Delta T_{NI}$  sıcaklığı dikkate alınarak, çalışılan boyarmaddelerin Y-H sistemleri için uygun olup olmadığına karar verilebilmektedir [Şen, 2010; Grabchev ve ark., 2003].

Çizelge 8.3. Boya Katkılı ZLI-1132 sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları( °C)

|                                 | $T_N$ | $T_I$ | $T_I - T_N$ | $\Delta T_N$ | $\Delta T_I$ | $T_{NI}$ | $\Delta T_{NI}$ |
|---------------------------------|-------|-------|-------------|--------------|--------------|----------|-----------------|
| <b>ZLI-1132</b>                 | 72,5  | 75,2  | 2,7         | -            | -            | 73,85    | -               |
| <b>DT11+ZLI-1132</b><br>(% 0,2) | 72,4  | 76,2  | 3,8         | -0,1         | +1,0         | 74,3     | +0,45           |
| <b>DT13+ZLI-1132</b><br>(% 0,2) | 72,8  | 75,3  | 2,5         | +0,3         | +0,1         | 74       | +0,15           |
| <b>DT13+ZLI-1132</b><br>(% 1)   | 72,4  | 75,2  | 2,8         | -0,1         | +0,0         | 73,8     | -0,05           |
| <b>DT37+ZLI-1132</b><br>(% 0,2) | 72,3  | 75,9  | 3,6         | -0,2         | +0,7         | 74,1     | +0,25           |

Çizelgeden elde edilen sonuçlara göre sıvı kristale boya ilave etmenin saf sıvı kristalin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının artmasına ya da azalmasına sebep olduğu görülmüştür. Nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki değişimlerin; boya molekülünün şekline ve büyüklüğüne, sıvı kristal içerisindeki boya derişimine ve sıvı kristal ile boya molekülü arasındaki etkileşimlere bağlı olduğu bilinmektedir [Bauman ve Moryson, 1997]. Bu değişim negatif yönde olabileceği gibi pozitif yönde de olabilir. Yani ortalama nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki fark (  $\Delta T_{NI}$  ) artabilir veya azalabilir. Buna göre  $\Delta T_{NI} \geq -1,4^\circ\text{C}$  olmak üzere kullanılacak tüm katkılar (boyarmadde, nanotüp vb.), sıvı kristalin nematik fazında dengenin korunmasını ve nematik fazın kararlılığının bozulmamasını sağlayabileceğinden Y-H sistemleri için uygundur denilebilir [Martynski ve ark., 1994]. Bu yönüyle incelendiğinde kullanılan boyarmaddelerin tamamının  $\Delta T_{NI}$  değerinin  $-1,4^\circ\text{C}$  den daha küçük olmamasından ötürü çok düşük aralıkta sebep oldukları bu değişimlerin nematik fazın kararlılığı üzerine

olumsuz etkilerinin olmayacağı sonucuna varılmıştır [Grabchev ve ark., 2000]. Literatürde yüksek düzen parametre değerine sahip olan boyaların faz geçiş sıcaklığını ya çok az miktarda düşürdüğü ya da tam tersi artışa neden olduğu belirtilmiştir [Kaya, 2010].

Polarize mikroskop ile yapılan tayinlerde faz geçiş sıcaklıklarıyla birlikte tekstürler de elde edilmiştir. Dispers Turuncu 11 boyarmadde katkılı sıvı kristale ait tekstür Resim 8.1’de verilmiş olup saf sıvı kristal ve diğer numunelere ait resimler Ek-4 bölümünde yer almaktadır. Bu görüntülerin tamamı incelendiğinde, tekstürlerin literatürdekiler ile benzer olduğu sonucuna ulaşılmıştır [Dierking, 2003].

**32,3°C**



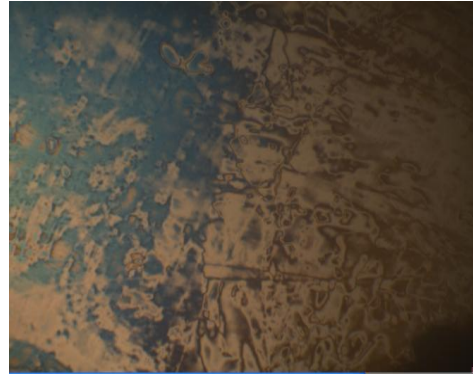
**62,8°C**



**70,9°C**



**72,4°C**



Resim 8.1. DT 11 katkılı ZLI-1132 sıvı kristaline ait farklı sıcaklıklardaki tekstürler

73,7°C



76,2 °C



Resim 8.1. (Devam) DT 11 katkılı ZLI-1132 sıvı kristaline ait farklı sıcaklıklardaki tekstürler

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında dispers turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddelerinin Y-H sistemlerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda, kullanılan boyarmaddelerin; sıvı kristal içerisindeki çözünürlükleri, düzen parametre değerleri, faz geçiş sıcaklıkları ve tekstürleri incelenerek Y-H tipi göstergelerde kullanılabilirliği araştırılmış ve analiz sonuçları birlikte değerlendirilerek bu tür sıvı kristal göstergelerde kullanılıp kullanılamayacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Çözünürlük değerleri incelendiğinde en yüksek çözünürlük değeri bisazo yapılı DT 13 boyasına aittir ve Y-H sistemlerinde kullanılabilmesi için yeterli çözünürlüğe sahiptir. Düşük çözünürlüğe sahip olan boyarmaddeler ise Y-H tipi göstergeler için uygun olmasa da holografik ve benzeri bazı çalışmalarda kullanılabilmektedir. Y-H tipi sistemlerde boya etkinliğini belirlemede ana kriterlerden biri düzen parametresidir. En yüksek düzen parametre değerine azo yapılı DT 37 boyarmaddesinde ( $S=0,56$ ) ulaşılmıştır. Bu değer sıvı kristal göstergeler için literatürde öngörülen değerle uyumlu olduğu görülmektedir. Polarize mikroskop ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre nematik sıvı kristale boya ilave etmenin katkısız sıvı kristalin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının artmasına ya da azalmasına sebep olduğu görülmüş ve nematik fazın kararlılığı üzerine olumsuz etki göstermemiştir.

