

**DİSPERS TURUNCU BOYA KATKILI NEMATİK SIVI
KRİSTALLERİN YOLCU-HANCI TİPİ SİSTEMLERDE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Hilal ALTINDIŞ ABDULKADİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2012

ANKARA

Hilal ALTINDIŞ ABDULKADİR tarafından hazırlanan “DİSPERS TURUNCU BOYA KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN YOLCU-HANCI TİPİ SİSTEMLERDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN 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.

Doç. Dr. Elif ORHAN

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Ahmet ALICILAR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Ayşe MURATHAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 31/05/2012

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU

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.

Hilal ALTINDİŞ ABDULKADİR

**DİSPERS TURUNCU BOYA KATKILI NEMATİK SIVI
KRİSTALLERİN YOLCU-HANCI TİPİ SİSTEMLERDE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

Hilal ALTINDİŞ ABDULKADİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAYIS 2012**

ÖZET

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte günümüzde özellikle ekran yapılarında karşımıza çıkan sıvı kristaller bir çok bilimsel araştırmanın da konusu olmuştur. Sıvı kristal ekranların bir türü olan yolcu-hancı tipi ekranlarda sıvı kristallerle birlikte boyalar da kullanılmakta ve bu boyaların ekranların verimliliğine etkisinin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Sıvı kristal ekranlardaki görüntü kalitesini, netliğini, geniş görüş açısını ve renk tonlarındaki keskinliği etkilemesi nedeniyle kullanılan boyaların yapıları ve sıvı kristallerle olan uyumlulukları büyük önem arz etmektedir.

Yapılan bu çalışmada biri antrakinin, diğer ikisi azo yapıda olan üç boyarmaddenin sıvı kristal sistemlerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışma, dispers turuncu 11, 13 ve 37 boyalarının E63 sıvı kristali içerisindeki çözünürlüklerinin belirlenmesini, belirlenen çözünürlük değerlerinden yola çıkılarak hazırlanan sıvı kristal-boya karışımlarının düzen parametrelerinin UV spektrofotometre cihazı yardımıyla saptanmasını ve sıvı kristal sıcaklık aralığı ile tekstürlerinin polarize mikroskop yardımıyla belirlenmesini içermektedir.

Bu kapsamdaki çalışmaların sonucunda, DT-11, DT-13 ve DT-37 boyalarının çözünürlükleri sırasıyla kütlece %0,49 , %1,92 , %0,23 bulunmuştur. Bu değerlerden yola çıkarak üç boya için %0,2'lik, çözünürlüğü diğerlerine göre yüksek çıkan DT-13 için ayrıca %1'lik çözeltiler hazırlanmış ve düzen parametre değerleri belirlenmiştir. En yüksek değer DT-37 boyası için 0,79 olarak elde edilmiştir. Karışımların solvatokromik davranışlar sergilediği gözlenmiştir. Numunelerin tekstürleri incelendiğinde boyaların sıvı kristal faz geçiş sıcaklığını arttırdığı, yalnızca DT-13 boyasında bu değerde düşüş olduğu bulunmuştur.

Bilim Kodu : 912.1.094

Anahtar Kelimeler : Nematik sıvı kristal, düzen parametresi, tekstür, dispers boya, yolcu-hancı tipi sistemler, faz geçişi

Sayfa Adedi : 116

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)

Hilal ALTINDİŞ ABDULKADİR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2012

ABSTRACT

With recent improvements in technology, liquid crystals, which are considered as the basic structure material in screens, became a main topic of interest for many scientific investigations. In G-H (Guest-Host) liquid crystal display systems, dyes are used with liquid crystals and it is well known that dyes have very high efficiency on screens. Structures of dyes used and their concurrency with liquid crystals are very important because they affect the quality and the contrast of display, angle of sight and acutance of color tones.

In this study, applicability of one anthraquinone dye and two azo dyes in liquid crystal systems are investigated. Thus, this study includes the determination of the solubility of dispers orange 11, 13, 37 dyes in E63 liquid crystal; the calculation of order parameters of liquid crystal-dye mixtures, which have been prepared with known solubility rate, by using a UV spectrophotometer and the investigation of the texture of pure liquid crystal and mixtures under polarized microscope.

As a result of the investigations conducted within this context, solubility rates of DO-11, DO-13 and DO-37 dyes are determined as 0,49%, %1,92, %0,23 (w/w)

respectively. By basing on these parameters, 0,2% dye solutions for three dyes and an additional 1% dye solution for DO-13 which has higher solubility rate, have been prepared and order parameter values have been determined. The maximal value has been obtained as 0,79 for DO-37 dye. Solvatochromic behaviors of liquid crystal mixtures has been observed. When the textures of the samples have been examined, it has been found that dyes increase the liquid crystal phase transition temperature except for DO-13.

Science Code : 912.1.094

Keywords : Nematic liquid crystal, order parameter, texture, dispers dye, guest-host type systems, phase transition

Total page : 116

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.

Sağladıkları manevi destek ve bilimsel katkılardan ötürü Sayın Prof.Dr.Metin GÜRÜ'ye ve Sayın Doç.Dr.Elif ORHAN'a gönülden teşekkür ederim.

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.

Yüksek Lisans çalışmalarına geri dönmemi sağlayan ve her türlü desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatımda yer almalarından ötürü mutluluk duyduğum sevgili anneme, eşime ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında yanımda olan ve destekleri ile çalışmamı en verimli hale getirmemi sağlayan sevgili arkadaşlarım Meryem Sena EREL'e, Meryem GÜRLÜK'e, Mustafa ARIK'a ve Ebru YÖRÜK'e teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

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, Yapısı ve Özellikleri.....	4
2.3. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması	9
2.3.1. Termotropik sıvı kristaller	12
2.3.2. Liyotropik sıvı kristaller.....	18
2.4. Sıvı Kristallerin Fiziksel Özellikleri	19
2.4.1. Sıvı kristallerin elektromanyetik ve optik özellikleri	20
2.4.2. Sıvı kristallerin elastisite özellikleri.....	30
2.4.3. Sıvı kristallerin viskozite özellikleri	31
2.5. Sıvı Kristallerde Yönelimler	32
2.6. Sıvı Kristallerin Uygulama Alanları	36
3. RENKLER ve BOYALAR	38

Sayfa

3.1. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması	40
3.1.1. Boyarmaddelerin elde edilişlerine göre sınıflandırılması	40
3.1.2. Boyarmaddelerin çözünürlük özelliklerine göre sınıflandırılması.....	41
3.1.3. Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması	43
3.1.4. Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması	46
3.2. Azo Boyarmaddeler	49
3.2.1. Azo boyaların özellikleri.....	50
3.2.2. Azo boyaların sınıflandırılması.....	52
3.2.3. Dispers azo boyarmaddeler	54
3.3. Antrakinon Boyarmaddeler	55
3.3.1. Antrakinon boyaların özellikleri	55
3.3.2. Antrakinon boyaların sınıflandırılması	56
4. SIVI KRİSTAL EKРАНLAR (LCD).....	58
4.1. LCD'nin Tarihi	58
4.2. LCD'nin Yapısı ve Çalışma Prensibi	58
4.2.1. Yolcu-hancı sistemler	62
4.2.2. Polimer dispers sistemler	66
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	69
6. MATERYAL VE METOT	74
6.1. Karakterizasyon Teknikleri.....	74
6.1.1. Boyarmaddelerin sıvı kristaldeki çözünürlüğü	74
6.1.2. Düzen parametresinin belirlenmesi.....	74

Sayfa

6.1.3. Polarize mikroskopik teknikler	75
6.2. Araç ve Gereçler	77
6.2.1. Kullanılan kimyasal maddeler.....	77
6.2.2. Kullanılan Cihazlar	80
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	81
7.1. Boyarmaddelerin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüklerinin Belirlenmesi.....	81
7.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerlerinin Belirlenmesi	83
7.3. Numunelere Ait Tekstürlerin Eldesi	84
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	86
8.1. Boyarmaddelerin Çözünürlükleri.....	86
8.2. Numunelerin Düzen Parametreleri.....	88
8.3. Numunelerin Tekstürleri	91
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	97
EKLER	105
EK-1. Boyarmaddelere ait absorpsiyon grafikleri	106
EK-2. Boyarmaddelere ait kalibrasyon grafikleri	107
EK-3. Boyarmaddelerin çözünürlük tayinleri için örnek hesaplama, ayrıntılı deney verileri ve çalışma şartları.....	108
EK-4. Katkısız E63 sıvı kristaline ait tekstürler.....	110
EK-5. Boyarmadde - sıvı kristal karışımlarına ait tekstürler	113
ÖZGEÇMİŞ	116

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. Kullanılan boyarmaddelerin bazı özellikleri.....	78
Çizelge 8.1. DT-11 için deneysel veriler ve çözünürlük değerleri	86
Çizelge 8.2. Boyarmaddelerin E63'teki çözünürlük değerleri.....	87
Çizelge 8.3. Boyarmadde - SK karışımlarının düzen parameter değerleri	89
Çizelge 8.4. Kullanılan boyarmaddelere ait batokromik kayma değerleri.....	91
Çizelge 8.5. Saf ve boya katkılı sıvı kristal için faz geçiş sıcaklıkları.....	95

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı geçiş ve moleküllerin yönelimi.....	5
Şekil 2.2. Sıvı kristalde mezofazlar.....	7
Şekil 2.3. Sıvı kristalde sıcaklığa bağlı faz geçişleri.....	8
Şekil 2.4. Sıvı kristalin ana yapısı.....	9
Şekil 2.5. Mezojenik moleküllerin farklı biçimleri.....	10
Şekil 2.6. Sıvı kristallerin sınıflandırılması	11
Şekil 2.7. Kalamitik/Çubuksu ve disk biçimli SK'lerin biçimleri	11
Şekil 2.8. Simektik A ve Simektik C fazlarında moleküllerin yönelimi.....	13
Şekil 2.9. Kiral Simektik C fazının bükümlü yapısı	14
Şekil 2.10. Nematik sıvı kristalde moleküllerin yönelimi.....	15
Şekil 2.11. Çubuk biçimli sıvı kristal için sıcaklığa bağlı faz geçişleri	16
Şekil 2.12. Kolesterik fazda moleküllerin dizilimi	17
Şekil 2.13. Liyotropik sıvı kristal yığını	18
Şekil 2.14. Düzen parametresini tanımlamak için kullanılan geometri	21
Şekil 2.15. Dikroik boya tipleri.....	23
Şekil 2.16. Termotropik sıvı kristallerde nematik düzen parametresinin (S), sıcaklığın (T) fonksiyonu olarak gösterimi	26
Şekil 2.17. Sıvı kristallerde dielektrik anizotropiye bağlı molekül yönelimleri	27
Şekil 2.18. Sıvı kristallerde dielektrik anizotropinin sıcaklığa bağlı değişimi	28
Şekil 2.19. Sıvı kristal ortamdaki polarize olmayan ışığın davranışı.....	28
Şekil 2.20. Sıvı kristalde ışığın moleküler eksen boyunca yayılması	29

Şekil	Sayfa
Şekil 2.21. Nematik sıvı kristallerde dışarıdan uygulanan mekanik stres ile oluşan molekül yönelimleri.....	30
Şekil 2.22. SK'lerde geçiş ve dönüşle ilgili viskozite sabitleri.....	32
Şekil 2.23. Katı cam üzerine uygun kaplama yapılmış yüzeyde nematik kristallerin yönelimleri	33
Şekil 2.24. Planar yönelimin sağlanması	34
Şekil 2.25. Planar yönetime sahip sıvı kristalde Freedericksz geçişi.....	35
Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum	38
Şekil 4.1. LCD'nin bölümleri	59
Şekil 4.2. LCD sistemde elektrik alana göre SK'lerin yönelimi.....	61
Şekil 4.3. LCD sisteminde bir piksel	62
Şekil 4.4. Y-H sistemlerde elektrik alana bağlı yönelimler	64
Şekil 4.5. Polimer dispers sistemlerde elektrik alana bağlı yönelimler	67
Şekil 6.1. Polarize mikroskopun bölümleri ve ışığın cihaz içerisinde izlediği yol....	76
Şekil 6.2. Boyarmaddelerin kimyasal yapıları	79
Şekil 6.3. Bir karışım olan E63 sıvı kristalinin yapısı	80
Şekil 7.1. Asetonda çözölmüş DT-11 boyarmaddesine ait A- λ grafiğı	81
Şekil 7.2. Asetonda çözölmüş DT-11 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiğı.....	82
Şekil 7.3. Sıvı kristal ile doldurulmuş planar yönetime sahip bir hücrenin kesiti	83

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Sıvı kristalde ısıtma sonucu izotropik sıvıya geçiş	6
Resim 2.2. Simektik A, Simektik B ve Simektik C fazlarına ait polarize mikroskop ile çekilmiş görüntüler	14
Resim 2.3. Nematik fazın polarize mikroskopta çekilmiş görüntüsü	16
Resim 2.4. Aynı kolesterik sıvı kristale ait polarize mikroskop görüntüleri	17
Resim 2.5. Liyotropik sıvı kristallerin polarize mikroskopta çekilmiş görüntüsü	19
Resim 7.1. Deneylerde kullanılan planar yönelimli boya katkılı SK hücrelerin resmi	84
Resim 8.1. % 0,2'lik DT-11 ile E63 SK karışımına ait tekstürler	94

1. GİRİŞ

Maddenin bir ara hali olan sıvı kristal hal 1888’de keşfedilmiştir. Katıya benzer bir düzenle beraber sıvıya benzer bir akışkanlık özelliğine sahip olmaları sıvı kristallere anizotropik yapıyı kazandırmıştır. Anizotropik yapı sıvı kristallerin elektromanyetik özelliklerini de etkiler. Dışarıdan verilen bir etkide elektriksel ve manyetik parametreler, sıvı kristallere dik ve paralel doğrultulardaki yönelim boyunca farklı değer alır. Tüm bu özelliklerinden ötürü Sıvı altın “Liquid Gold” olarak da adlandırılan sıvı kristaller (SK) özellikle ekran tasarımlarında (LCD) kullanılmış ve üzerine yapılan araştırmalar ve gelişen teknoloji sonucunda daha çok rağbet görerek günümüzde hesap makineleri, saatler, bilgisayar ve televizyonlarda görüntü kaynağının temeli oluşturur hale gelmişlerdir. Sıvı kristallerde ayrıca moleküller arası kuvvetler zayıf olduğundan dış etkilere karşı yüksek hassasiyet gösterirler. Bu özelliklerinden yararlanılarak sıcaklık, basınç, elektrik ve manyetik alan gibi dış etkileri izlemek için çeşitli sensör uygulamalarında da kullanılırlar.

SK’lerin en yaygın uygulama alanlarından bir tanesi de gerçek zamanlı holografı ve optik veri depolanması uygulamalarıdır. Holografik hafıza ilk olarak 40 yıl önce önerilmesine rağmen son 10 yılda daha fazla gelişen ekran ve detektör teknolojisi, video göstericileri, dijital ve el kameralarının ticari başarıları nedeniyle kullanılabilir hale gelmiştir.

Sıvı kristalin renklendirilmesi ya da daha zor bulunan renkli sıvı kristallerin kullanılması ile üretilen renkli sıvı kristal göstergeler, günümüzde kullanılan ekranlara nispeten daha ucuz ve yüksek kontrasta sahip olmaları açısından çok fazla araştırma konusu olmuştur. Bu tip sistemler Yolcu-Hancı (Guest-Host) tipi sistemler olarak adlandırılırlar; yolcu dikroik veya pleokroik boyalar, hancı ise sıvı kristalin bir türü olan nematik sıvı kristallerdir.

Bu tez çalışmasında, bu sıvı kristalle hiç kullanılmamış olan antrakinin yapıları dispers turuncu 11 ve azo yapıları dispers turuncu 13 ve 37 boyalarının yolcu-hancı tipi

sistemlerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Seçilen boyaların, E63 kristali içerisindeki çözünürlükleri belirlenmiş, daha sonra hazırlanan boya katkılı sıvı kristal numunelerinin düzen parametreleri tespit edilmiştir. Ayrıca polarize mikroskop kullanılarak numunelerin faz geçiş sıcaklıkları ve tekstürleri incelenmiş ve E63 sıvı kristali ile kullanılan boyaların uyumluluğu araştırılmıştır.

2. SIVI KRİSTALLER

2.1. Sıvı Kristalin Tarihçesi

Sıvı kristallerin geçmişi yaklaşık olarak 1888’li yıllara dayanmaktadır. Sıvı kristal halin mezomorfizm olarak da adlandırıldığı dönemde ilk gözlemler ve karakterizasyon Avusturyalı botanist Friedrich Reinitzer tarafından yapılmıştır. Almanya’da çalışmalarını yapan Reinitzer, kolesteril benzoatın sıradışı bir erime karakteristiği gösterdiğini, 145°C’de eriyen kristalin normal ya da izotropik sıvı gibi şeffaf bir görüntü vermek yerine opak bir eriyik oluşturduğunu, ısıtmaya devam ettiğinde opaklığın 178°C’de keskin bir şekilde ortadan kaybolduğunu gözlemlemiştir. Bu iki sıcaklık değeri arasındaki 33°C’lik fark kristal katı ile normal sıvı arasında yeni bir faz olduğunu ortaya koymuştur. Daha sonra Reinitzer’in gözlemleriyle örtüşen bir diğer çalışmayı Otto Lehmann 1890’da gerçekleştirmiş ve sıvı kristal kavramını bilime kazandırmıştır.