Bu çalışma boya katkısına ilaveten sıvı kristallerde moleküler yönlenmeyi arttırmak amacıyla karbonnanotüplerin katkı maddesi olarak kullanılmasıyla tekrarlanabilir. Farklı kalınlıklarda sıvı kristal hücreler kullanılabilir. Boyarmadde ve karışımları negatif dielektrik anizotropiye sahip bir sıvı kristalde çalışılabilir.

## KAYNAKLAR

Aldanma, T., “Lazerin polimer, boya maddesi ve karbon tanecikleri katkılandırılmış sıvı kristallerin dielektrik anizotropi özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 1-15 (2007).

Altındış, H., “Dispers turuncu boya katkılı nematik sıvı kristallerin yocu-hancı tipi sistemlerde uygulanabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 43-62 (2012).

Akar, B., “Nematik sıvı Kristallerin Tek Duvarlı Karbonnanotüplerin Yönlendirilmesinde Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, 4-24 (2006).

Akbaş, M., “4'-(Hekziloksi)-4-Bifenilkarbonitril ve 4-İzotiyosiyanatofenil 4-Pentilbisiklo [2.2.2] Oktan-1-Karboksilat Sıvı Kristal Numunelerinin ve Karışımlarının Dipol Momentlerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kilis, 3-12 (2011).

Akkurt, F., “Dispers turuncu boya ve karbon nanopartikül katkılı nematik sıvı kristallerin karakterizasyonu ve uygulanabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-60 (2009).

Babacan, V., “Poli(Etilen Tereftalat), 4-Hidroksifenilasetik asit ve asetoksibenzoik asitle termotropik sıvı kristal kopolimerlerin sentezi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 7-34 (2008).

Bahadur, B., “Liquid Crystals: Applications and Uses”, Volume: 1-3, **World Scientific Publishing Co.**, Singapore, 71-182 (1992).

Bamfield, P., “Chromic Phenomena: Technological Applications of Colour Chemistry”, RSC, Cambridge, 305-322 (2001).

Bauman, D. and Moryson, H., “Guest-host interactions in dichroic dye-liquid crystal mixtures in smectic A and nematic phases”, **Journal of Molecular Structure**, 404: 113-120 (1997).

Bulut, M. O., Akçalı, K., “Reaktif boyarmadde ile boyanmış-basılmış tekstil ürünlerinde yumuşatma işlemi sonrası meydana gelen renk değişimi problemleri”, **Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Müh. Bölümü**, Isparta (2010).

Canbulat, M., “Bazı Antrakinon Boyarmaddelerin Sentezlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 7-11 (2006).

Chen, Z., Swager, T.M., “Synthesis and Characterization of Fluorescent Acenequinones as Dyes for Guest-Host Liquid Crystals Displays”, **Organic Letters**, 9(6): 997-1000 (2007).

Coşkun, B., “Sıvı kristallerin elektro-optik ve faz geçişi özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 3-4 (2007).

Çağıl, D., Kaya, N., Alıcılar, A., “Y-H tipi sıvı kristal sistemlere karbon nanotüp ilavesinin moleküler yönelme ve faz geçişi üzerine etkileri”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 26(1): 213-221 (2011).

Çanakçı, D., “Azo boyarmadde polimerlerinin ve metal komplekslerinin sentezi ve tekstil boyacılığında kullanılabilirliğinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 1-2 (2010).

Çelik, M.E., “1,3-dimetilbarbitürik asit ile bazı heterosiklik ve karbosiklik aminlerden azo boyarmaddelerin sentezi ve spektroskopik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 7 (2007).

Değirmenci, M., “Sıvı Kristal Polimerler”, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Semineri, Elazığ, 58 (1996).

Deveoğlu, O., Karadağ, R., “Genel Bir Bakış: Doğal Boyarmaddeler”, **Marmara üniversitesi fen bilimleri dergisi**, 23(1): 21 - 32 (2011).

Dierking, I., “Textures of Liquid Crystals”, **Wiley-VCH**, Weinheim, 33-36, 178 212 (2003).

Emek, M., “Faz dönüşümlerinin nematik sıvı kristallerin elektrooptik özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 2-35 (2007).

Epik, H., “Nematik ve Simektik Fazlarda Işık Transmisyonu”, **Ege Üniversitesi**, Yüksek Lisans Tezi, (1995).

Erel, M.S., “Bazı kloro ve amino antrakinon yapılı boyarmaddelerin Y-H tipi sıvı kristal sistemlerde kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2012).

Eren, H., Çelik N., Bilen K., “Sıvı Kristal Tekniğinin Isı Transferi Uygulamalarında Kullanılması”, **Mühendis ve Makina**, 43(512):30-36 (2002).

Eser, H. M., "Karbon nanotüp-sıvı kristal karışımlarının elektriksel özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, 6-29 (2006).

Fiksinski, K., Bauman, D., Skibinski, A. and Stolarski, R., "Fluorescent dyes for guest-host applications", **Dyes and Pigments**, 15(3): 203-214 (1991)

Ghanadzadeh, A. and Beevers, M. S., "The low-frequency dielectric response of aligned supercooled nematic mixtures", **Journal of Molecular Liquids**, 94(2): 97-112 (2001).

Ghanadzadeh, A., Shahzamanian, M. A., Shoarinejad, S., Zakerhamidi, M.S. and Moghadam, M., "Guest-host interaction of some aminoazobenzene dyes doped in liquid crystalline matrix", **Journal of Molecular Liquids**, 136(1-2): 22-28 (2007).