1911 yılında Charles H. Mauguin , 60 yıl sonra LCD teknolojisinin ana kaynağı haline gelecek olan bükülmüş nematik yapıyı keşfetmiş ve tanımlamıştır. Mauguin nematik sıvı kristal bileşimini daha önceden kağıt sürtülmüş cam plakalar arasına sandviç biçiminde sıkıştırmıştır. Daha sonra üstteki tabakayı, alttaki tabaka ile 90° açı yapacak şekilde döndürmüş ve geçen ışıkla polarize olan sıvı kristallerin bulunduğu hücreyi gözlemlemiştir. Kağıdın sürtüldüğü cam yüzeyin üzerinde oyuk kanalların açıldığını ve sıvı kristallerin bu oyuklara yerleşerek titreşim hareketlerini aynı yönelimde yaptıklarını öne sürmüştür. 1922 yılında Georges Friedel yaptığı bir çalışma ile sıvı kristallerin elektrik alandan etkilendiklerini bulmuş ve sıvı kristal yerine arafaz anlamına gelen mezofaz terimini kullanmıştır. Ayrıca simektik nematik ve kolesterik mezofaz biçimlerini de tanımlamıştır [Castellano, 2005].

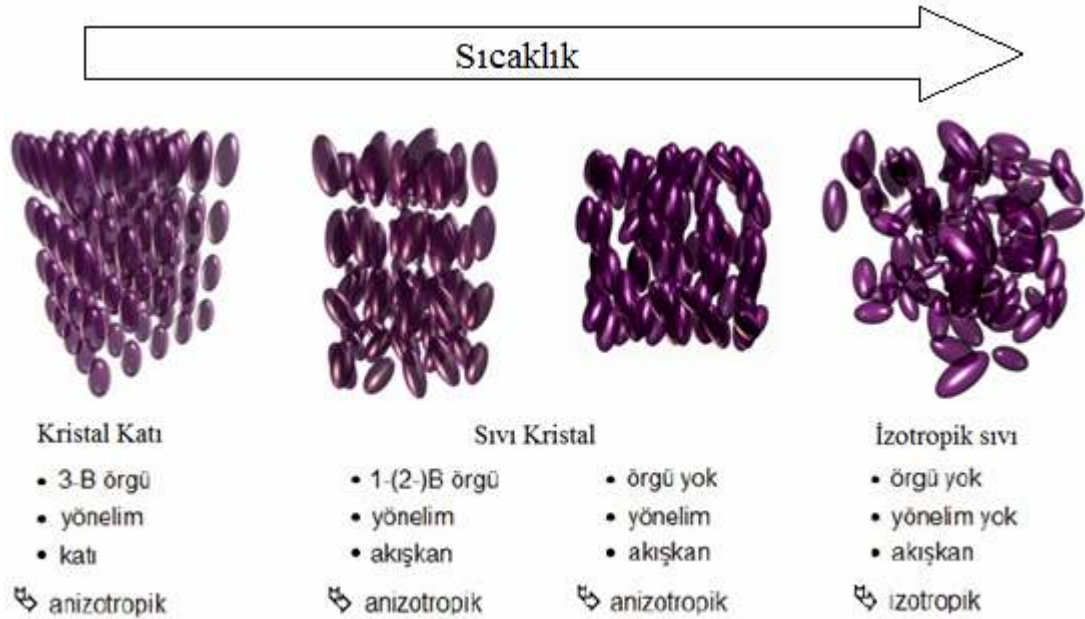
1960 yılından sonraki dönemde sıvı kristaller için teknolojik uygulamaların bulunması ile bu sahada hızlı bir gelişme kaydedilmiştir. 1963 yılında Williams, RCA (Radio Corporation of America) için çalışırken; ışığın bir elektrik şarj ile uyarıldığı zaman sıvı kristalden geçerek değiştiğini bulmuştur. Beş yıl sonra bir

başka RCA araştırmacısı olan Heilmeyer ve çalışma arkadaşları bu konuyu inceleyerek bir prototip yapmışlardır. Bu prototipin başarısı, modern sıvı kristal ekran teknolojisinin başlangıcı için bir örnek teşkil etmiştir. Başlangıçta üretilen LCD ünitelerinde, materyal olarak kullanılan sıvı kristaller çok kararsızdı ve ticari anlamda pek çok problemler oluşturmuştu. Ancak Hull Üniversitesinden bir profesörün yapmış olduğu bilimsel çalışmalar sonucu bulunan kararlı sıvı kristal materyaller bu problemleri ortadan kaldırmıştır [Kaya, 2010].

2.2. Sıvı Kristal Tanımı, Yapısı ve Özellikleri

Maddenin genel olarak herkesin bildiği katı, sıvı ve gaz olarak üç hali bulunmaktadır. Sıvı kristal ise uygun koşullar sağlandığında oluşabilecek dördüncü faz olarak tanımlanabilir. Katının içerisindeki moleküller sadece belli yönlerde ve belli pozisyonlarda diğer moleküllerin alanına girmeden kısıtlı harekete zorlanmış konumdadırlar. Sıvı içerisindeki moleküller ise rastgele hareket etme yetisine sahiptirler. Sıvı kristal faz ise katı ile sıvı arası bir faz olarak tanımlanır, moleküller katıdaki kadar düzenli bir görünüm sergilemeseler de belli bir açıyla dizilmiş görünümündedirler; fakat hepsi aynı yönde yönelmiş değildir. Aynı zamanda moleküller sıvıdakine benzer rahat hareket etme yetisine de sahiptirler. Bu hareketi dışarıdan gelen etkiler belirler (Şekil 2.1).

Bütün maddeler sıvı kristal faza sahip değildirler. Ortası uzun ve sert yapıda olup kenarlara doğru biraz esnekleşme eğiliminde olan moleküller daha çok sıvı kristal faza sahip olabilmektedirler. Sıvı kristaller katıdan çok bir sıvı görünümündedirler. Molekül hareketleri ise sıvı kadar fazla olmadığından bulanık ve yoğun bir görünüm sergiler [Agamanolis,1995].



Şekil 2.1. Kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı geçiş ve moleküllerin yönelimi [<http://www.chemical-engineering.co/2011/12/13/liquid-crystals/>; Emek, 2007]

Katı kristal yapıda moleküllerin dizilimi her yönde aynıdır (Şekil 2.1). Sıvı kristal faza sahip maddelerin molekülleri genellikle boyu eninden uzun, yumurta biçiminde veya disk biçimindedir. Moleküller, molekül içi kuvvetler sayesinde sabit pozisyonda kalmakta ve sadece titreşim hareketi yapabilmektedir. Maddenin sıcaklığı arttırıldıkça moleküller daha güçlü titreşim hareketi yapmaya başlarlar. Titreşim hareketi molekül içi kuvvetleri aştığında moleküller hareket etmeye başlar. Sıvı halde, molekül içi kuvvetler çok zayıf olduğundan moleküller rastgele pozisyonlarda herhangi bir dizilim veya yönelim olmadan hareket ederler. Sıvı kristal haldeki materyallerde ise molekül içi kuvvetler her yönde aynı değildir. Bazı yönlerde diğerlerinden daha zayıftır. Böyle bir molekül ısıtıldığında önce kuvvetlerin zayıf olduğu bölgelerdeki moleküller harekete geçerler, güçlü kuvvetlerin olduğu bölgelerdeki moleküller hareket etmeden kalırlar. Bu durum, bazı yönlerde rastgele, bazı yönlerde ise belli bir moleküler düzenin oluşmasına sebep olur (Resim 2.1). Bu halde iken moleküller hâlâ tabakalar halindedir; fakat her tabakanın içerisinde rastgele pozisyonlarda dağılmışlardır ve tabakalar birbirilerinin üzerinden kayabilir.

Bu moleküler hareketlilik sıvıya ait akışkanlık özelliğini kazandırır [Shakhashiri, 2007].



Resim 2.1. Sıvı kristalde ısıtma sonucu izotropik sıvıya geçiş [Kaya, 2010]

Sıvı kristal faz gösteren maddeler erime noktasında kristal yapıyı kaybedip bulanık görünümlü bir sıvıya dönüşmektedir. Bu halin çapraz polarizörler arasında incelenmesi ile sıvı kristallerin kuvvetli çift kırıcı (birefringence) özellik taşıdıkları görülmüştür [Akkurt, 2009].

Sıvı kristaller mikro damlacıklar halinde şekil almaya meyillidirler. Her bir damlacıkta, moleküller aynı yönelimdedir ama bir başka damlacıkta bu yönelim farklılaşabilir. Bu durum, her bölgedeki farklı yönetime bağlı olarak ışığın farklı saçılmasıyla ortaya çıkan sıvı kristallerdeki süt benzeri görüntüyü açıklamaktadır. Nematik-izotropik geçiş sıcaklığında, sıvı artık damlacıklar halinde gruplaşma göstermez ve ışığın bu tür saçılması ve sütsü görüntü kaybolur.

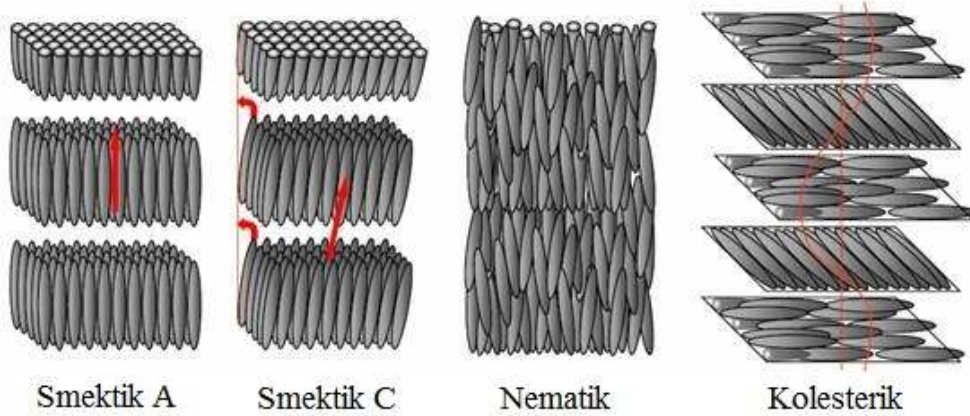
Sıvıların akıcı özellikleri ile katıların uzun mesafede moleküler düzen oluşturma isteğini bir araya getiren sıvı kristaller ne sıvılarda ne de katılarda olan bazı özellikler gösterirler. Bunlar,

- Normal bir manyetik veya elektrik alan uygulanması ile monokristalleri oluşturma isteği,

- Katı ve sıvılarda görülmeyen mertebelerde optik aktivite,
- Renk değişikliği ile sonuçlanan ısıya karşı hassasiyet olarak sayılabilir [Köysal, 2007].

Sıvı kristal yapılarda sıcaklık arttıkça kendi içinde de geçişler gerçekleşir. Bu geçişler sırasında moleküllerin düzenlenme ve yönlenme şekillerine bağlı olarak smektik faz, nematik ve kolesterik faz olarak adlandırılan bazı mezofazlar gözlemlenir. Nematik fazda artık tabakalar dağılmaya ve moleküller birbiri içerisine geçerek sıvıya yakın bir faz oluşumu göstermeye başlar (Şekil 2.2). Isıtmaya devam edildiğinde bulanık görünümlü yapı, saydam sıvı görünümlü izotropik sıvı faza dönüşür ve moleküller rastgele bir yerleşim gösterir.

Smektik fazda, diğerlerine göre daha düzenli bir tabakalı yapıya sahip olan moleküller dizili olmalarına rağmen hareketlidirler (Şekil 2.2). Bu faz; bulanık, viskoz ve sabunsu bir yapıdadır.

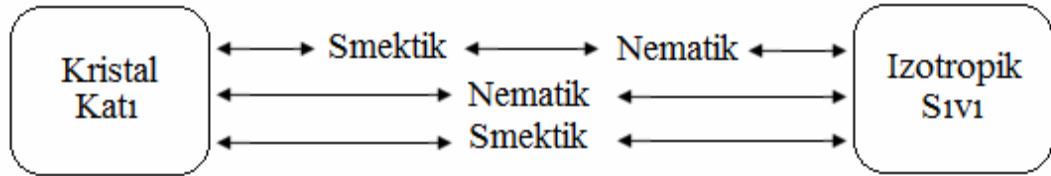


Şekil 2.2. Sıvı kristalde mezofazlar

Nematik faz da benzer bulanık yapıya sahiptir. Sıvı kristaller içerisinde en yaygın olarak bilinen bu faz mikroskop altında ipliksi bir görüntü vermesinden ötürü bu ismi almıştır. Kolesterik faz ise daha opak, nematik faza benzer sıvımsı bir özellik göstermekte olup farklı optik karakteristiklere sahiptir. Bu tip sıvı kristaller

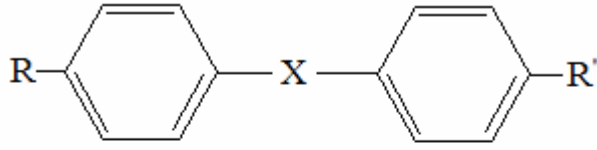
bükülmüş bir yapı sergilemelerinden ötürü modern düz ekranların yapımında çok farklı şekillerde kullanılmıştır [Castellano, 2005].

Isıtma-soğutma prosesi sıvı kristal yapılarda tersinir işler; fakat mezofazların yapılarında, sıvı kristallerin fiziksel özelliklerinde ve yönelimlerinde değişimler ve direkt geçişler gözlenir. Sıcaklığın düşürülmesine bağlı olarak, izotropik fazdan nematik faza geçiş gerçekleşir (Şekil 2.3). Moleküler simetrinin gereği olarak izotropik fazdan nematik faza geçişte birinci dereceden geçiş gözlenir. Bunun nedeni ise izotropik fazdan nematik faza geçiş sırasında entalpinin yüksek, entropinin ise düşük olmasıdır. İzotropik sıvı ile simektik A fazı arasındaki geçişler yine birinci dereceden geçişlerdir. Nematik fazdan simektik A fazına geçişte ise hem birinci, hem de ikinci dereceden geçişler vardır. Bu geçişler özellikle nematik fazın genişliğine, moleküllerin yönelim düzeni ve yerleşim düzenine bağlı geçişlerdir. Sıcaklığın daha da düşürülmesi ile simektik fazdan en kararlı faz olan kristal katı faza geçiş gözlenir [Özaydın, 2007].



Şekil 2.3. Sıvı kristalde sıcaklığa bağlı faz geçişleri

Genel olarak sıvı kristaller organik yapıdadır (Şekil 2.4). Fakat bütün moleküller sıvı kristal özellik göstermezler. Böyle bir özelliğin ortaya çıkabilmesi için organik yapıya esterler, nitril grupları, çok esnek n-alkil veya n-alkoksi grupları gibi bazı gruplar eklenmiş olmalıdır. Sıvı kristalin orta bölümü (X) daha rijit, kenarları ise daha esnek yapıdadır [Agamanolis, 1995].



X : -CH=N-, -N=N-, -COO-, -CH=CH-,
-N=NO-, -C=C-, -CH=N(O)-

R ve R': (Alkil) -C_nH_{2n+1},
(Alkoksi) -OC_nH_{2n+1} grupları

Şekil 2.4. Sıvı kristalin ana yapısı [Khoo, 1995; Köysal, 2007]

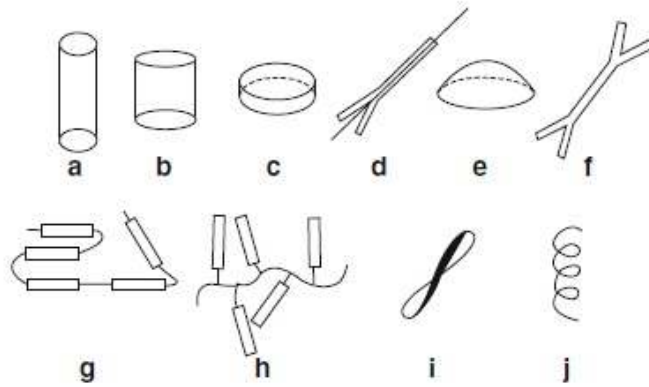
Gerçek sıvı kristal görünümünü etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Genellikle gözlenen fazın molekülün geometrik biçimi ile ilintili olduğuna inanılır. Bununla birlikte, molekül içi itme ve çekme etkileşimleri ve hidrojen bağları gibi özellikler de çok önemli rol oynamaktadır. Moleküler elektrik dipolleri arasındaki etkileşimler, molekül içerisinde önemli çekim güçleri oluşturur. Tipik bir termotropik sıvı kristal molekülü birbirine direk ya da rijit fonksiyonel gruplar yardımıyla bağlanmış iki ya da daha fazla aromatik halka ile uç hidrokarbon zincirleri içerir (Şekil 2.4). Bu moleküller, uç zincirlerin uzunluğuna bağlı olarak nematik ve simektik mezofazların ikisini de gösterebilir [Villanueva, 2005].

Sıvı kristallerin dielektrik sabiti, elastisite sabiti, viskozite, soğurma spektrumları, geçiş sıcaklıkları gibi optik ve fiziksel özelliklerinin hepsi bu bileşiği oluşturan gruplara bağlıdır [Eser, 2006]. Alkil zincirleri erime noktasını düşürür, mezojenik rijit merkez grup (bifenil) ve polar uç gruplar sıvı kristal fazdaki anizotropiyi sağlarlar [Pakiari, 2008].

2.3. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristal faz verebilen organik moleküller çok geniş çeşitliliğe sahiptir. Bunlar mezojenik moleküller olarak adlandırılırlar ve farklı kimyasal sınıflara ayrılırlar.

Şekil 2.5 mezojenik moleküllerin belirgin tiplerini göstermektedir. Bunların içerisinde çubuk, levha, disk ve saçak biçimli olanlar araştırmalarda ve teknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılanlardır. Bunlara ek olarak hafif bükümlü muz biçimli ve uçlarından dallanmış ağaç biçimli molekül tipleri de bulunmaktadır. Çubuk, levha ve disk biçimli moleküller, moleküllerin arasındaki zayıf moleküler kuvvetlerin etkisiyle kendi kendilerine uzun mesafe düzeninde olma eğiliminde olduklarından çok esnek hareket biçimlerine sahip değildir. Dışarıdan uygulanan elektrik alana birlikte cevap verebilme özellikleri de aralarındaki bu zayıf moleküler bağ ile sağlanır. Mezofaz yapıyı açıklamada teorik olarak genellikle bu yapılar gösterilir [Blinov, 2011].

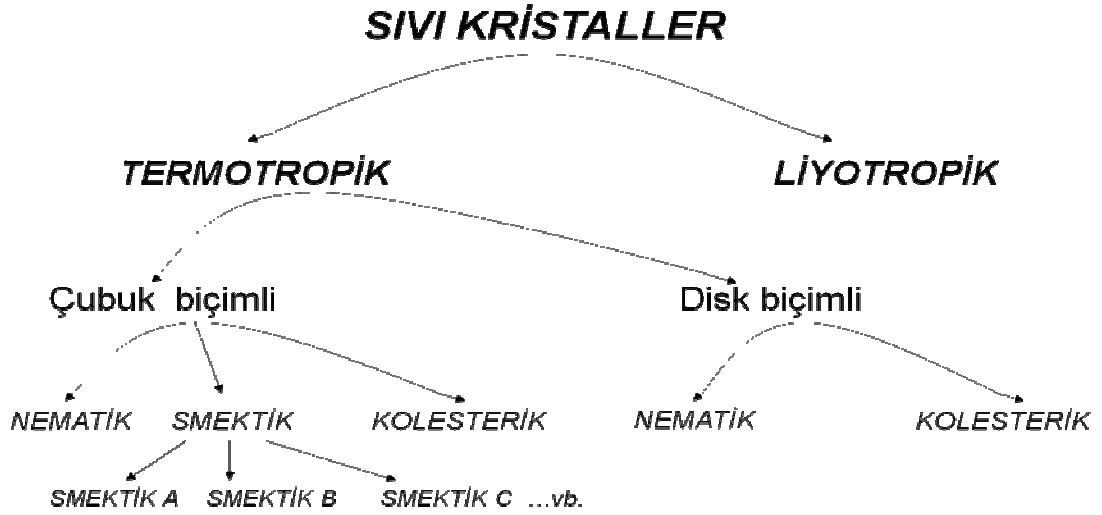


Şekil 2.5. Mezojenik moleküllerin farklı biçimleri: çubuk (a), levha benzeri (b), disk (c), çatal kuyruk (d), çanak (e), çift taraflı çatal kuyruk (f), uzun zincir (g), yeke biçimli (h), pervane (i) ve spiral (j) [Blinov, 2011]

Aynı kimyasal yapıya sahip bir molekül farklı atomik dizilime sahip olabilir. Farklı stereoizomerler ise mezojenik olabilir veya olmayabilir [Blinov, 2011].

SK'leri amfifilik (yarısı suyu seven, yarısı sevmeyen) olan ve olmayan, metal içeren ve içermeyen, düşük molekül ağırlıklı veya polimerik sıvı kristaller olarak farklı şekillerde sınıflamak mümkündür [Gümüş, 1999]. Ancak en çok kullanılan sınıflama şekline göre sıvı kristaller oluşum nedenlerine bağlı olarak katı hal düzeninin bozulma prensibi esas alınarak termotropik ve liyotropik olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilirler (Şekil 2.6). Termotropik SK'lerde faz değişimi

belirgin olarak sıcaklığın bir fonksiyonudur ve moleküller genellikle çubuksu (kalamitik) veya disk biçimindedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.6. Sıvı kristallerin sınıflandırılması [San, 2002].



Şekil 2.7. Kalamitik/Çubuksu (a) ve disk biçimli (b) SK'lerin biçimleri

Liyotropik SK'ler bir veya birkaç bileşiğin karışımından oluşmaktadır ve bu grupta faz değişimi sıvı kristal yapıdaki yüksek polariteye sahip bileşikler ile belirli çözücüler arasındaki kuvvetli etkileşimler ile gerçekleşir, belirgin etken çözücü değişimidir. Termotropik sıvı kristaller teknik uygulamalarda kullanılırken, liyotropikler yaşam mekanizmasındaki fiziksel ve biyolojik özellikleri sebebiyle

biyolojik sistemlerde ve özellikle insan vücudu gibi canlı sistemlerde oldukça önemlidir [Köysal, 2007; Kaya, 2010].

2.3.1. Termotropik sıvı kristaller

Kristal yapı ısıtıldığında izotropik sıvıya doğru olan geçişte tek basamaklı bir geçiş yerine birkaç ara faz oluşuyorsa bu tip sıvı kristallere termotropik sıvı kristaller denir. Termotropik sıvı kristallerde bu arafazların oluşumunun ana sebebi sıcaklıktır [Köysal, 2007]. Bu tip SK'ler belirli sıcaklık değerleri arasında kararlı olup, bu sıcaklığın altında katı kristal, üstünde ise izotropik sıvıdırlar. Termotropik sıvı kristal faz gösteren bir madde ısıtıldığında, erime sıcaklığında kristal yapısı bozunarak bulanık bir sıvıya dönüşmektedir. Çapraz polarizörler arasında incelendiğinde, bu akışkanın kuvvetli çift kırıcı özellik taşıdığı gözlenir. Bu nedenle sıvı kristal madde polarize mikroskop altında incelendiğinde, oldukça ilginç desenler sergiler. Sıcaklığın daha da artırılması halinde ikinci bir faz geçiş noktasına ulaşılır ki, bu geçiş noktası “berraklaşma (durulanma) sıcaklığı” olarak adlandırılır. Bu noktada akışkan berrak görünümlü bir sıvı kimliği kazanır. Erime ve berraklaşma sıcaklıkları sıvı kristal fazın termodinamik olarak kararlı olduğu sıcaklık bölgesini tanımlamaktadır [Kaya, 2010].

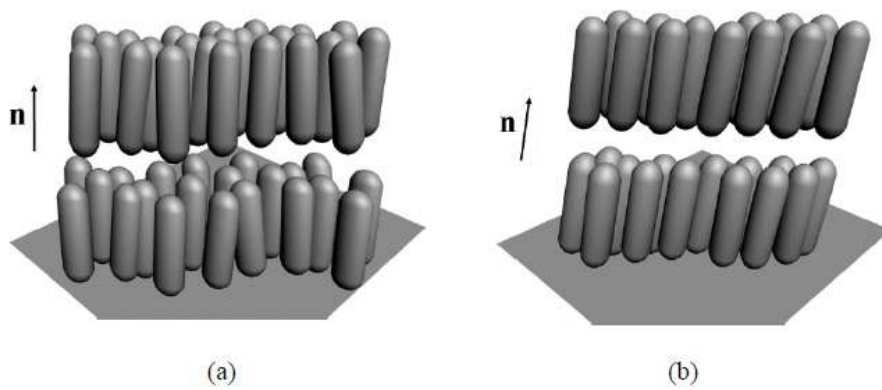
Termotropik sıvı kristalleri oluşturan bileşiklerin bazı ortak özellikleri vardır. Bunlar; bileşiği oluşturan moleküllerin genellikle ince-uzun çubuksu yapıda olması, uzun eksen boyunca yer alan aromatik halkalar nedeniyle oldukça rijit bir yapı göstermesi, molekül yapılarında polar gruplar ve kalıcı dipoller bulunması ve genelde moleküllerin merkezinde veya merkeze yakın yerlerde (molekül eksen boyunca) kuvvetli, molekül uçlarında ve kenarlarında ise zayıf polar grupların olmasıdır. Bu tip SK sistemlerin meydana gelmesinde dipol-dipol etkileşimleri ve iyon-dipol etkileşimleri etkin olan faktörlerdir [Akar, 2006].

Termotropik sıvı kristaller sıcaklıkla olan ara değişim fazlarına göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar simektik, nematik, ve kolesterik sıvı kristallerdir.

Simektik sıvı kristaller

Termotropik sıvı kristallerde farklı fazlar, sıcaklığın artması sonucu ortaya çıkan karelere göre adlandırılmıştır. İlk faz, T_m sıcaklığının üstünde gözlenir ki bu faz; viskoz ve akıcı bir yapıya sahip, tabakaların birbirinin üzerinden kayarak hareket ettiği sabunsu simektik fazdır. Simektik sıvı kristaller katıya yakındır; çünkü iki boyutlu düzgün dizilime sahiptir. Moleküller yan yana ve tabakalar halinde dizilmişlerdir ve hareketleri bu tabakalar içerisinde birbirileri arasında sınırlıdır. Moleküler yönelim eksenini n , bu fazda moleküllerin yönelimleri ile aynı doğrultudadır (Şekil 2.8).

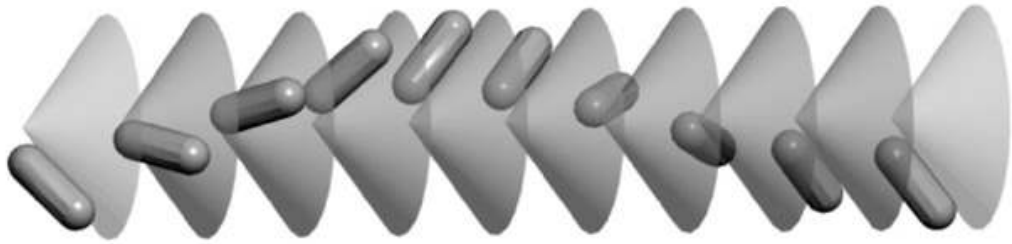
Simektik fazın çok sayıda olmakla birlikte üç ana alt grubu vardır. Bunların en çok bilinen ikisi; eksene paralel yerleşmiş dönüş serbestliği bulunan dizili moleküllerin oluşturduğu Simektik A ve eksenden hafif bir sapma açısı yaparak dizilmiş olan Simektik C fazlarıdır. Simektik C fazının oluşumu Simektik A fazının soğutulması ile ortaya çıkar (Şekil 2.9). Moleküllerin uzunluğunun tabaka kalınlığından daha fazla olması nedeniyle moleküller tabakalara sığabilmek için eğilir ve katman düzlemiyle yaptığı eğilme (tilt) açısı sıcaklığa bağlı olarak 4π kadar değişebilir. Bu faz optiksel olarak çift eksenli (biaxial) yapı gösterir [Cristaldi, 2009].



Şekil 2.8. Simektik A (a) ve Simektik C (b) fazlarında moleküllerin yönelimi [Cristaldi, 2009]

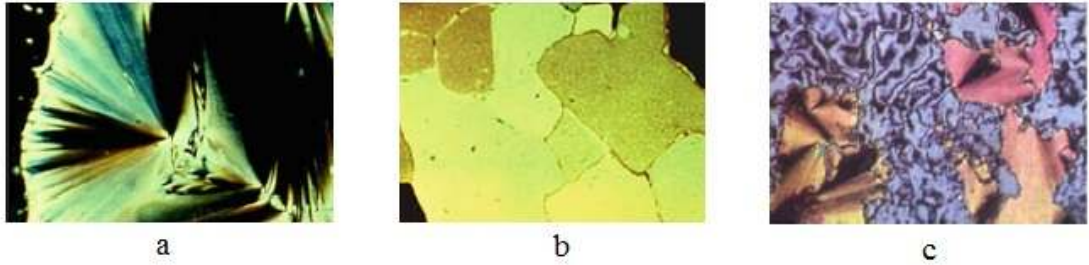
Eğer malzemenin aslında kiral bir yapı varsa veya sonradan eklenmişse Simektik C fazı kiral simektik C fazına dönüşür. Bu fazda moleküller herbir tabakada bir diğerine hafif bir açı yaparak, yukarıdan bakıldığında koni görünümü oluşturacak

biçimde dizilir ve sonunda bükümlü bir yapı oluşur (Şekil 2.9) [Cristaldi, 2009]. Bu yapı kolesterik sıvı kristal olarak da bilinir.



Şekil 2.9. Kiral Simektik C fazının bükümlü yapısı [Cristaldi,2009]

Simektik B fazı hegzagonal sıkı paket yapısına sahiptir ve kararsız bir ara faz olarak gözlenir (Resim 2.2). Bu yapı daha çok katı kristalinkine benzer bir özellik gösterir [Blinov, 2011].

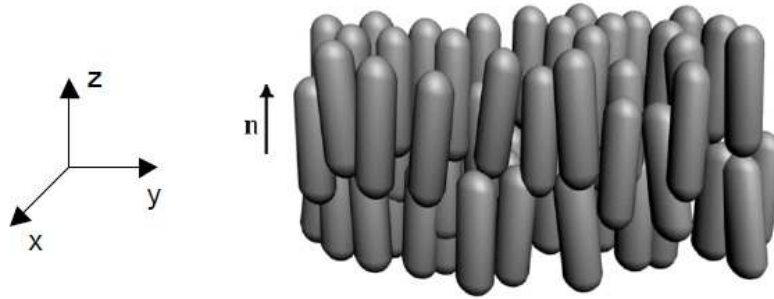


Resim 2.2. Simektik A (a), Simektik B (b) ve Simektik C (c) fazlarına ait polarize mikroskop ile çekilmiş görüntüleri [Blinov, 2011]

Simektik fazlar diğer termotropik SK türlerine (nematik ve kolesterik) göre daha yüksek viskoziteye ve daha üst dereceden simetriye sahiptir. Bu nedenle cihazlardaki teknik uygulamalara çok fazla elverişli değildir.

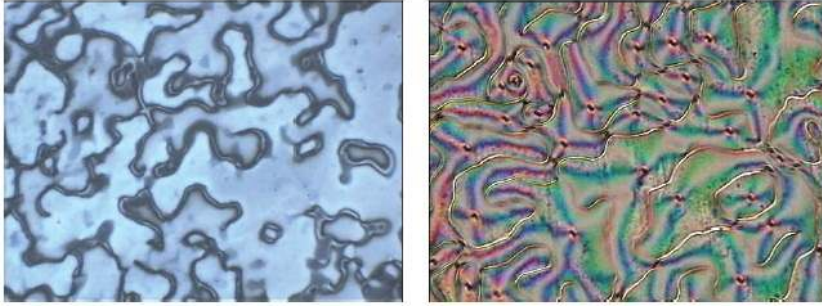
Nematik sıvı kristaller

Berraklaşma noktasından hemen sonra sıcaklığın arttırılmasıyla birlikte nematik faz ortaya çıkar. Nematik fazda moleküller hemen hemen birbirine paralel olarak dizilmiştir ve moleküler eksenleri boyunca üç yöne de hareket kabiliyetleri vardır. Bu fazda tabakalaşma artık kaybolur ve tabakalar içerisindeki moleküller birbiri içerisine geçer (Şekil 2.10) [Cristaldi, 2009].