Goodby, J.W., "Liquid Crystal Phase Transitions Differential Scanning Calorimetry and Optical Microscopy, The York Liquid Crystal Group, 2012

Gordon., P.F., Gregory., P. "Organic Chemistry in Color", **GDR Press**, Berlin, 22-45, 163-173 (1983).

Grabchev, I., Moneva, I., Bojinov, V. and Guittonneau, S., "Synthesis and properties of fluorescent 1,8-naphthalimide dyes for application in liquid crystal displays", **Journal of Materials Chemistry**, 10: 1291-1296 (2000).

Haaren, J.V. , "Liquid crystal Displays", Chapter 10, Handbook of Thin Film Devices, edited by Maurice H. Francombe, Volume 2: Semiconductor Optical and Electro-Optical Devices, **Academic Press**, 286-305 (2000).

Hallas, G., Waring, D.R., "The Chemistry and Application of Dyes", **Plenum Pres**, New York, 382-390 (1990).

Helfrich, W., and Heppke, G., "Liquid Crystal of One-and Two- Dimensional Order and Their Applications", **Springer Series on Chemical Physics**, New York, 268, (1980).

Hunger, K., "Industrial dyes-chemistry, properties and applications", **Wiley-VCH Verlag GmbH**, United States of America, 35-37, 178-180, 201-205 (2003)

Ivashchenko, A.V., "Dichroic Dyes for Liquid Crystal Displays 1st ed.", **CRC Press**, USA, 1-155 (1994).

Ivashchenko., A.V. "Dichroic Dyes for Liquid Crystal Display", **CRC Press**, Boca Raton, 1-11 (2002).

Iwanaga, H., Naito, K., Sunohara, K. and Okajima, M., "Coumarin and thiocoumarin dyes for guest-host type liquid crystal displays", **Bulletin of the Chemical Society of Japan**, 71(7): 1719-1723 (1998).

Iwanaga, H. and Naito, K., "Highly soluble anthraquinone dyes with CF<sub>3</sub>-groups for guest-host liquid crystal displays", **Japanese Journal of Applied Physics**, 37: L356- L358 (1998).

Iwanaga, H., Naito, K. and Effenberger, F., "Oligothiophene dyes for guest-host liquid crystal displays", **Liquid Crystals**, 27(1): 115-123 (2000).

Iwanaga, H., Naito, K., Aiga, F., "Properties of novel yellow anthraquinone dichroic dyes with naphthylthio groups for guest–host liquid crystal displays", **Journal of Molecular Structure**, 975: 110–114 (2010).

İçoğlu, H.İ., "Pamuklu dokunmuş kumaşların reaktif boyarmaddelerle boyanması ve uygulama yöntemlerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 31-38 (2006).

İnternet : Liquid Crystals

<http://relaxation.chemie.uni-due.de/lehre/7.6-LiquidCrystals.pdf>(2012)

İnternet : Proje 1: Azo ve azometin Boyarmadde Sentezi ve Katı ve sıvı fazdaki tautomerik yapılarının deneysel (X-ışını, UV-görünür bölge, IR, NMR gibi spektroskopik yöntemlerle) ve Teorik hesaplamalarla belirlenmesi.

<http://w3.gazi.edu.tr/~znseferoglu/project1.pdf>

İnternet : Chemical of the week, Shakhashiri, 2007

[http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/pdf/liquid\\_crystals.pdf](http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/pdf/liquid_crystals.pdf)(2007)

İnternet : Introduction to Liquid crystals

[http://barrett-group.mcgill.ca/tutorials/liquid\\_crystal/LC02.htm](http://barrett-group.mcgill.ca/tutorials/liquid_crystal/LC02.htm)(2012)

İnternet : Research at CMMPE, Materials, Introduction to Liquid crystals

<http://www.g.eng.cam.ac.uk/CMMPE/lcintro2.html>(2012)

İnternet : GYTE Organik ve Elektronik Araştırma Grubu, 2008

<http://www.polimerler.com/sivi%20kristaller/sivi%20kristaller.htm>(2008)

Jia, Y., Zhang, B., Feng, Z. and Guan, Y., "Synthesis and characterization of side chain liquid crystalline polymer containing dichroic dye monomer", **European Polymer Journal**, 39(8): 1701-1706 (2003).

Karaoğlu, M.H., Sulu çözeltilerden bazı boyarmaddelerin fizikokimyasal yöntemlerle giderimi", Doktora Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, 2-7 (2007).

Karapınar, R., “Termotropik Sıvı Kristallerde Işık Saçılması”, **Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Doktora Tezi, (1994).

Kaya, N., “Mavi- kırmızı boya ve karbon nanotüp katkılı nematik sıvı kristallerin karakterizasyonu ve uygulanabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 11-107 (2010).

Kaya, N., Akkurt, F., Alıcılar, A., “Alignment and reorientation in nematic liquid crystals doped with red dye and carbon nanotube”, **Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures**, 19(4):262-270, (2012).

Kayacan, O., San, S. E. and Okutan, M., “Temperature dependency of phase transitions in polymer-dispersed nematic liquid crystal mediums”, **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, 377(2): 523-530 (2007).

Kelly, S.M., and O'Neill, M., “Liquid Crystals for electro-optic applications”, Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices, edited by H.S. Nalwa Volume 7: Liquid Crystals, Display and Laser Materials, **Academic Press**, 4, (2000).

Khoo, I.C., “Liquid crystals physical properties and nonlinear optical phenomena”, **John Wiley & Sons**, 1-37, (1995).

Khoo I.C., “Nonlinear optics of liquid crystalline materials”, **Physics Reports** 47 1: 221-267, (2009).

Kılınçarslan, R., “Yeni bazı azoboyarmaddelerin metal komplekslerinin sentezi ve yapılarının aydınlatılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 5-27 (1999).