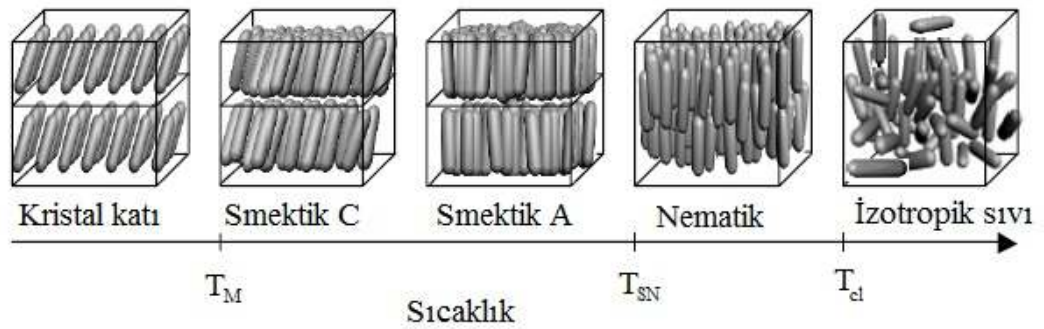
Şekil 2.10. Nematik sıvı kristalde moleküllerin yönelimi [Cristaldi, 2009]

Nematik fazdaki moleküllerin hareketliliği, düşük viskoziteye ve çift kırınım gibi optik özelliklere sahip olmalarını ve elektrik ve manyetik alana duyarlılıklarını sağlamıştır. Nematik fazda moleküller elektriksel ve termal iletkenliğe göre farklı yönlerde farklı özellikler gösterirler ve bu nedenle anizotropiktirler. Moleküllerin birbirlerine göre paralelliği tam olmamakla birlikte, sıcaklığa oldukça bağımlıdır. En belirgin özellikleri sahip oldukları uzun erişimli yönelimsel düzendir. Bu özellikleri ile de sıvılardan ayrılırlar [Uzuner, 2001]. Nematik sıvı kristallerin elektrik alana olan cevap sürelerinin milisaniye mertebelerinde olması ise onları elektro-optik cihazlarda yaygın olarak kullanılır hale getirmiştir (Resim 2.3).



Resim 2.3. Nematik fazın polarize mikroskopta çekilmiş görüntüsü [Cristaldi, 2009]

Kısaca sıcaklıkla birlikte gözlenen bu fazların geçişlerini, Şekil 2.11'deki gibi özetleyebiliriz.



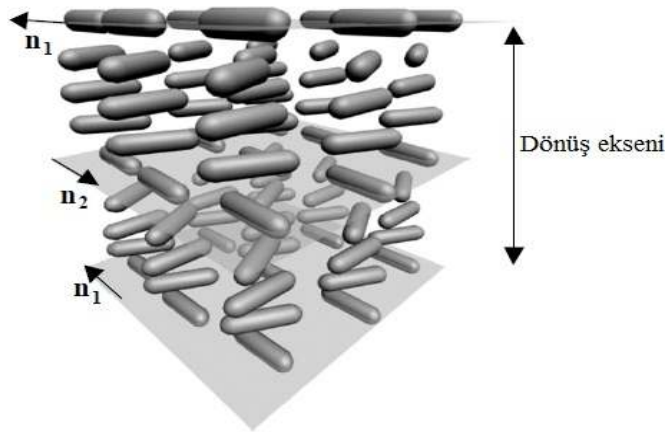
Şekil 2.11. Çubuk biçimli sıvı kristal için sıcaklığa bağlı faz geçişleri [Cristaldi, 2009]

Kolesterik sıvı kristaller

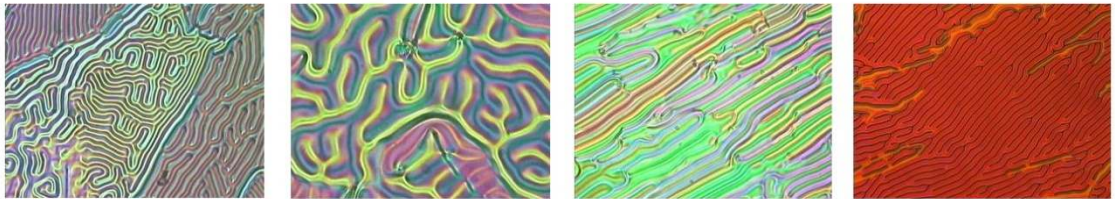
Eğer malzemeye kolesterol esterler gibi kiral yapılı bileşikler eklenirse nematik faz, kiral-nematik ya da kolesterik faza dönüşür [Cristaldi, 2009]. Bu tür sıvı kristaller genel olarak kolesterol türevlerinde gözlemlendiğinden bu adı almıştır. Bunlar kompleks moleküler yapıya sahiptirler [Akar, 2006]. Bu fazda, madde herbiri nematik benzeri yapıya sahip tabakalardan oluştuğundan, yapı termodinamik özellikleri ve elastisite sabiti yönüyle nematiklere benzemektedir. Sıcaklık ve basınç değişimlerine, dışarıdan etkiyen elektrik ve manyetik alanlara son derece duyarlıdırlar [San, 2002].

Kolesterik sıvı kristallerde moleküller yine tabakalar halinde dizilmiştir. Tabakalar çok incedir ve moleküller tabakalara paralel olacak şekildedir. Herbir tabaka birbiri üzerinde dönerek yerleşmiştir (Şekil 2.12). Bu yerleşim sıcaklığa bağlı olarak değişir [Cristaldi, 2009]. Kolesterik SK'lerin bu özelliği sıcaklık sensörlü uygulamalarda, elektronik devrelerin veya mikro yapıların kusurlarının belirlenmesinde, şok dalgalarının uçakların yüzeylerindeki etkilerinin incelemesinde ve hastalıklı dokuların teşhisinde kullanımlarını sağlamıştır [Köysal, 2007].

Bu yapıda her katmandaki moleküler yönelim çok küçük bir açı farkıyla birbirinden farklıdır (Şekil 2.12). Böylece her katmandaki molekül demeti doğrultusu bir alttakine göre belli büyüklükte küçük bir açı kadar hep aynı yöne doğru dönerek helezonik bir yapı oluşturur. Bu yönüyle en iyi doğadaki örnek kolesterik SK'ler için DNA'nın yapısıdır [Kaya, 2010]. Bu bükümlü yapı, kolesterik SK'lere optiksel dönüş ve seçici yansıtma gibi özellikler kazandırmıştır (Resim 2.4) [Cristaldi, 2009].



Şekil 2.12. Kolesterik fazda moleküllerin dizilimi [Cristaldi, 2009]



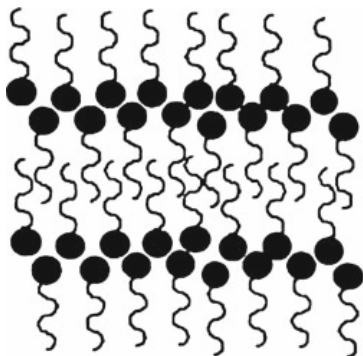
Resim 2.4. Aynı kolesterik sıvı kristale ait polarize mikroskop görüntüleri

2.3.2. Liyotropik sıvı kristaller

Liyotropik sıvı kristal faz amfifilik (çift karakterli) moleküllerin sulu çözeltilerinden oluşmaktadır. Bu fazın molekülleri kolloidal yığın halinde ya da ikili tabakalar halinde bulunur. Kolloidal yığınlar küresel veya silindirik biçimli olabilirler. Genel olarak bu tip moleküller hidrofilik bir ana grup ucuna bağlanmış hidrofobik bir kuyruktan oluşmaktadır (Şekil 2.13) [Blinov, 2011].

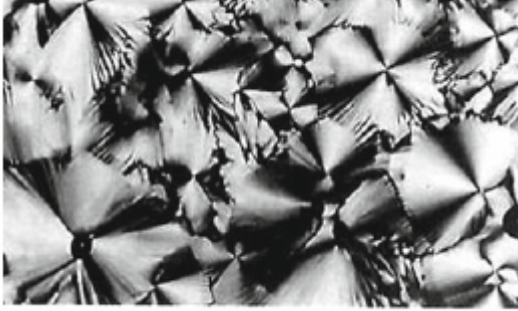
Liyotropik sıvı kristaller bir veya birkaç bileşiğin karışımından oluşmaktadır ve grupta faz değişimine sebebiyet veren etken çözücü derişimidir. Bu sistemler termotropik SK'lerden farklı olarak yalnızca belirli sıcaklık aralığında değil; aynı zamanda belirli bir derişim aralığında da mezamorfik özellik gösterirler [Stark, 2001].

Amfifilik 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 amfifilik maddenin polar uç kısmında toplanır. Çözücü organik madde ise, moleküller fazın hidrokarbon kısımlarında (alkil kuyruk etrafında) toplanır (Resim 2.5).



Şekil 2.13. Liyotropik sıvı kristal yığını [Blinov, 2011]

Amfifilik 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 liyotropik fazların ortaya çıkmasını sağlamıştır.



Resim 2.5. Liyotropik sıvı kristallerin polarize mikroskopta çekilmiş görüntüsü [Blinov, 2011]

Liyotropik sıvı kristalleri oluşturan yapı elemanları arasındaki etkileşmeler iki türdür [Akkurt, 2009].

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

Liyotropik sıvı kristallerin canlı sistemlerindeki yeri oldukça önemlidir. Canlı hücrelerde özellikle hücre zarındaki lipidlerin liyotropik yapıda olduğu gözlenmiştir. Ayrıca canlı hücrelerde liyotropik sıvı kristaller kuvvetli olarak çift kırınımlıdır [Gürek, 1994]. Aynı zamanda bu tip moleküller sabun, deterjan gibi yüzey aktif maddelerde de görülür. Bu sebeple biyolojik araştırmalarda yeni gelişmelere açık bulunmaktadır [Köysal, 2007].

2.4. Sıvı kristallerin fiziksel özellikleri

Yapısal olarak katılar kadar rijit olmayan SK'lerin bazı özellikleri temel olarak moleküllerin özgün özelliklerine bağlıdır. Moleküler özellikler, daha sonra oluşacak olan malzemenin simetrisinden dolayı mezofazın özellikleri göz önüne alınarak

değiştirilebilir. Bu özel moleküler yapı ve dizilimden ötürü anizotropik fiziksel karakteristikler gösterirler. Bu nedenle moleküller, mekanik gerilim, elektrik ve manyetik alan uygulamasıyla kolayca hareket edebilir, yeniden dizilebilir ve yüzeyler ile olan etkileşimleri kolaylıkla ayarlanabilir.

Nicel olarak, manyetik ve dielektrik etkileşim, elektrik ve termal iletkenlik, difüzyon sabiti gibi gözlemsel karakteristikler için, tek parça dağılım fonksiyonuna bağlı olarak ortalama moleküler parametreler hesaplanabilir. Sıvı kristallerin diğer elastisite ve viskozite gibi özellikleri ise yüksek derecede molekül içi etkileşimlere bağlıdır ve çok parça dağılım fonksiyonuna göre belirlenerek hesaba katılır. Bütün bu özellikler moleküllerin yönelim yönünde ve ona dik olan yönde ayrı ayrı ölçülür [Cristaldi, 2009; Blinov, 2011].

Bu bölümde, genel olarak teknolojik uygulamalarda yoğun kullanımı nedeniyle fiziksel özellikler nematik SK'lere bağlı olarak açıklanacaktır.

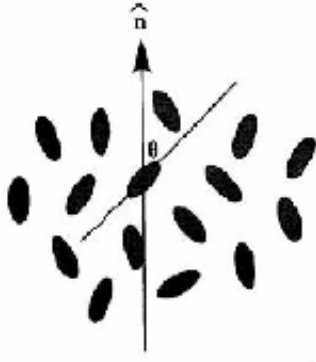
2.4.1. Sıvı kristallerin elektromanyetik ve optik özellikleri

Sıvı kristaller polarize mikroskopta incelenirken rengârenk yapılar gözlenmektedir. Bunun nedeni, ışığın hızının dalga boyuna bağlı olması ve polarizasyon düzleminin yönlendiriciye göre yönlenmesidir. [Emek, 2007].

Nematik fazda moleküler yönelim iki parametre ile açıklanır.

a) *Moleküler yönelim vektörü - direktör ($\mathbf{n}$)* : Bu simge, tüm SK sistemine nispeten küçük ama bir SK molekülüne kıyasla büyük olan bir hacimde moleküllerin makroskobik olarak tercih ettiği yönü temsil eder.

b) *Düzen parametresi (S)* : Hacim içinde, direktör yönünde moleküllerin dağılımını temsil eder (Şekil 2.14) [Cristaldi, 2009].



Şekil 2.14. Düzen parametresini tanımlamak için kullanılan geometri.

Düzen Parametresi

Bir sıvı kristal sistemde devrenin kapalı ve açık durumları arasındaki kontrastın yüksek olmasını sağlamak için yüksek bir düzenlilik parametresi gereklidir. S parametresinin alabileceği en yüksek değer 1'dir, ancak bu mükemmel durumun pratikten uzak olması sebebiyle 0,73'ten daha yüksek bir değer iyi kontrast verdiği ve teknik olarak kabul edilebilir olduğu görüşüne varılmıştır. Pozitif kontrastlı yani dikroik oranı pozitif olan boyaları kullanan Y-H tipi sıvı kristal göstergelerde beyaz alt zemine karşılık siyah şekiller, beyaz alt zemindeki diğer renkli şekillerden daha iyi kontrast sergilemektedir. Sarı, kırmızı ve mavi boyalar uygun oranlarda karıştırılarak siyah boya elde edilebilmektedir. 1970 ile 1980 yılları arasında Y-H tipi sıvı kristal göstergelere büyük emek harcanırken, voltajdaki fazlalıktan ve az miktarda olsa bile boyadaki bozunma kabul edilemez boyutta güç kaybına sebep olduğundan, ana uygulama tek renk panellerde olmuştur. Ancak ince ve geniş alan ekranların basit yolla yapımına imkân verdiği için kolesterik sıvı kristal göstergelere yenilenen bir ilgi söz konusudur.

Düzen Parametresinin Tanımı

Geometrik olarak anizotrop bir boya sıvı kristalde çözündüğü zaman, boya molekülleri sıvı kristal yönünde (yani sıvı kristalin uzun moleküler ekseninin baskın

yönlenme doğrultusu n boyunca) sıralanmaya meyleder. Dikroik boya etkinliğini değerlendirmede ana kriterlerden birisi, sıvı kristal yönüne göre boyanın renginden sorumlu olan uzun dalga elektron geçiş osilatörünün (LETO : Long-wave electron transition oscillator) düzenlenme derecesi veya diğer bir deyişle düzen parametresidir. Bu parametre (S), DB'nin sıvı kristal içindeki çözeltisinin elektron polarizasyon spektrumundan aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir.

$$S = (D_{\parallel} - D_{\perp}) / (D_{\parallel} + 2D_{\perp}) \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

$D_{\parallel}$: Sıvı kristal içerisindeki DB çözeltisinin sıvı kristal yönüne paralel ölçülen optik yoğunluğu

$D_{\perp}$: Sıvı kristal içerisindeki DB çözeltisinin, sıvı kristal yönüne dik konumda ışık polarizasyonu için ölçülen optik yoğunluğudur. Kural olarak bu yoğunluklar maksimum absorpsiyon bandında ölçülür.

DB etkinliğini karakterize etmek için sıkça kullanılan dikroik oran R 'nin S ile ilişkisi aşağıdaki gibidir.

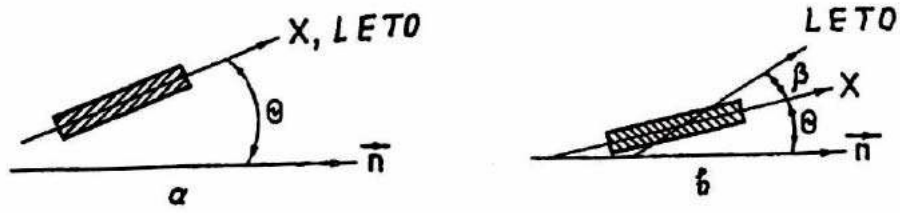
$$S = (R - 1)/(R + 2) \quad (2.2)$$

LETO dikroik boya molekülünün uzun geometrik eksenini x ile çakışırsa (Şekil 2.15-a), S 'in değeri sıvı kristaldeki DB uzun molekül eksenlerinin geometrik düzenlenme derecesine eşittir ve sıvı kristalin düzenlilik parametresi S^G ile aynı şekilde bulunabilir.

$$S = S^G = 0,5 (3\cos^2\theta - 1) \quad (2.3)$$

Burada;

θ : Numunedeki DB moleküllerinin tamamı için ortalama doğrultu n ile her bir DB molekülünün uzun eksenini (LETO) arasındaki açıdır.



Şekil 2.15. Dikroik boya tipleri : (a) x ile LETO çakışık, (b) x ile LETO çakışmaz

DB moleküllerinin çoğunluğunun çakışmaması durumunda DB LETO'su x eksenine göre β açısıyla polarize edilir (Şekil 2.15-b) ve bu nedenle S ile S^G arasındaki ilişki şöyle verilebilir:

$$S = S^G (1 - 3/2 \sin^2 \beta) \quad (2.4)$$

$\theta=0$ için β açısı arttıkça düzenlilik parametresi azalır. β açısının 0° - 54° aralığındaki değerleri için $S>0$ 'dır. $S>0$ olan boyalar *pozitif dikroik boyalar* veya *L boyalar* (Longitudinal: boyuna) olarak bilinir. β açısı 54° - 90° aralığında ise $S<0$ 'dır ki bu boyalar *negatif dikroik boyalar* veya *T boyalar* (Transverse: enine) diye adlandırılır. $S=0$ olan ($D_{||}=D_{\perp}$) boyalar da *izotropik boyalar* veya *I boyalar* olarak bilinirler. Genelde S'in -0,05 ile +0,10 arası değerlere sahip olduğu boyalar I boyalardır. Görünür bölge spektrumunda 2 veya daha fazla absorpsiyon bandı gösteren, S'in zıt işaretli değerlerine sahip olan dikroik boyalar da vardır. Bu boyalar sırasıyla LT ve TL boyalardır. Benzer şekilde LI ve IL veya IT ve TI boyalar da bulunmakla birlikte bunun örnekleri çok az sayıdadır.

Kaynaklarda S parametresi için farklı semboller ve farklı tanımlamalar da vardır. Absorptiviteye bağlı olarak bu eşitliği aşağıdaki gibi yazmak mümkündür.

$$S = (A_{||} - A_{\perp}) / (A_{||} + 2A_{\perp}) \quad (2.5)$$

Burada;

$A_{||}$: Gün ışığının elektrik vektörü moleküler yöne paralel olduğu zaman kristaldeki boya için maksimum dalga boyunda ölçülen optik yoğunluk,

$A_{\perp}$: Gün ışığının elektrik vektörü moleküler yöne dik olduğu zaman kristaldeki boya için maksimum dalga boyunda ölçülen optik yoğunluktur.

Dikroik oran (R) veya kontrast oranı (CR), Y-H hücredeki boyanın etkinliğini değerlendirmede kullanılır. CR, Eşitlik (2.6) ve (2.7) ile tanımlanır:

$$CR = A_{\text{off}} / A_{\text{on}} \quad (2.6)$$

veya:

$$CR = A_{||} / A_{\perp} \quad (2.7)$$

Birçok simetrik ve nematik sıvı kristalde dikey ışık hızı paralelden daha azdır ve bu maddeler optikçe pozitifdir. Kolesterik nematikte ise dikey ışık hızı maksimumdur.

Dikroik Boyanın Kimyasal Yapısının Düzen Parametresine Etkisi

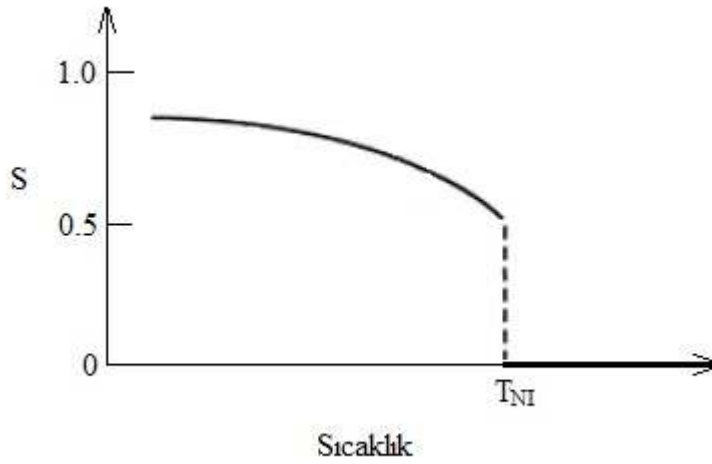
Nematik sıvı kristal çoğunlukla çubuğumsu yapıdadır. Boya molekülü SK içinde çözüldüğü zaman bu yapıya benzer şekilde düzenlenmesi beklenir. Bu düşünceden hareketle uzun yıllar, boya araştırmalarında farklı konumlarına farklı sübstitüentler konularak yapısı modifiye edilen, çubuğumsu molekül yapıları sahip boyarmaddeler kullanılmıştır. Ancak sonuçlar, bu yaklaşımın sadece L boyalar için etkin olduğunu göstermiştir. Bunun dışında çubuğumsu dikroik boya olarak birçok boyarmadde, özellikle antrakinin ve azoyapılılar kullanılmıştır. Bu incelemeler göstermiştir ki çubuğumsu boyaların düzenlenme derecesi, boyanın yapısına ve özellikle geometrik

anizotropi gibi özelliklerine, molekülün ana kısmının uzunluğuna, süstitüentlerin yapısı ve konumuna kuvvetli derecede bağlıdır.

DB çözünürlüğünü artıran bileşenler genelde alkil grupları veya RO-, RS-, RCOO-, ROOC-, RHN- ve R₂N- gibi diğer süstitüenleri içeren gruplardır. Aromatik, heterosiklik, sikloalifatik ve diğerleri gibi bir seri blok, DB'ya sıvı kristal içinde içinde iyi dolgu düzeni sağlar. Azo, nafto ve antrakınon 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 -CH₂-, -CH₂CH₂-, -COO-, CONH-, -COS-, -O-, -S- vb. ile veya basit C-C hatlarıyla bağlanabilir. Bu tür bir yapının belirgin özelliği sıvı kristal molekülleriyle yakın sarılmasına izin vermemesi, sıvı kristalin DB molekülü içine yerleştirilmesidir. S değeri 0,77'ye varan bazı sıvı kristal azo boyalar hazırlanmış olmasına rağmen, 415 nm'deki absorpsiyon maksimumlarından dolayı uygun bulunmamışlardır. 1- ve 1,5-Süstitüe alkil gruplu antrakınon boyaların negatif, 2- ve 2,6- boyaların ise pozitif S değerine sahip oldukları ileri sürülmüştür [Cox, 1979; Pellat, 1980; Ivashchenko, 1994; Ghanadzadeh, 2001; Akkurt, 2009] .

Sıcaklığın Düzen Parametresine Etkisi

Hem katı hem de sıvı halde iken S parametresinin değeri, izotropik faza yaklaştıkça azalmakta, izotropik faza geçiş sıcaklığında süreksiz bir şekilde kaybolmaktadır ve izotropik fazda sıfıra eşittir (Şekil 2.16). Bu da, berraklaşma sıcaklığı (clearing point) olarak da bilinen nematik-izotropik faz geçişi sıcaklığına (T_{NI}) karşılık gelmektedir [Kumar, 2001].



Şekil 2.16. Termotropik sıvı kristallerde nematik düzen parametresinin (S), sıcaklığın (T) fonksiyonu olarak gösterimi [Kumar, 2001]

Deneysel olarak düzen parametresi birkaç yolla ölçülebilir. Nükleer manyetik rezonans (NMR), optik çift kırılma ve Raman saçılma deneyleri bunlara birer örnektir [Emek, 2007].

Dielektrik Sabiti ve Optik Anizotropi

Nematik yapı tüm moleküllerin farklı aralık ve farklı yönlerde fakat aynı doğrultuda yönelmesiyle oluşur. Nematik sıvı kristaller, anizotropisi gereği elektrik alan, manyetik alan ve optik alan gibi dış etkilere son derece hassastır. Bu yüzden moleküler yönelimleri, uygulanan elektrik alanla değişebilmektedir. Kalıcı veya etki ile oluşturulmuş (indüklenmeli) elektriksel dipol momente sahip moleküller uygulanan alan boyunca yönelerek sistemin enerjisini minimize ederler. Dielektrik sabiti ϵ , sıvı kristaller ile uygulanan alanın etkileşiminin ölçüsü ve $\Delta\epsilon$ ise ortamın dielektrik anizotropisidir. Sıvı kristalin dielektrik anizotropisi ne kadar büyükse moleküllerin yönelimi o kadar kolay olur. Yani daha küçük elektrik alan moleküllerin yönelimi için yeterli olacaktır. Bu yönelimin sağlanabilmesi için elastik ve viskoelastik kuvvetlerin üstesinden gelinmesi şarttır (*Fredericksz etkisi*). Ortamın dielektrik anizotropisi, sıcaklık arttıkça azalış gösterir. İzotropik faza geçiş sıcaklığının üstüne çıkıldığında bu değer yaklaşık sıfır olur.

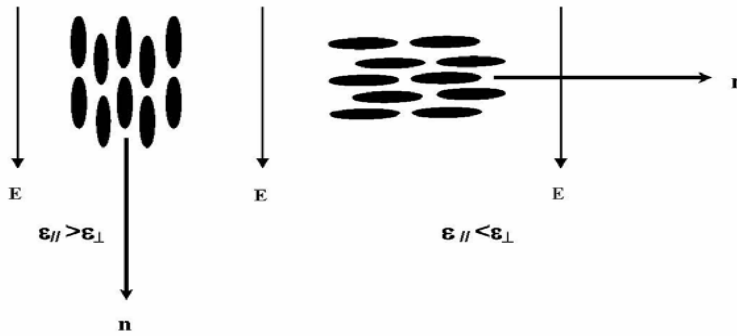
$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} \quad \text{ki burada;} \quad (2.8)$$

$\Delta\epsilon$: Ortamın dielektrik anizotropisi

$\epsilon_{\parallel}$: Elektrik alana paralel yönde ölçülen dielektrik sabiti

$\epsilon_{\perp}$: Elektrik alana dik yönde ölçülen dielektrik sabitidir.

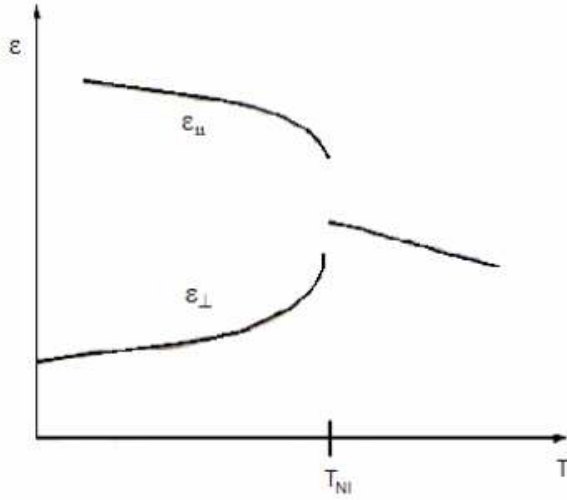
$\Delta\epsilon > 0$ ise moleküller elektrik alana paralel, $\Delta\epsilon < 0$ ise alana dik olarak yönelirler (Şekil 2.17) [Gennes, 1998; Köysal, 2007].



Şekil 2.17. Sıvı kristallerde dielektrik anizotropiye bağlı molekül yönelimleri [Akkurt, 2009]

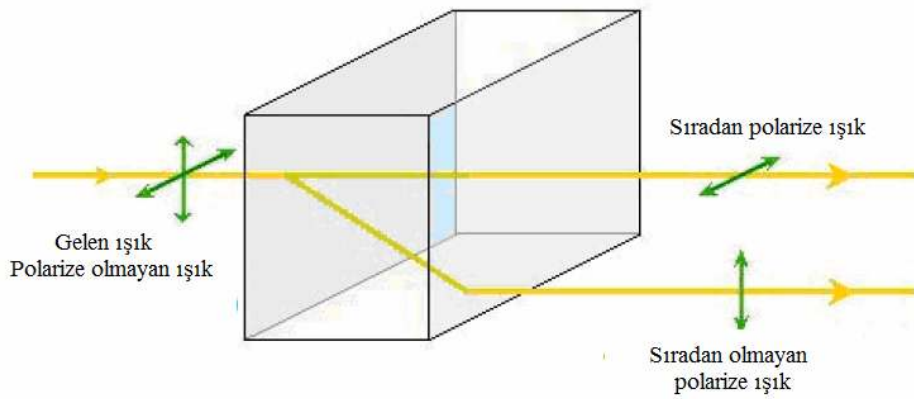
Çubuk şekilli sıvı kristaller herhangi bir etkiye maruz kaldıkları vakit hem moleküller üzerinde bir döndürme kuvveti (tork), hem de bunu dengeleyici viskoz kuvvetleriyle karşılaşır. Polarize bir ışık sıvı kristal içinden geçtiğinde, optik tork ışığın şiddeti ve malzemenin dielektrik anizotropisi ile orantılı olacaktır. Kullanılan nematik yapılı sıvı kristallerin pozitif dielektrik anizotropisi, moleküler eksenin gelen optik dalganın yönünde yönelmesini sağlar. Sıvı kristallerle katkılanan belirli orandaki boya, saf halde meydana gelen torktan daha fazla tork oluşturur. Boya torku absorpsiyon katsayısı ile orantılıdır. Boya katkısı sıvı kristalin tepkisini artırır.

Dielektrik anizotropi aslında sıvı kristal göstergelerin daha düşük eşik voltajında çalışmalarına olanak sağlamalarından ötürü sıvı kristal bileşiklerin en önemli fiziksel parametrelerinden biridir [Sasada ve Miyazaka, 2003].

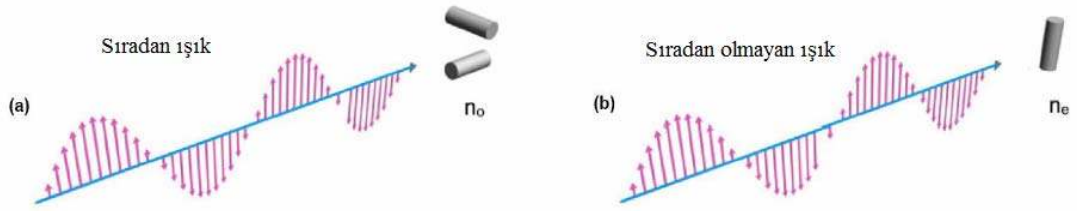


Şekil 2.18. Sıvı kristallerde dielektrik anizotropinin sıcaklığa bağlı değişimi [Kumar,2001]

Bu durum teknik olarak şu şekilde açıklanabilir. Polarize olmayan bir ışık sıvı kristale girdiği zaman ikiye ayrılır ve düzlem polarizedir. Elektrik alan vektörleri dik yönelimlerde ve sıvı kristal ortamda farklı hızlarda yayılmaktadırlar, dolayısıyla n_o ve n_e olmak üzere iki farklı kırılma indisi oluşmaktadır (Şekil 2.19 ve 2.20).



Şekil 2.19. Sıvı kristal ortamdaki polarize olmayan ışığın davranışı [Akkurt,2009]



Şekil 2.20. Sıvı kristalde ışığın moleküler eksen boyunca yayılması; (a) Sıradan ışık, (b) Sıradan olmayan ışık; n_o sıradan kırılma indisi, n_e sıradan olmayan kırılma indisi [Akkurt, 2009]

Bunlardan ilkinde n_o , gelen polarize ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu sıvı kristalin direktör eksenine dik olacak şekildedir (Şekil 2.20-a). n_e 'de ise gelen ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu sıvı kristalin optik eksenine paralel olacak şekildedir (Şekil 2.20-b).

Optik anizotropi, olarak da adlandırılan çift kırınım sıvı kristallerin karakterizasyonunda önemli rol oynamaktadır.

$$\Delta n = n_{||} - n_{\perp} \quad \text{ki burada;} \quad (2.9)$$

Δn : Optik anizotropi

$n_{||}$: Optik eksene dik olan kırılma indisi

$n_{\perp}$: Optik eksene paralel olan kırılma indisidir.

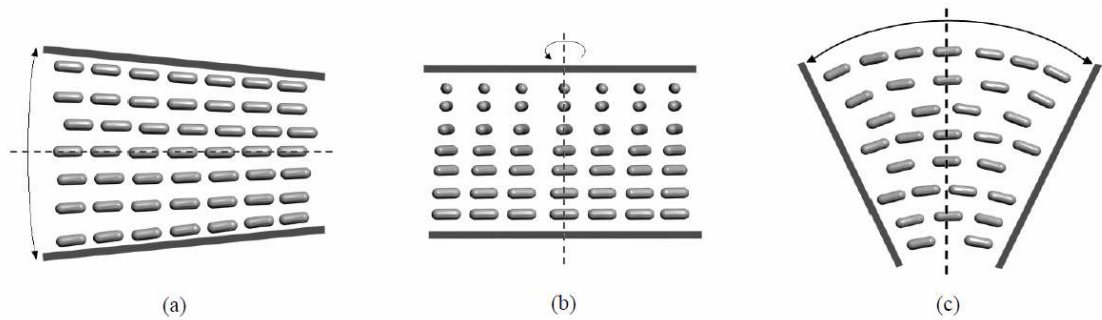
Eğer optik eksene paralel yayılan ışığın kırılma indisi diğer bileşenden daha büyükse optik anizotropi pozitifdir. ($\Delta n > 0$); tam tersi durumda ise negatiftir ($\Delta n < 0$). Genelde nematik sıvı kristaller için Δn ; 0,05 ile 0,5 arasında değişmektedir. Malzemenin uzunluğu ise başka bir önemli parametredir, çünkü faz kayması ışığın çift kırılmaya sahip malzeme boyunca ilerlemesi sırasında artmaktadır. Çift kırılma ve uzunluk parametrelerinin doğru birleşimi sonucunda istenilen polarizasyon durumunun elde edilmesi mümkündür.