Koç, İ., “Sıvı kristalin ısı transferi uygulamalarında kullanılması”, **Havacılık ve Uzun Teknolojileri Dergisi**, 5(3): 61-65, (2012).

Köysal, O., San, S. E., Okutan, M. and Ozder, S., “Molecular reorientation based diffraction in a hybrid liquid system applicable for two different laser sources simultaneously”, **Dyes and Pigments**, 73(1): 65-68 (2007).

Köysal, O., “Azo boya ve fulleren (C60) katkılı nematik sıvı kristallerin elektrotik özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, (2007).

Köysal, O. ve San, S. E., “Effect on Response Time and Diffraction Efficiency of Co-usage Azo Dye and Carbon Nanoparticle in Nematic Liquid Crystal”, **Synthetic Metals**, 158: 527-531, (2008).

Köysal, O., Okutan, M., San, S. E., Nyokong, T. and Durmus, M., "Diffraction efficiency and I-V characteristics of metal-free phthalocyanine doped nematic liquid crystals", **Materials Chemistry and Physics**, 114(2-3): 815-820 (2009).

Kumar, S., "Liquid Crystals: Experimental Study of Physical Properties and Phase Transitions", **Cambridge University Pres**, Cambridge, (2001).

Kumar, P., Kang, S., Lee, S., Raina, K., "Analysis of dichroic dye-doped polymer-dispersed liquid crystal materials for display devices", **Thin Solid Films**, 520(1): (ISSN: 0040-6090) (2011).

Kuvet, M., "4'-(oktoloksi)- 4- bifenilkarbonitril ve 4'-(pentoloksi)- 4-bifenilkarbonitril sıvı kristal karışımların absorpsiyon ve floresans özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kilis, 3-14 (2011).

Loiko, V.A., Zyryanov, V.Ya., Maschke, U., Konkolovich, A.V., Miskevich, A.A., "Small-angle light scattering and transmittance of polymer film, containing liquid crystal droplets within homogeneous boundary conditions", **Journal of Quantitative Spectroscopy& Radiative Transfer**, (2012).

Lueder, E., "Liquid Crystal Displays: Addressing Schemes and Electro-Optical Effects", **John Wiley & Sons**, Chichester, 123-128 (2001).

Manohar, R., Pandey K. K., Srivastava A. K., Misra, A. K., Yadav, S. P., "Sign inversion of dielectric anisotropy in nematic liquid crystal by dye doping", **Journal of Physics and Chemistry of Solids** 71, 1311–1315, (2010).

Manohar, R., Misra, A. K., ve Srivastava A. K., " Modified dynamical equation for dye doped nematic liquid crystals", **Physica B**, 405 : 1964-1968 (2010).

Martynnski, T., Biadasz A., Bauman D., "Molecular organization in langmuir films of dichroic azo dye liquid crystal mixtures", **Z.Naturforsch**, 58:97-102 (2002).

Matsui, M., Shirai, K., Tanaka, N., Funabiki, K., Muramatsu, H., Shibata, K., Abe, Y. and Ohgomi, Y., "Synthesis of tris-, tetrakis-, and pentakisazo dyes and their application to guest-host liquid crystal displays", **Journal of Materials Chemistry**, 9(11): 2755-2763 (1999).

Naito, K. and Iwanaga, H., "Relation between molecular structures of dichroic dyes and their solubilities in fluorinated liquid crystals", **Japanese Journal of Applied Physics**, 37: 3422-3427 (1998).

Nesrullazade, A., "Sıvı Kristaller: Yapıları, Özellikleri, Uygulamaları", **Ege Üniversitesi Basım Evi**, İzmir, 436 (2000).

Ono, H., and Ito, M., "Characteristics of all-optical switching properties in a guest-host liquid crystal Fabry-Perot device", **Optics Communications**, 223: 399-409 (2003).

Özgan, Ş. ve Yazıcı, M., "Sıvı kristaller ve faz geçişleri", **KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi**, 6(2): 20-27 (2003).

Pekkuz, H., "Talasın yüzey özelliklerinin boyarmadde adsorpsiyonu ile belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Diyarbakır, 23-29 (2006).

Pellatt, M. G. and Roe, I. H. C., "Photostable anthraquinone pleochroic dyes", **Mol. Cryst. Liq. Cryst.**, 59: 299-316 (1980).

Priestley, E. B., Peter J. Wojtowicz, Ping Sheng, Introduction Liquid Crystals, **Plenum Press**, New York, ch. 1, (1975).

Sage, I., Ullmann's Encyclopedia, A 15 (1990).

Saint-Jalm S., Miniewicz A., Karpinski P., Jarek-Mikulska U., Galewski Z., "Photo-induced birefringence in a nematic liquid crystal mixture doped with light-switchable mesogenic azobenzene derivatives", **Journal of Molecular Liquids**, 168: 21-27 (2012).

San, S. E., "Boya katkılı nematik sıvı kristallerde optik nonlineariyenin kırınım ağı difraksiyonu yöntemi ile incelenmesi", Doktora Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, 1-36 (2002).

San, S. E., Okutan, M., Köysal, O. and Ono, H., "Dielectric properties of laserinduced conditions in a hybrid composite made by doping a side chain liquid crystalline polymer", **Journal of Non-Crystalline Solids**, 351(33-36): 2764-2767 (2005).

San, S. E., Köysal, O., Okutan, M. and Ecevit, F. N., "Diffraction efficiency and conductivity enhancement of nematic liquid crystals by doping star-like fullerenes", **Dyes and Pigments**, 76(1): 13-16 (2008).

Suleiman, Y. S., Ghosh, S., Abbasov, M. E. and Carlisle, G. O., "Optical properties of permanent gratings in liquid crystal doped with dye and carbon nanotube", **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, 19(7): 662-668 (2008).

Şen, E., "Kloro antrakininon yapılı boya ve karbon nanotüp katkılı nematik sıvı kristallerin karakterizasyonu ve uygulanabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-34 (2010).

Taner, T., “Katyonik Alkiltrimetilamonyum bromür surfaktantlar ile C.I. reactive orange 16 etkileşimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Edirne, 4-15 (2006).

Thote, A. and Gupta, R.B., “Hydrogen-bonding between a dichroic dye and a liquid crystal-forming molecule, for application to LCDs”, **Fluid Phase Equilibria**, 220: 47-55 (2004).

Towns, A.D., “Development in azo dyes derived from heterocyclic diazo components”, **Dyes and Pigments**, 42:3-28 (1999).

Uğur, S.Ş., “Polyesterin Dispers Boyarmaddelerle Boyama Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Tekstil Mühendisliği Anabilim dalı**, Isparta, 12-13 (2004).

Wang, Y.-J. and Carlisle, G.O., “Optical properties of disperse-red-1-doped nematic liquid crystal”, **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, 13: 173-178 (2002).

Williams, D., “Liquid crystals”, **Department of Physics, University of Texas-Arlington**, 1-27 (2009).

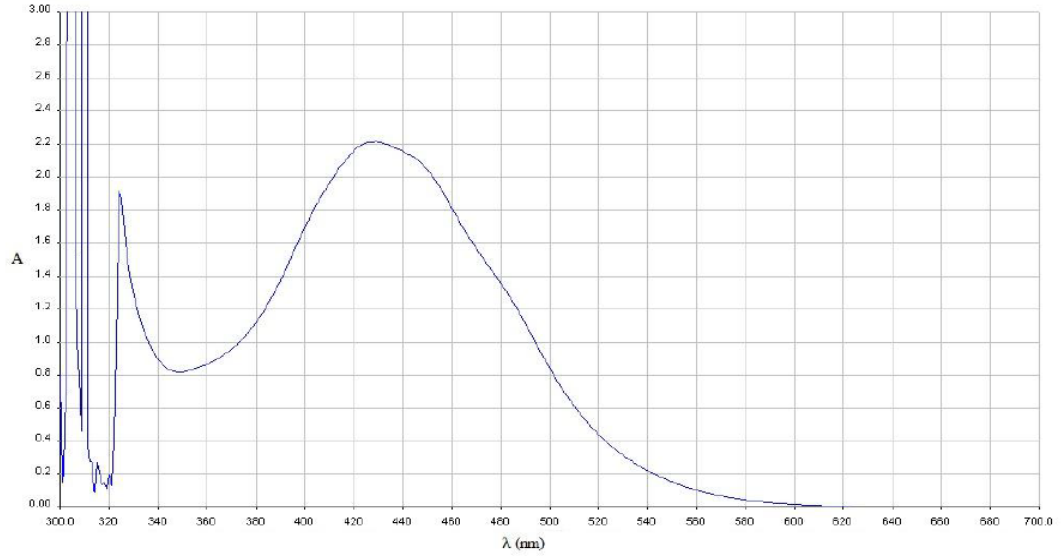
Yazıcı, Ö., Çakar, F., Cankurtaran, Ö., Eran Bilgin, B., Karaman, F., “Thermodynamic Interactions of 5-Decyloxy-2-[[[4-Hexyloxyphenyl]imino]methyl]phenol with various solvents”, **Journal of Engineering and Natural Sciences**, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Sigma 27, 39-48 (2009).

Yerlikaya, Z., “Aromatik termotropik sıvı kristal kopoliesterlerin sentezi ve karakterizasyonu”,Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 6,11,27, Ankara (2000).

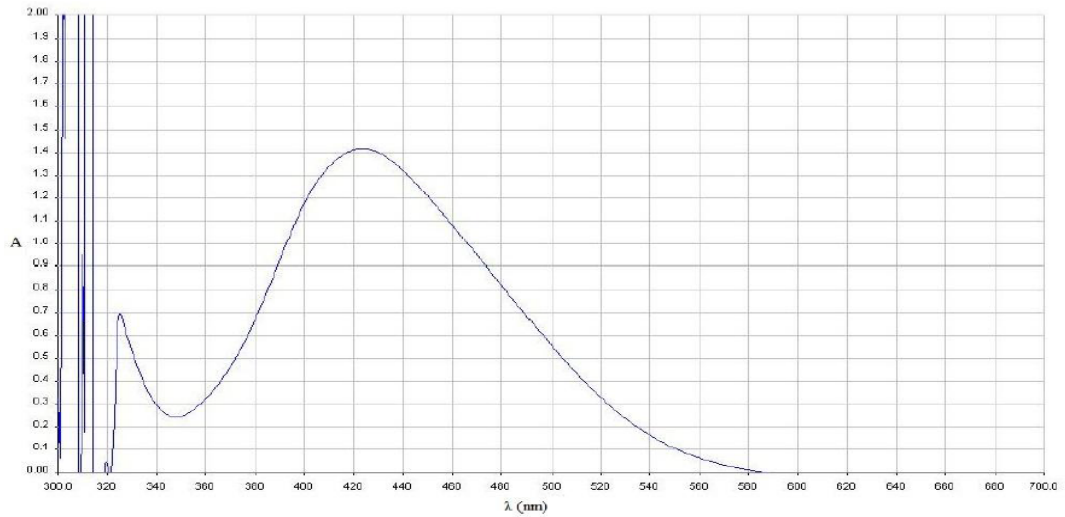
Yıldırım, A., “Tek ve Çift Eksenli Sıvı Kristallerde Isı İletim Katsayısı, Enerji ve Yoğunluğun Moleküler Dinamik Simülasyon İle Hesaplanması”,Doktora Tezi, **Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Şanlıurfa, 1-27 (2011).