Optik anizotropi özelliği optik anahtarlama, SK ekranlarda, faz geciktiricilerde ve elektriksel olarak kontrol edilebilen uzaysal ışık modülatörü gibi birçok cihazda geniş uygulama alanına sahiptir [Emek, 2007; Akkurt, 2009].

2.4.2. Sıvı kristallerin elastisite özellikleri

Nematik sıvı kristal yığını için en düşük enerjili hal, malzeme içerisinde direktör boyunca tek yönelime karşılık gelmektedir. Sınırlar, mekanik stres ve dışarıdan uygulanan alanlar SK'lerin moleküler yönelimlerini deforme eder ve elastik güçlerin oluşmasına neden olur. Elastisiteye bağlı yönelimin bir sonucu olarak her zaman direktör varyasyonlarının aksi yönünde olacak şekilde bölgesel bir elastisite torku oluşur. Nematik SK'lerde oluşan deformasyonlar üç sınıf altında incelenebilir (Şekil 2.21). Birincisi yayılma deformasyonudur, moleküller dışarıdan uygulanan stresle yayılırlar. İkincisi burulma deformasyonudur, dışarıdan uygulanan stres moleküllerin burulmasına neden olur. Üçüncüsü ise bükülme deformasyonudur, moleküllerin dışarıdan uygulanan strese bükülerek cevap vermesiyle oluşur [Cristaldi, 2009].

Teknolojik uygulamalar sırasında genellikle iki tabakanın arasına konularak kullanıma hazır hale getirilen SK'lerde genel olarak deformasyonlar bu üç biçimin karışık olarak görülmesiyle ortaya çıkar.



Şekil 2.21. Nematik sıvı kristallerde dışarıdan uygulanan mekanik stres ile oluşan molekül yönelimleri (a) yayılma, (b) burulma, (c) bükülme [Cristaldi,2009].

2.4.3. Sıvı kristallerin viskozite özellikleri

Viskozite, SK'lerin dinamik hareketleri üzerinde kayda değer ölçüde etkindir. Örneğin, düşük sıcaklıklarda viskozitenin artırılması, moleküllerin hareket olasılıklarını azaltır ve bu da SK'lerin uygulamalarında en önemli kısıtlayıcı faktörlerden biridir. Kinematik (ν) ve dinamik (η) viskozite değerleri arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$\nu = \frac{\eta}{\delta} \quad (2.10)$$

Burada δ malzeme yoğunluğudur. Genellikle SK malzemelerin çok büyük bir kısmı için bu değer $1\text{N.s}^2/\text{mm}^4$ olarak alınır.

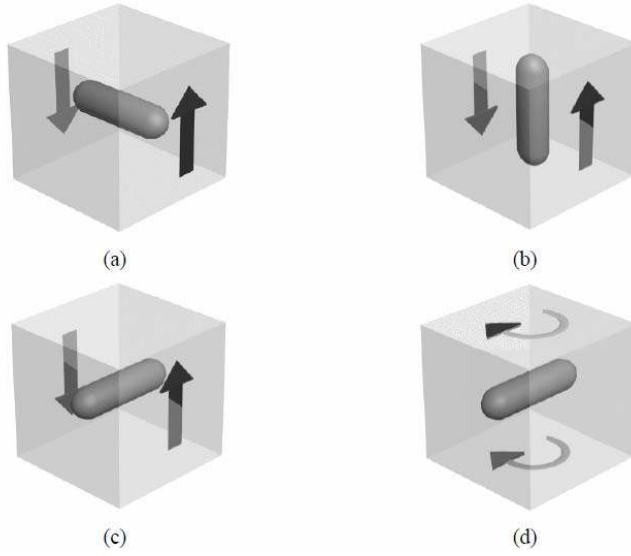
Bir nematik SK'i tam olarak karakterize edebilmek için dört viskozite sabiti tanımlanmalıdır. Bunlardan üçü geçişe bağlı viskozite η_1 , η_2 , η_3 (Miesowicz viskoziteleri olarak da bilinir), dördüncüsü ise dönüşe bağlı viskozitedir (η_4) (Şekil 2.22).

η_1 : Direktör akış yönüne dik ve hız gradyanına paralel

η_2 : Direktör akışa ve hız gradyanına paralel

η_3 : Direktör akışa ve hız gradyanına dik

η_4 : Moleküler direktöre dik eksen etrafında dönüş yaparlar.



Şekil 2.22. SK’lerde geçişe ve dönüşe bağlı viskozite sabitleri (a) η_1 , (b) η_2 , (c) η_3 , (d) γ [Cristaldi, 2009].

Miesowicz viskoziteleri olarak bilinen değerler (η_1 , η_2 , η_3), iki plaka arasına yerleştirilmiş SK moleküllerinin, levhalar arasına konulmaları sırasında ve dışarıdan verilecek etkiler ile oluşacak yönelmeleri ile dolayısıyla düzen parametresi ile doğrudan ilişkilidir.

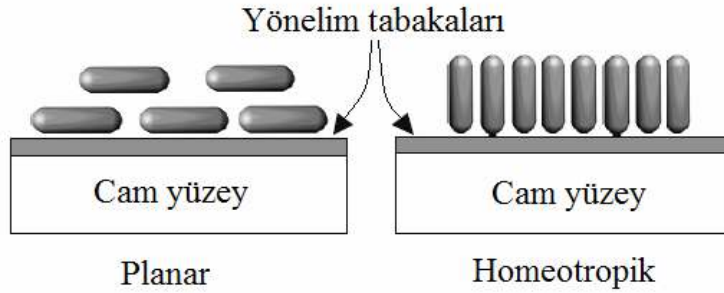
Dördüncü parametre olan dönüşe bağlı viskozite ise, ekranlarda kullanılan SK'lerin özelliklerini değiştirmede (nematik molekülün bir etki altında kalması ile veya bir elektrik alan uygulaması ile yöneliminin değiştirmesi sırasında) büyük önem taşır. LCD'lerde cevap verme süresi bu parametreye ve SK hücrenin kalınlığına bağlıdır. Tipik dönüşe bağlı viskozite değeri SK'ler için 0,02- 0,5 Pa.s arasında değişmektedir [Emek, 2007; Cristaldi, 2009].

2.5. Sıvı Kristallerde Yönelimler

Uygulamaların ve deneylerin çoğunluğunda ince bir nematik SK tabakası (ekran uygulamalarında 2-10 mikron) iki alttaşın arasına sandviç yapılır ve genellikle cam tabakalar kullanılır. Alttaş yüzeyinin yakınındaki SK moleküllerin yönelimi, özel yüzey kaplamasından (organik veya inorganik yapıli film vb) ve/veya direktör

yönünü kontrol etmeye yarayan işlemlerden etkilenir. Genellikle SK ile yüzey arasındaki etkileşim oldukça güçlüdür ve sınırlardaki güçlü bağlanma nedeniyle yığının içerisinde n 'in yönünün değişmesine izin vermez. Sıvı kristallerin yönelimlerini dolayısıyla elastisite torkları etkiler.

SK moleküllerinin yönelimlerinde iki temel geometri bulunmaktadır. biri *planar* (*homojen/paralel*) *yönelim* ki bu sistemde n yüzeye paraleldir, ikincisi ise *homeotropik* olandır ki bu sistemde de n yüzey normali ile aynı yöndedir (Şekil 2.23).

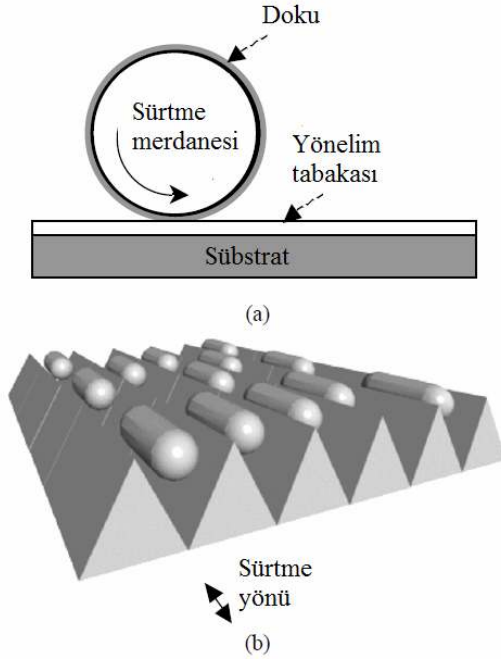


Şekil 2.23. Katı cam üzerine uygun kaplama yapılmış yüzeyde nematik kristallerin yönelimleri; planar durumda direktör alttaş yüzeye paralel, homeotropik durumda ise dik durumdadır [Cristaldi, 2009].

Planar yönelimi elde etmek için yaygın olarak kullanılan yöntem *sürtme* yöntemidir. ITO kaplı cam yüzey ince polimer bazlı (polimit, naylon ya da polivinilalkol vb) bir filmle kaplanır kaplama tabakası cam yüzeyin üzerine yayılır ve yumuşak bir doku ile aynı yönde defalarca (yaklaşık 100 kez) sürtülür. Bu yöntemle yüzeyde mikroskobik yivler oluşturulur. ITO camın geçirgenliği yüksektir, kalın kaplamalarda dahi ışık rahatlıkla geçebilmektedir. Ayrıca sıvı kristal malzeme ile etkileşime girmez ve çözünmez. Sıvı kristaller numune hücrelerine konulduğunda bu yivler arasına girerek yüzeye paralel olarak yönlendirilir (Şekil 2.24).

Bu yöntemle uzun mesafede SK'lerin yöneliminin aynı olmasını sağlayabiliriz. Yöntem basit olmasına karşılık, LCD'lerde homojen olmayan siyah bölgeler oluşturarak verim düşüşüne sebep olmakta ve yüzeyde oluşan statik yük birikimi ile

kirlilikler dezavantaj oluşturabilmektedir. Bu yönteme alternatif olarak, eğik buğulandırma, yönelimsiz gerdirme, mühürlereyerek yiv oluşturma gibi çalışmalar yapılmış, fakat gerçek başarı eldesi mümkün olmamıştır.

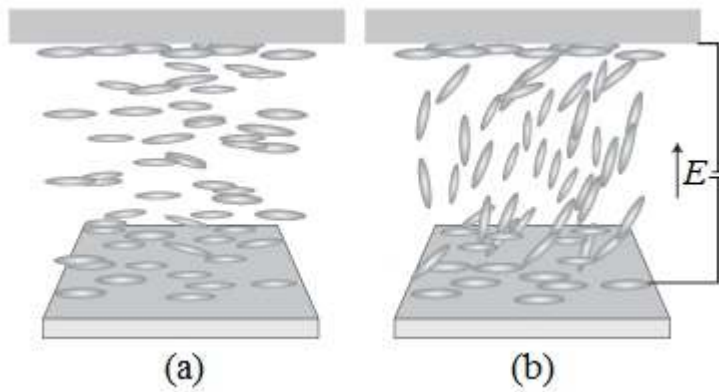


Şekil 2.24. Planar yönelimin sağlanması: (a) Yivlerin açılması, (b) Yüzeyde sürtünerek açılmış olan yivler boyunca yerleşen SK molekülleri [Cristaldi, 2009]

Şuna dikkat edilmelidir ki, sürtme işlemi SK moleküllerinin küçük bir açı ile direktör yönünden hafifçe yukarı bir miktar sapmasına neden olur. Bu da elektrik alan uygulandığında SK moleküllerinin homojen bir şekilde yönlenmesine yardımcı olmaktadır [Cristaldi, 2009].

Homeotropik yönlenmede ise moleküller yüzeye dik olacak şekilde durmaktadırlar. Bu yüzeyler oktadesiloksilan (ODSE) gibi oktedil zinciri ile yüzeye tutunarak yansıtıcı görev yapan malzemeler ile veya polar uçları bu tabaka tarafında toplanan amfifilik moleküllerin ince bir filmi (örneğin, HTAB (hekzadesil-trimetilamonyum-bromür) maddesi) ile kaplanır [Klysubun, 2002; Cristaldi, 2009].

Planar tipte hazırlanan pozitif dielektrik anizotropiye sahip bir sıvı kristal numune hücresinde moleküller dışarıdan uygulanan alan yönüne paralel olacak şekilde yönelirler ve yönlenimin sağlanabilmesi için sıvı kristalin elastik ve viskoelastik kuvvetlerin üstesinden gelmesi gerekir. Bu eşik değeri Freedericksz eşiği, olay ise *Freedericksz etkisi* olarak adlandırılmıştır (Şekil 2.25). Eğer uygulanan dış alan optik alan ise bu *Optik Freedericksz Geçişi* adını alır [Köysal, 2007].



Şekil 2.25. Planar yönelime sahip sıvı kristalde Freedericksz geçişi: (a) $E=0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$ kritik elektrik alan verildiğinde moleküler yönelim

Bazen uygulanan elektrik alan, moleküllerin oluşturduğu dielektrik polarizasyon ile etkileşebilir. Bu da bir direktör bozulması oluşturur. *Fleksoelektrik etki* olarak bilinen bu oluşum daha çok katılardaki piezoelektrik etkiye benzetilir [Akkurt, 2009].

Eşik alanının üstündeki değerlerde elektrik alanın uygulanması ile nematik sıvı kristallerde yüklü parçacıkların oluşturduğu hidrodinamik etkiden dolayı hücre içinde kalınlığa bağlı olarak periyodik mesafelerde moleküler yönelimde bozulmalar ortaya çıkmıştır. Alanın daha da arttırılması sıvı kristal moleküllerin türbülans hareketini kuvvetlendirir ve dinamik saçılmaların gözlenmesine yol açar [Köysal, 2007].

2.6. Sıvı Kristallerin Uygulama Alanları

Sıvı kristallerin anizotropik yapısıyla birlikte gelen sıcaklık, elektrik ve manyetik alan ve basınçtan etkilenme özellikleri, güç kayıplarının az olması, küçük boyutlarda olmaları ve kullanıldıkları sisteme sağladıkları uyum gibi özellikleri kullanım alanlarını geçmişten günümüze dek oldukça genişletmiştir.

Günümüzde SK'lerin birçok alanda teknik olarak kullanıldığını görmek mümkündür. Özellikle göze çarpan uygulamalar arasından düz ekran televizyonlar, bilgisayar ekranları, bükülebilir sayfa inceliğinde ekranlar ve dijital saatleri örnek olarak verebiliriz. Değiştirilebilir cam adı verilen bir uygulamada, sıvı kristallerin yardımıyla cam şeffaf halden bir anahtar yardımıyla opak hale dönüşebilmekte ve perde görevi görebilmektedir. SK filmler düşük voltajda çalışabilme özellikleri ile de ucuz bir üründür.

NASA'nın sıvı kristal polimerleri uzay teknolojilerinde kullanma fikri yakın zamanda ortaya çıkmıştır. Georgia Teknoloji Enstitüsünde yapılan bir araştırmada SK polimerlerin uzay araçlarının anten ve çanaklarında kullanılabileceği görülmüştür. SK polimerler kolay şekil alabilmekte, farklı sıcaklık aralıklarında yüksek performansta çalışabilmekte ve radyasyona karşı direnç göstermektedir. Bazı bilim adamları ise SK'lerin biyosilah sensörü olarak kullanımı üzerinde çalışmaktadırlar. SK'den yapılmış olan cihazın dışarıdan gelen ışık ile renk değiştirerek havadaki tehlike hakkında bilgi verebileceği üzerinde durulmaktadır [Williams, 2009].

Sıcaklığa hassas termotropik SK'lerin uygulamalar ise oldukça ilginç yerlerde karşımıza çıkmaktadır. Bu tip SK'lerden yapılmış sıcaklıkla renk değiştiren giyim eşyaları ve aksesuarlar, tabaka biçimli termometreler bunlara örnek olarak verilebilir.

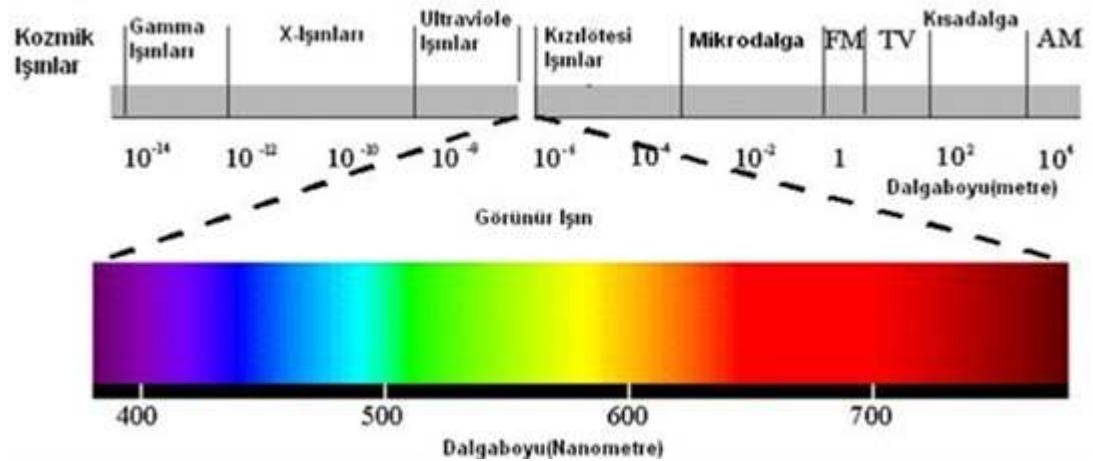
Kolesterik sıvı kristaller ise özellikle tıbbi uygulamalarda, sensör kullanımlarında, renkli sıcaklık ölçüm çalışmalarında, kozmetikte, dekorasyonda yaygın kullanıma

sahiptir. Ayrıca bu tip sıvı kristallerin yapısında yabancı gazlar renk değişimine neden olur. Bu özelliklerinden ötürü hava kirliliği tespitinde kullanılmaktadırlar [Tan, 2005].

Liyotropik sıvı kristaller insan vücudunun biyolojik yapısına uyumlu olması nedeniyle yiyecek, sabun, merhem ve deterjan sanayilerinde kullanılır ve bazı hastalıkların oluşum nedenlerinin araştırılmasında yardımcı olmaktadır. İlaçların amfifilik özellik göstermesi için de katkı olarak liyotropik sıvı kristallerden faydalanılır [Müller, 2004].

3. RENKLER VE BOYALAR

Renk, madde üzerine düşen ışınların absorpsiyon, yansıma değerleri ile ilgili olarak ortaya çıkar. Renklendiriciler, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesindeki (400-700 nm) ışığı kısmen ya da tamamen soğurma yeteneği olan maddelerdir. Bir bileşiğin üzerine düşen ışınların soğurulması sırasında, bileşiğin moleküllerindeki elektronlar, aktifleşmeleri için gerekli enerjiye karşılık gelen ışınları (rengi) absorbe ederler, geri kalanını yansıtırlar.



Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum

Bir cisim, üzerine düşen beyaz ışığın tamamını yansıtırsa beyaz renkte, tamamını absorblayıp hiç yansıtmazsa siyah renkte görünür. Cisim, üzerine düşen beyaz ışıktan belli dalga boyundaki ışık ya da ışıkları absorbe ediyorsa beyaz ışıktan kalan diğer ışıklar yansır ve bu yansıyan ışınların dalga boyuna bağlı olan renkte görünür (Şekil 3.1).

Yapılan araştırmalar bir bileşiğin renkli olması için konjuge çift bağ içermesi gerektiğini göstermiştir. Çift bağlardaki π elektronlarının kolaylıkla aktifleştirilmeleri nedeniyle, görünen spektrum bölgesinde (400-750 nm) bir absorpsiyon için, bileşikte çift bağların bulunması şarttır. Bugün kullanılan sentetik boyarmaddelerin çoğunda çift bağ içeren molekül olarak benzen, naftalin, antrasen

gibi aromatik çekirdekler kullanılmaktadır. Mor ötesi ışınları absorbe ederek aktifleşmeleri nedeniyle, bu çekirdekler tek başlarına renksiz olarak görünürler. İnsan gözünün bunların rengini fark edebilmesi, kromofor denilen ve aromatik çekirdeklerin mor ötesi ışınlar bölgesinde olan absorpsiyonunu görünür spektrum bölgesine kaydıran belirli grupların moleküle bağlanması ile mümkündür. Kromofor, organik bir molekül içinde renkli görünümü sağlayan atom, atom grubu veya elektronlardır. Kromofor; nitro ($R-NO_2$), nitrozo (N_2O), azo ($-N=N-$), karbonil ($C=O$), etilen ($-C=C-$), tiyokarbonil ($-C=S-$) gibi gruplardan oluşur. Boyarmadde yapısında yer alan ve kromofor içeren aromatik halkalı bileşiklere kromojen denir. Genellikle bunların renkleri soluk olduğundan oksokrom adı verilen elektron verici amino ($-NH_2$), süstitüe amino ($-NHR$, NR_2), hidroksil ($-OH$), metoksi ($-OCH_3$), sülfonik ($-SO_3H$) ve karboksil ($-COOH$) grupları gibi birinci dereceden substituentlerin ve antioksokrom denilen karbonil, nitrozo gibi ikinci dereceden substituentlerin bağlanmasıyla hem renk koyulaşır; hem de renkli bileşik malzemeye karşı afinite kazanarak boyarmadde niteliği elde eder.

Renklendiriciler, boyarmaddeler ve pigmentler olarak sınıflandırılırlar. Bu terimler arasındaki fark çok kesin olmayıp, pigmentler bazen boyarmaddelerin bir sınıfı olarak da kabul edilmektedir. İdeal pigmentler, uygulandıkları ortamda hiç çözünmeyen bileşiklerdir. Pigment partikülleri, altaşa polimer, plastik gibi bir katkı maddesiyle bağlanır. Boyarmaddeler ise tekstil materyalleri, deri, kağıt, saç gibi çeşitli altaşlara tamamen ya da kısmen çözündüğü bir sıvı içinde uygulanır. Çoğu sınıf pigmentler, özel bir ortamda hemen hemen hiç çözünmeyebilir ama başka bir ortamda bir dereceye kadar çözünebilir. Pigmentlerin kısmi çözünürlüğü uygulama ortamına ve işlem koşullarına, özellikle işlem ısısına bağlıdır.

Boyarmaddeler ise uygun ortamlarda az ya da çok çözünebilen, altaşla çeşitli fiziksel ve kimyasal etkileşimler yapabilen renklendiricilerdir. Pigmentlerin aksine boyarmaddelerin kullanıldıkları altaşlara karşı özel bir ilgilerinin olması gerekmektedir. Boyarmaddeler renk verecekleri yüzey üzerine bir veya birkaç fiziksel bağla bağlanır. Bu bağlar; hidrojen bağları, Van der Waals, elektrostatik veya

koordinasyon bağlarıdır. Belirli durumlarda ise kovalent bağlarla kimyasal olarak bağlanırlar [Kılınçarslan, 1999; Akın, 2006; Nas, 2006].

3.1. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Boyarmaddeler, farklı ortak özellikler kullanılarak çok çeşitli şekilde sınıflandırılmışlardır. Bunların en çok kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Boyarmaddelerin elde edilişlerine göre sınıflandırılması

Pratikte, bugün kullanılan bütün boyarmaddeler sentez ürünleridir. Bununla birlikte bitkilerden ve hayvansal kaynaklardan türeyen boyarmaddeler de vardır. Buna göre, boyarmaddeler elde ediliş şekillerine göre ikiye ayrılırlar.

Doğal Boyarmaddeler

1860 yılından sonra başlayan sentetik boyarmadde üretimine kadar, tekstilde tüm renklendirmeler doğal boyarmaddeler ile gerçekleştiriliyordu. Doğal boyarmadde uygulamalarının ve araştırmalarının başlangıcı Çin ve Orta Asya'ya dayanmaktadır. Doğal boyarmaddeler, doğada mevcut bitkilerin, kök-gövde, yaprak, meyve ve meyve kabuklarının yapısında ya da hayvanların genelde kabuklu deniz böcekleri, salyangoz ve kosnil yapısında mevcut boyarmaddeler olarak tanımlanabilir. Bu tip boyarmaddeler uygulama güçlükleri nedeniyle endüstriyel anlamda önem taşımamaktadırlar.

Doğal boyarmaddeler kendi içerisinde üç ana grupta incelenir. Bu grubun ilk üyesi bitkisel boyarmaddelerdir. Grubun ikinci üyesi hayvansal boyarmaddeler, üçüncü grup ise mineral boyarmaddeler çözünürlüğü olmayan anorganik pigmentlerin, doğal şekilde oluşumu ile elde edilen renklerdir. Madenler; prusya mavisi, krom sarısı ve demir kahverengi gibi boyarmaddelerin kaynağını oluşturur. Bu boyarmaddeler birinci dünya savaşı sonuna kadar kullanılmış ve sonra yerini azo ve küp boyarmaddelere bırakmışlardır.

Sentetik Boyarmaddeler

Sentetik boyarmaddeler, organik kimyasal hammaddelerden üretilmiş boyarmaddelerdir. İlk defa 1856 yılında kömür katranından üretilmiştir. Kömür katranından yapılmış sayısız boyarmadde bileşigi mevcuttur. Sentetik boyarmaddelerin ard arda geliştirilmesi sonucunda doğal boyarmaddeler anlamlarını yitirmişlerdir. Doğal boyarmaddelere karşın sentetik boyarmaddeler hazır petrokimyasal hammaddelere dayanarak uygun maliyetlerde üretilebilmiştir.

Sentetik boyarmaddeleri, boyarmaddenin kimyasal bileşenlerinin tipine ve uygulama metoduna göre dört gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki anyonik fonksiyonel grup içeren boyarmaddelerdir. Bu grup boyarmaddeler sulu çözeltilerinde ayrışarak negatif yüklü renkli iyonlar verirler. İkinci grup, katyonik grup içeren boyarmaddelerdir. Bu grup boyarmaddeler sulu çözeltilerinde ayrışarak pozitif yüklü renkli iyon verirler. Bu tipteki tek yaygın boyarmadde çeşidi bazik boyarmaddelerdir. Üçüncü grup uygulama öncesi kimyasal tepkime gerektiren boyarmaddelerdir. Dördüncü grup ise özel renklendirici boyarmaddeler olarak adlandırılır. Dispersiyon, pigment, solvent boyarmaddeleri gibi kendilerine özgü boyama mekanizmaları olan boyarmaddelerdir [Koca, 2005].

3.1.2. Boyarmaddelerin çözünürlük özelliklerine göre sınıflandırılması

Suda Çözünen Boyarmaddeler

Boyarmadde molekülü en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşır. Sentez esnasında kullanılan başlangıç maddeleri suda çözünen grup içermiyorsa, bu grubu boyarmadde molekülüne sonradan ilave etmek suretiyle çözünürlük iyonla sağlanabilir. Ancak boyarmadde sentezinde tercih edilen yöntem, başlangıç maddelerinin iyonik grup içermeleridir. Suda çözünebilen boyarmaddeler tuz teşkil edebilen grubun karakterine göre üçe ayrılır.

Suda Çözünen Anyonik Boyarmaddeler: Suda çözünen grup olarak en çok sülfonik ($-\text{SO}_3$), kısmen de karboksilik (COO^-) asitlerin sodyum tuzlarını içerirler ($-\text{SO}_3\text{Na}$ ve $-\text{COONa}$). Renk, anyonun mezomerisinden ileri gelir.

Suda Çözünen Katyonik Boyarmaddeler: Moleküldeki çözünürlüğü sağlayan grup olarak bir bazik grup ($-\text{NH}_2$), asitlerle tuz oluşturmuş halde bulunur. Asit olarak anorganik asitler HCl veya COOH gibi organik asitler kullanılır.

Zwitzer Karakterli Boyarmaddeler: Moleküllerinde hem asidik hem de bazik gruplar bulunur ve bir iç tuz oluştururlar. Boyama esnasında bazik veya nötral ortamda anyonik boyarmadde gibi davranırlar.

Suda Çözünmeyen Boyarmaddeler

Tekstilde ve diğer alanlarda kullanılan, suda çözünmeyen boyarmaddeler çeşitli gruplara ayrılırlar.

Substratta Çözünen Boyarmaddeler: Suda çok ince süspansiyonlar halinde dağılırlar. Özellikle sentetik elyaf üzerinde uygulanan dispersiyon boyarmaddeleri bu sınıfa girer.

Organik Çözücülerde Çözünen Boyar Maddeler: Bu sınıfa giren boyar maddeler her çeşit organik çözücüde çözünürler. Solvent boyarmaddeleri de denilen bu boyar maddeler sprej veya lak halinde uygulanır. Vaks, petrol ürünleri ve matbaa mürekkebinin renklendirilmesinde kullanılırlar.

Geçici Çözünürlüğe Sahip Olan Boyarmaddeler: Çeşitli indirgeme maddeleri ile suda çözünebilir hale getirildikten sonra uygulanabilir. Daha sonra malzeme içinde iken yeniden yükseltgenerek suda çözünmez hale getirilirler. Kükür ve kükürt boyar maddelerin uygulanması bu prensibe göredir.

Polikondensasyon Boyarmaddeleri: Malzeme üzerine uygulanırken veya uygulandıktan sonra birbiriyle veya başka moleküllerle kondanse olarak büyük moleküller oluşturan boyarmaddelerdir.

Elyaf İçinde Oluşturulan Boyarmaddeler: Elyaf içinde kimyasal bir reaksiyon ile iki ayrı bileşenden oluşturulan boyarmaddeler bu sınıfa girer. Suda çözünmeyen pigmentlerdir. Azoik boyarmaddeler ve ftalosiyanınlar bu sınıfa girer.

Pigmentler: Boyarmaddelerden farklı yapıda, substratlara karşı afinitesi olmayan bileşiklerdir. Pigmentler süspansiyonları halinde kuruyan yağlar ve reçineler içinde uygulanırlar.

3.1.3. Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılmaları

Genellikle boyama uygulayıcıları, boyarmaddenin kimyasal yapısına değil, onun hangi yöntemle malzemeyi boyayabildiğine bakmaktadır. Bu nedenle boyama özelliğine göre sınıflandırma yapılmıştır.

Bazik (Katyonik) Boyarmaddeler

Bunlar, organik bazların hidroklorürleri veya asetat tuzları şeklindedir. Renkli kısım katyon olup, pozitif yük taşıyıcı olarak N ve S atomu içerirler ve bazik (proton alan) olarak etki ettiklerinden sulu çözeltilerde bulunan boyarmadde katyonu elyafın anyonik gruplarıyla elyaf boyarmadde tuzunu oluştururlar. Bazik boyarmaddelerin en karakteristik özellikleri parlak olmaları ve geniş renk şiddetleridir. Yün, ipek ve pamuk üzerinde ışığa ve yıkamaya karşı mukavemetleri çok düşüktür. Günümüzde, bazik boyarmaddeler pamuk boyamada pek kullanılmazlar, çünkü reaktif boyarmaddelerle pamuk üzerinde çok parlak renkler elde edilebilmektedir.

Asit Boyarmaddeler

Moleküllerinde sülfonil ($-\text{SO}_4\text{H}$) veya karboksilik asit ($-\text{COOH}$) grubu içerirler. Asit boyar maddeler genellikle yün, ipek, poliamit (naylon,) katyonik modifiye akrilik elyafı, deri ve besin maddelerinin boyanmasında kullanılır. Asit boyarmaddeler, 60–80°C’de, düşük veya nötr pH değerlerinde kullanılır.

Direkt Boyarmaddeler

Bunlar genellikle sülfonik asitlerin, bazen de karboksilik asitlerin sodyum tuzlarıdır. Renkli kısmı oluşturan iyon, anyon şeklindedir. Yapı bakımından pek çoğu azo boyarmaddeler grubuna girer. Boyarmadde molekülleri Van der Waals ve hidrojen bağları sayesinde kümeleşir ve boyarmaddeler çok küçük olan kanallara difüze edilir. Boyarmadde konsantrasyonlarının çok yüksek olduğu yerlerden, düşük olduğu yerlere doğru hareket ederler. Kaynatma ile hareketlenen boyarmaddeler tuz ilavesiyle çözeltide dağılır ve ısıtıcı ile birlikte doğrudan uygulanabilirler. Direkt boyarmaddeleri ucuz olmaları, boyama işlemlerinin basit oluşu ve boyama sırasında malzemenin yıpranmaması gibi özelliklerinden dolayı tercih edilirler. Genellikle selülozik elyafın boyanmasında; bazen de, kâğıt, deri, ipek, naylon boyamada kullanılırlar. Boyama sırasında yüksek sıcaklığın yanı sıra boya banyolarına sodyum klorit veya sülfat eklenir.

Reaktif Boyarmaddeler

Malzeme üzerine kovalent bağla bağlanan bu boyarmaddeler selülozik elyaf, yün, ipek ve poliamit boyamada yaygın olarak kullanılır. 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. Reaktif boyarmaddeler ile yapılan yün boyama, nötr pH değerinde zayıf asit banyolarında yapılır.

Kükürt Boyarmaddeler

Kükürt boyarmaddeler amino ve nitro grupları içeren organik bileşiklerin, sülfür veya sodyum sülfid ile yüksek sıcaklıkta reaksiyonu sonucu elde edilir ve genellikle alkali banyolardan pamuk elyafın boyanmasında kullanılır. Ayrıca poliamit ve viskon rayon boyamada kullanılabilirler. Genellikle koyu mavi, siyah, kahve gibi koyu renkler kullanılır. Bu boyalar suda çözünmezler, kimyasal indirgeyici maddelerle alkali çözeltide çözünür hale getirildikten sonra yüksek sıcaklıkta (100°C) kullanılırlar.