**EKLER**

### EK-1. Boyarmaddelere ait absorpsiyon grafikleri

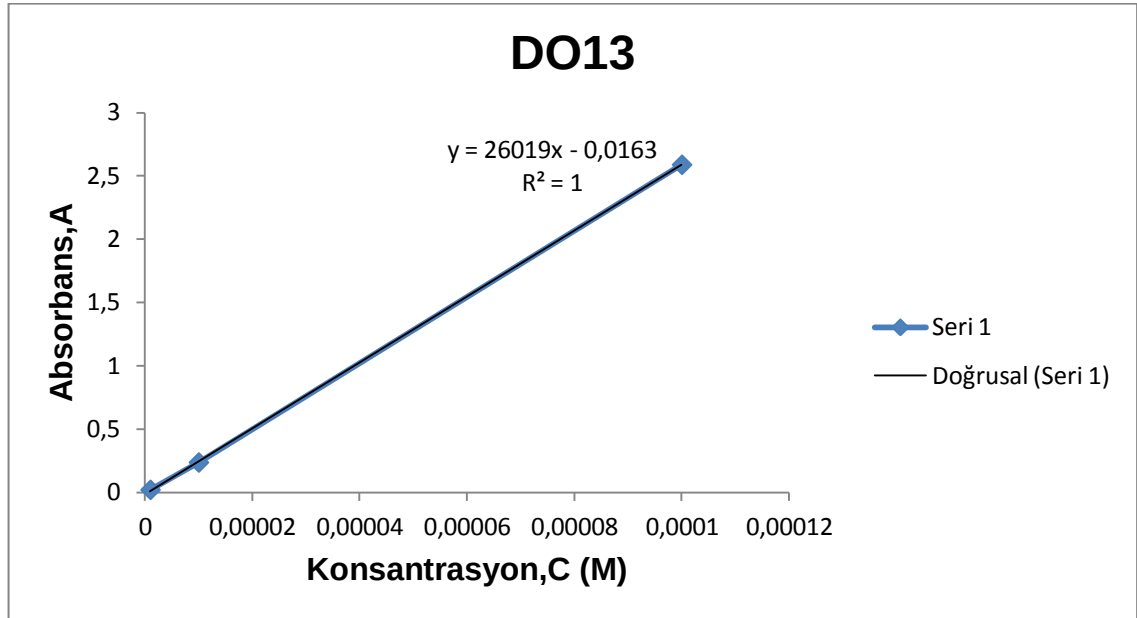


Şekil 1.1. Asetonda içinde çözülmüş Dispers Turuncu 13 boyarmaddesine ait A-λ grafiği

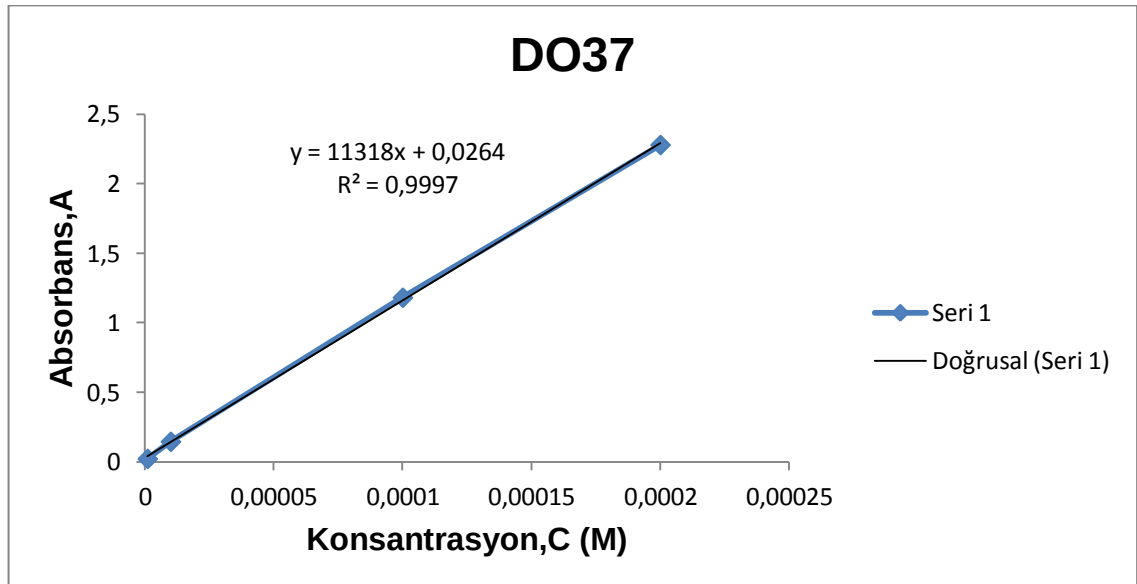


Şekil 1.2. Asetonda içinde çözülmüş Dispers Turuncu 37 boyarmaddesine ait A-λ grafiği

## EK-2. Boyarmaddelerin kalibrasyon grafikleri



Şekil 2.1. Aseton içinde çözülmüş Dispers Turuncu 13 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği



Şekil 2.2. Aseton içinde çözülmüş Dispers Turuncu 37 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği

EK-3 Boyarmaddelerin çözünürlük tayinleri için örnek hesaplama, ayrıntılı deney verileri ve çalışma şartları

### **Çözünürlük tayini için örnek hesaplama**

Çözünürlük tayini için yaklaşık olarak kütlece % 5 oranında boyarmadde ihtiva eden sıvı kristal-boyarmadde karışımları (1 g SK+ 0,05 g boya) hazırlanmıştır.

### **DT11'in ZLI-1132 sıvı kristali içerisindeki çözünürlük yüzdesinin belirlenmesi;**

Seyreltik çözelti için okunan absorbans değeri: 0,30295(471,37 nm) → C:  $5,18 \times 10^{-5}$  M (kalibrasyon grafiğinden okunan değer)

Kullanılan çözücü miktarı: 392 mL

Seyreltme oranı: 1/10

DT11'in molar kütlesi: 237,26 g

$$10 / 1 * (5 * 10^{-5} \text{ mol} / 1\text{L}) * (237,26 \text{ g} / 1\text{mol}) (1\text{L} / 1000 \text{ mL}) * 392 \text{ mL} = 0,046 \text{ g}$$

Çözünmeden kalan boyarmadde miktarı: 0,046 g

Başlangıçtaki boyarmadde miktarı: 0,05 g

Çözünen boyarmadde miktarı:  $0,05 - 0,046 = 0,004 \text{ g}$

Sıvı kristal miktarı: 1,0289 g

Çözünürlük= Çözünen boya kütlesi / (Çözünen boya kütlesi + Sıvı kristal kütlesi)

$$\text{Çözünürlük} = 0,004 / (0,004 + 1,0289) = 0,00387$$

Yüzde çözünürlük: 0,38

EK-3 (Devam) Boyarmaddelerin çözünürlük tayinleri için örnek hesaplama, ayrıntılı deney verileri ve çalışma şartları

**DT13'ün ZLI-1132 sıvı kristali içerisindeki çözünürlük yüzdesinin belirlenmesi;**

Seyreltik çözelti için okunan absorbans değeri: 1,6594 → C:  $6,4 \times 10^{-5}$  M  
(kalibrasyon grafiğinden okunan değer)

Kullanılan çözücü miktarı: 10 mL

Seyreltme oranı: 1/100

DT13'ün molar kütlesi: 352,4 g

$100 / 1 * (6,4 * 10^{-5} \text{ mol} / 1\text{L}) * (352,4 \text{ g} / 1\text{mol}) (1\text{L} / 1000 \text{ mL}) * 10 \text{ mL} = 0,022 \text{ g}$

Çözünmeden kalan boyarmadde miktarı: 0,022 g

Başlangıçtaki boyarmadde miktarı: 0,0503 g

Çözünen boyarmadde miktarı:  $0,0503 - 0,022 = 0,0283 \text{ g}$

Sıvı kristal miktarı: 1,0328 g

Çözünürlük= Çözünen boya kütlesi / (Çözünen boya kütlesi + Sıvı kristal kütlesi)

Çözünürlük=  $0,0283 / (0,0283 + 1,0328) = 0,0266$

Yüzde çözünürlük: 2,6

EK-3 (Devam) Boyarmaddelerin çözünürlük tayinleri için örnek hesaplama, ayrıntılı deney verileri ve çalışma şartları

**DT37'in ZLI-1132 sıvı kristali içerisindeki çözünürlük yüzdesinin belirlenmesi;**

Seyreltik çözelti için okunan absorbands değeri: 1,2603(424 nm) → C:1x10<sup>-4</sup>M  
(kalibrasyon grafiğinden okunan değer)

Kullanılan çözücü miktarı: 13 mL

Seyreltme oranı: 1/100

DT37'nin molar kütlesi: 392,24 g

$100 / 1 * (1 * 10^{-4} \text{ mol} / 1\text{L}) * (392,24 \text{ g} / 1\text{mol}) (1\text{L} / 1000 \text{ mL}) * 13 \text{ mL} = 0,05 \text{ g}$

Çözünmeden kalan boyarmadde miktarı: 0,05 g

Başlangıçtaki boyarmadde miktarı: 0,0527 g

Çözünen boyarmadde miktarı: 0,0527 – 0,05=0,0027 g

Sıvı kristal miktarı: 1,0255 g

Çözünürlük= Çözünen boya kütlesi / (Çözünen boya kütlesi + Sıvı kristal kütlesi)

Çözünürlük= 0,0027 / (0,0027+1,0255) = 0,0026

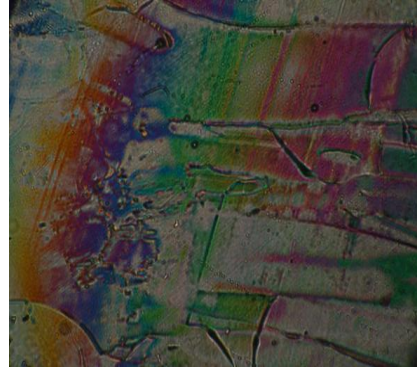
Yüzde çözünürlük: 0,26

EK-4 Katkısız ZLI-1132 sıvı kristali ve boyarmadde - sıvı kristal karışımlarına ait tekstürler

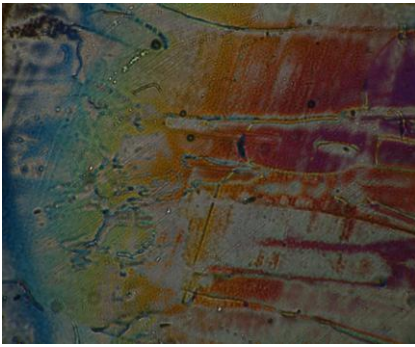
26,5 °C



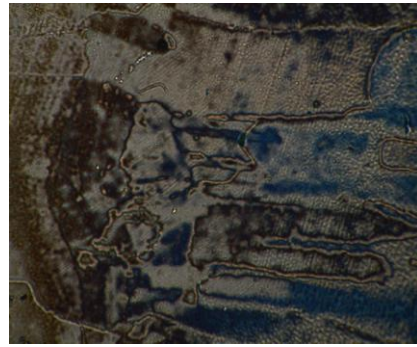
40 °C



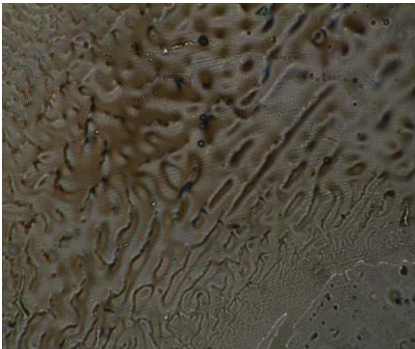
70,1 °C



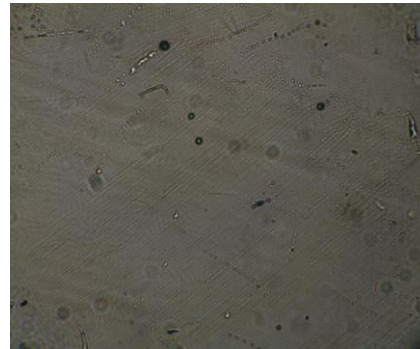
72,5 °C



73 °C



75,2 °C



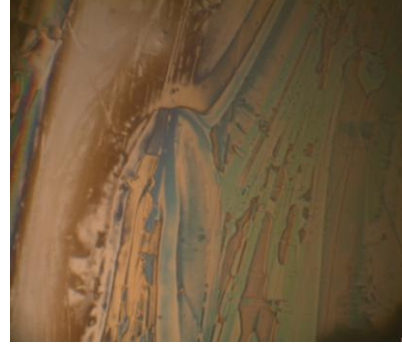
Resim 4.1. Nematik fazın kararlılığını koruduğu sıcaklık aralığında, soğutma ve ısıtma işlemleri sırasında ZLI-1132 sıvı kristaline ait tekstürler

EK-4 (Devam) Katkısız ZLI-1132 sıvı kristali ve boyarmadde - sıvı kristal karışımlarına ait tekstürler

44,1 °C



68,8 °C



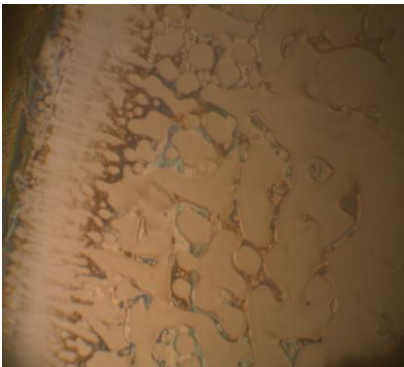
71,6 °C



72,8 °C



74,6 °C



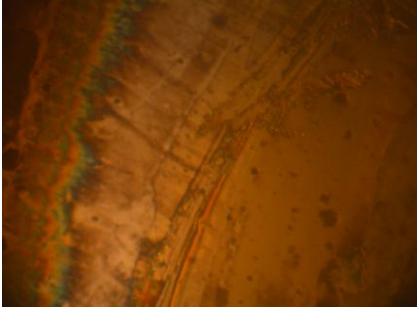
75,3 °C



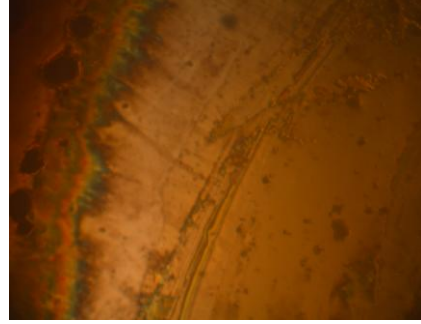
Resim 4.2. % 0,2'lik DT-13 ile ZLI-1132 SK karışımına ait tekstürler

EK-4 (Devam) Katkısız ZLI-1132 sıvı kristali ve boyarmadde - sıvı kristal karışımlarına ait tekstürler

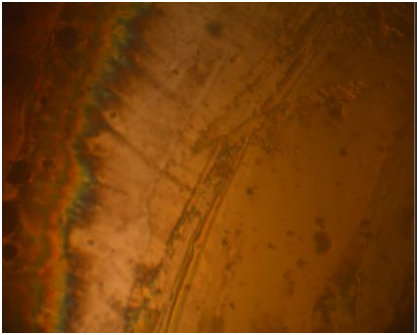
50,3 °C



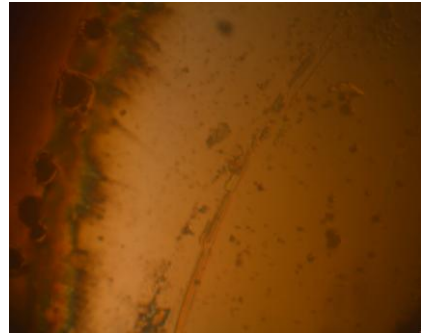
60,4 °C



70,6 °C



72,4 °C



74,1 °C



75,2 °C



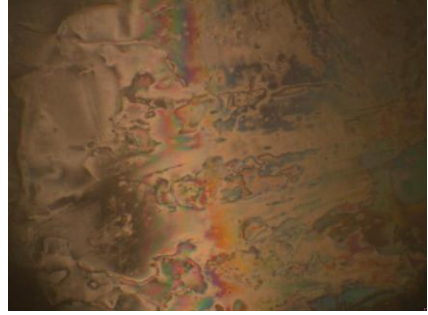
Resim 4.3. % 1'lik DT-13 ile ZLI-1132 SK karışımına ait tekstürler

EK-4 (Devam) Katkısız ZLI-1132 sıvı kristali ve boyarmadde - sıvı kristal karışımlarına ait tekstürler

52,4 °C



65,9 °C



71,6 °C



72,3 °C



74,7 °C



75,9 °C



Resim 4.4. % 0,2'lik DT-37 ile ZLI-1132 SK karışımına ait tekstürler

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜRLÜK, Meryem  
Uyruğu : T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi : 06.09.1988 - Ankara  
Medeni Hali : Bekar  
e-mail : meryem\_5197@hotmail.com

### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                                                                    | Mezuniyet tarihi |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Yüksek Lisans | Gazi Üniversitesi<br>Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı | 2012             |
| Lisans        | Gazi Üniversitesi<br>Mühendislik-Mimarlık Fakültesi<br>Kimya Mühendisliği Bölümü | 2010             |
| Lise          | Ankara Ayrancı Lisesi                                                            | 2005             |

### Yabancı Dil

İngilizce