Küp Boyarmaddeler

Moleküllerinde en az iki oksijen atomu içeren renkli bileşiklerdir. İri, ince ve çok ince toz halinde bulunabilirler. Donmaya karşı dayanıklı, kurumayan, çökmeyen, dispersiyon haline getirilmiş sıvılarda yaygın olarak kullanılır. Bu boyarmaddeler karbonil grubu içerir ve suda çözünmezler. Bunlar sadece indirgenme ile suda çözünür hale getirilerek boyamada kullanılırlar. Daha sonra oksidasyonla yeniden çözünmez hale getirilirler. İndirgeme aracı olarak Na_2SO_4 , NaOH ve NaHSO_3 ; oksidasyon için ise hava kullanılır. Işığa, yıkamaya, sürtünmeye karşı dayanıklıdır.

Mordan Boyarmaddeler

Bunlar asidik veya bazik fonksiyonel gruplar içerir. Sabitleyici anlamına gelen mordan olarak genellikle krom, bazen de Al, Sn, Fe, Cr tuzları kullanılır. Değişik şekillerde mordanlama gerçekleştirilebilir. Boyamadan önce mordanlama yapıldığında, krom bileşikleri katıldıktan sonra boyama gerçekleştirilir, daha sonra da krom indirgenerek potasyum hidrojen tartarat kullanılır. Boyama ve klorlama işlemi aynı anda aynı banyo içinde yapıldığı zaman ise pH 6 civarına getirilerek, amonyum sülfat ve potasyum kromat eklenir. En çok kullanılan ve hızlı olan, malzeme boyandıktan sonra krom katılarak yapılan boyamadır.

Metal-Kompleks Boyarmaddeler

Belirli gruplara sahip bazı azo boyarmaddeleri ile metal iyonlarının kompleks yaparak oluşturdıkları boyarmaddelerdir. Kompleks oluşumunda azo grubu rol oynar. Metal katyonu olarak Co, Cr ve Ni iyonları kullanılır. 1:1 ve 1:2 lik metal kompleks boyarmaddeler olmak üzere ikiye ayrılır. Krom kompleksi daha çok yün, poliamit, bakır kompleksi ise pamuk ve deri boyamacılığında kullanılır. Işık ve yıkama haslıkları yüksektir.

Pigment Boyarmaddeler

Pigmentlerin genellikle malzeme affinitesi yoktur. Kimyasal bağ ve absorpsiyon yapmazlar. Bu nedenle bağlayıcı maddeler kullanılır. Suda çözünmediklerinden sudaki yağ ve yağdaki su emülsiyonları şeklinde ince dağılmış olarak bulunurlar.

Dispers Boyarmaddeler

Dispers boyarmaddeler amino ve hidroksil grupları içerirler ve molekül ağırlıkları düşüktür. Suda eser miktarda çözünebilen, bu nedenle sudaki dispersiyonları halinde uygulanabilen boyarmaddelerdir. Dispers boyarmaddelerin malzeme içine difüzyonu oldukça yavaştır. Boyama uzun sürede gerçekleştiğinden pratik değildir. Dispers boyarmaddeler poliestere, poliamit ve akrilik elyafın boyanmasında kullanılır [Koca, 2005; Pekkuş, 2006].

3.1.4. Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması

Boyarmaddelerin; nitrozo, nitro, monoazo, disazo, trisazo, poliazo, stilben, difenil metan, triaril metan, ksanten, akridin, kinolin, metin, tiazol, indamin, indofenil, azin, oksazin, tiazin, kükürt, lakton, aminokinon, hidroksiketon, indigoid, antrakinin, ftalosiyenin, kloro ve dikloro-triazinil gibi türleri vardır. Sınıflandırma yapılırken molekülün temel yapısı esas alınabildiği gibi, molekülün kromojen ve renk verici özellikteki kısmı da esas kabul edilmektedir. Kimyasal yapılarına göre boyalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır [Koca, 2005; Nas, 2006].

Azo boyarmaddeler

Organik boyarmaddelerin en önemli sınıfını oluştururlar. Küp ve kükürt boyarmaddeleri ile yapılan boyamalar dışında, diğer tüm boyama yöntemlerinde kullanılırlar ve büyük bir bölümü suda çözünür. Yapılarındaki kromofor grup olan azo ($-N=N-$) grubu ile karakterize edilir. Moleküldeki azo grubuna göre mono-, di-, tri-, tetrakis vb azo boyarmaddeleri olarak tanımlanırlar. Azo grubunu üç veya daha fazla içerenlere poliazo boyarmaddesi de denilir. Azo boyarmaddeleri, birçok boyarmaddenin temelini teşkil etmektedir ve bu oran mevcut boyarmaddelerin %70-80'ini kapsayacak kadar büyüktür.

Antrakinin boyarmaddeler

Antrakinin ve buna bağlı boyarmaddelerin karakteristik kromofor grubu karbonil grubudur ve aynı molekülde bir ya da birkaç kez bulunabilir. Bu gruptaki boyarmaddeler, molekül yapıları açısından çok büyük çeşitlilik gösterirler. Antrakinin boyarmaddeler sınıfı olarak “has boyarmaddeler” diye anılan küp, suda çözünmeyen mordan ve asit boyarmaddeleri içerirler. Antrakinin boyalar yüksek yıkama ve ışık haslıklarına sahiptirler. Mavi ve kırmızı renklerde önemli olup, maliyeti yüksek olduğundan tekstil ürünlerinin renklendirilmesinde açık tonlarda tercih edilmektedirler. Ticari öneme sahip antrakinin boyarmadde üretmek için antrakinin yapıya NH_2 ve OH gibi güçlü elektron veren gruplar eklenir.

Metin boyarmaddeler

Metin ve polimetin boyarmaddeleri, bir amonyum grubu ile biten, konjüge karbon atomları zinciri içeren bir kromofor grupla karakterize edilir. Buna ek olarak bir azot, kükürt ya da oksijen atomu ya da bir eşdeğer doymamış grup da içerirler. Bunlar esas olarak bazik boyarmaddelerdir, bazı dispers ve solvent tipleri de bulunur. Tekstil materyallerinin boyanmasında polimetin boyarmaddelerinin kullanılması, çok zayıf ışık haslıkları dolayısıyla sınırlıdır. En önemli kullanım alanı, fotoğrafçılıktır.

Oksazin boyarmaddeler

Bu gruba ait kromofor, oksazin halkasıdır. Üç kondense olmuş halkanın ortasını oluşturur. Diğer iki halka benzen ya da naftalin olabilir.

Onyum boyarmaddeler

Çabuk değişen, amonyum, sülfonyum, fosfonyum ya da oksonyum yerine geçen bir kimyasal madde ile çözünen ve fiksaj sırasında ayrışarak, elyafta çözünmez bir renklendirici bırakan katyonik boyarmaddedir.

Anilin boyarmaddeleri

En basit anlamda, anilinden türemiş renk ya da boyarmaddeyi ifade eder.

Ftalosiyanin boyarmaddeler

Ftalosiyanin türevli boyarmaddeler metal içermeyebilirler ya da dört merkezi azot atomu ile koordine olmuş metal içerebilirler. Bu grubun en önemli üyeleri suda çözünmeyen pigmentlerdir. Ancak bunlardan başka küp, mordan, kükürt, direkt ve solvent boyarmaddeler de elde edilebilmektedir.

Kinolin boyarmaddeler

2-4 metilkinolin, türevleri ve benzerlerinin ftalik anhidrit ve benzeri maddelerle kondense edilmesiyle elde edilir. Bunlar solvent ve bazik tip boyarmaddelerde sarı ve kırmızı renkleri verirler. Sülfone edildiklerinde önemli asit boyarmaddeleri oluştururlar.

Ksanten boyarmaddeler

Bunlar; ksantenin amino, aminohidroksi ve hidroksi türevleridir. Genelde ksanten boyarmaddeler bazik boyarmaddelerdir. Sülfonik grup içerenler asit boyarmaddeleri, bazı hidroksi türevleri ise önemli mordan boyarmaddeleri verirler.

Nitro ve nitrozo boyarmaddeleri

Bu sınıf boyarmaddeler kimyasal yapılarında nitro veya nitrozo grubu ile birlikte elektrodonor grup (-OH-, -NR₂-) içerir. Nitrozo bileşikler yalnız başlarına hiçbir boyarmadde özelliği taşımazlar. Ağır metal tuzları ile meydana getirdikleri kompleksler boyarmadde özelliği gösterir. Yün, ipek ve kağıt boyanmasında uygundur.

Arilmetin boyarmaddeleri

Genel formülleri Ar-X=Ar şeklindedir. X, -CH= veya -N= şeklinde olabilir. Bu grup boyarmaddelerin elektrofil özelliklerinden dolayı sayısız karakteristik reaksiyonları vardır. Yüksek ışık hasıllıklarında akrilik elyafı boyamada kullanılırlar.

Aminoketon ve hidroksiketon boyarmaddeler

Birbirine çok benzeyen bu iki grup boyarmadde, kromofor grup olarak karbonil, oksokrom grup olarak da amino veya substitue amino grubu ya da hidroksil grubu içerirler. Aminoketon boyarmaddeler, küp ve dispers boyarmaddeleri içerir. Hidroksiketonlar ise doğal birtakım boyarmaddeleri içeren mordan boyarmaddelerdir [Akın, 2006; Tutak, 2006].

3.2. Azo Boyarmaddeler

Sıvı kristallerle ilgili yapılan çalışmalarda genellikle azo ve antrakınon boyalar kullanılmaktadırlar. Azo boyaların sıvı kristal boyası olarak kullanılmasının en

önemli nedeni renklendirmediir. Bunlara ek olarak azo boyalar, boyaların geometrik anizotropisi ile S değeri arasındaki bağıntının araştırılmasında da rol oynamıştır. Bu çalışmada da sıvı kristallerle uyumluluğu araştırılan boyalardan DT-13 ve DT-37'nin azo yapıda olması nedeniyle bu bölümde azo boyarmaddeleri ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmeye çalışılmıştır.

3.2.1. Azo boyaların özellikleri

Azo boyarmaddeleri, boyarmaddelerin en önemli sınıfıdır ve dünyadaki boyar madde üretiminin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Başta tekstil sanayi olmak üzere lak-boya, poliografi, lastik, deri, plastik malzeme, sentetik lif üretimi ve diğer sanayi alanlarında yaygın olarak kullanılırlar. Azo boyarmaddelerinin tercih edilmesinin nedenleri şöyle sıralanabilir;

- Boyama güçleri yüksektir (azo boyarmaddeleri boyar maddelerin diğer önemli sınıfı olan antrakinon boyarmaddelerinin boyama gücünün yaklaşık iki katıdır).
- Bu boyarmaddeler kolaylıkla elde edilebilir, ucuz başlangıç maddelerinden sentezlenebilirler.
- Tüm renk aralığını kapsarlar.

Özellikle ilk iki özellik azo boyarmaddelerini bir çok boyarmadde sınıfından özellikle antrakinon boyarmaddelerinden üstün kılmaktadır. Diğer taraftan azoboyar maddelerin uygun ara ürünlerden elde edilebilme kolaylıkları onların her kullanımda tercih edilen bir grup olmalarını sağlamıştır.

Bununla birlikte azo boyarmaddelerinin de bazı eksikleri bulunmaktadır. Asıl rakipleri olan antrakinon tipi boyarmaddeler ile karşılaştırıldığında azo boyarmaddeleri daha donuk renk verme eğilimindedirler ve bazı boyarmaddeler gibi üstün bir ışık haslığı gösteremezler. Özellikle mavi renk tonu alanında son zamanlarda yapılan araştırmalar bu iki eksikliğin giderilebileceğini öne sürmektedir. Bu eksiklikler azo boyarmaddelerinin sahip olduğu fiyat avantajı yanında önemsiz

olmaktadır. Diğer taraftan azo boyarmaddeleriyle ilgili çalışmalar teorik organik kimyanın gelişimine de büyük katkı sağlamıştır.

Yapı

Azo boyaların yapıları sıvı kristal moleküle benzerdir ve bu nedenle mezojenik özellikleri antrakinonlardan daha iyidir. Tüm azo boyarmaddeleri azo gruplarına bağlı en az bir, fakat daha sıklıkla iki tane aromatik halka içerirler. Azo boyarmaddeleri, sp^2 melezleşmiş karbon atomları arasında bir köprü görevi gören azo grubu ($-N=N-$) içeren bileşiklerdir, karbon-azot bağ açıları 120° dir. Çoğunlukla cis formundan daha kararlı trans formunda bulunurlar.

Azo grupları, genellikle benzen ve naftalin halkalarına bağlıdır. Son yıllarda heterohalkalı ve fenol tipinde alifatik halkalara da bağlı azo grubu içeren boyarmaddeler sentezlenmiştir. Temel kromojen yapı azobenzendir. Farklı yapıdaki süstitüe aromatik halkalar azo grubuna bağlandığında bu bileşikler fenilazobenzen olarak adlandırılır.

Doğal boyarmaddelerin hiçbirinde azo grubuna rastlanmaz. Bu sınıf boyarmaddelerin hepsi sentetik olarak elde edilirler. Sentezlerin sulu çözelti içinde ve basit olarak yapılmasının yanı sıra, başlangıç maddelerinin sınırsız olarak değiştirilebilmesi çok sayıda azo boyar maddesinin elde edilebilmesini mümkün kılar.

Polarize ışık altında azo moleküllerin bağlı bulunduğu malzemenin yönlendirilmesi konusunda sıvı kristaller, camsı polimer malzemeler ve katı moleküler filmlere göre daha sert olmaları son yıllarda bu malzemelerin üzerindeki ilgiyi arttırmıştır. Bu tür malzemelerde ışıkla olan yönelimi kalıcı olabildiğinden optik bilgi depolanması için son derece avantajlıdır ve üzerinde çalışmalar yürütülmektedir.

Renklilik

Azo boyalar sınıfına bütün renkli boyalar (sarı, kırmızı, mor, yeşil, kahve, siyah) dahildir. Azo boyaları, bileşiğin türüne göre değişen ve renkliliği sağlayan yapısal özelliklerin farklı sayıda olması ve yine bu yapıların boya molekülü üzerinde farklı yerlerde bulunmalarına göre çeşitlenirler. Azo boyaların yapılarından kaynaklanan bir renk ilişkisi vardır. Bu durum, moleküldeki azo grubundan kaynaklanır ve moleküldeki azo grubu sayısı arttıkça renk koyulaşır.

Çözünürlük

Azo boyaların yapılarında oksî- veya amino- grupları bulunduğundan, asidik ya da bazik özelliğe sahiptirler. Sülfö grup içeren azoboyalar Na tuzları şeklinde (çözünen boyalar) ve çözünmeyen Ba ve Ca tuzları şeklinde (laklar) şeklinde kullanılırlar. Yapılarında sülfö (sülfonik $-\text{SO}_3$), karboksil (karboksilik $-\text{COO}^-$) grupları gibi asidik ve amin (NH_2 , $-\text{NH}_x\text{R}_y$) gibi bazik karakterli grup varsa bu tür azo boyaların tuzları suda çözünür.

Bununla birlikte suda çözünmeyip organik çözücünde çözünen azo boyaları da vardır. Bunlar yağlarda, alkollerde, benzende ve diğer organik çözücülerde çözünürler. Bu boyaların yapılarında sülfö-, nitro-, halojen gibi gruplar bulunmaz. Bu yüzden sudaki çözünürlükleri hidrofor grupların etkisi nedeniyle düşüktür.

3.2.2. Azo boyaların sınıflandırılması

Bu tip bileşikler azo grubunun sayısına göre mono, bis, tris, tetrakis vb azo boyarmaddeleri olarak adlandırılırlar.

Monoazo boyalar

Dikroik monoazo boyalar çoğu durumda aril ya da heteroarilaminin nitrolu ya da nitrozilsülfürikasit ile diazolanması ve arkasından azo bileşeninin diazonyum tuzu ile kenetlenmesi ile elde edilirler. Diazolama ve kenetlemenin şartları reaktiflerin yapısına son derece bağlıdır. Süstitüe anilinler ve naftilaminler kolaylıkla hidroklorik asit içinde nitroz asitle diazolanır. Sonuçta bazık, nötr ve asidik ortamdaki azo bileşenleri ile bağlanan diazonyum klorürler ortaya çıkar. Diazolama ve kenetleme reaksiyonları normalde düşük sıcaklıkta gerçekleşir.

Bisazo boyalar

Dikroik bisazo boyalar, farklı p-fenilen diaminler veya benzidinlerin tetrazolanmasını izleyen tetrazonyum tuzları ile azo bileşenlerin kenetlenmesi yoluyla hazırlanmaktadır.

Tris- ve poliazo boyalar

Tris ve poliazo boyaların sentezindeki en yaygın yöntem ya 4,4'-diaminobenzenlerin veya 4,4'-diaminobisazobenzenlerin tetrazolanması, diazonyum tuzlarının farklı azo bileşenleriyle kenetlenmesi, 4-aminoazo veya 4-aminopoliazo boyaların tetrazolanmasını izleyen farklı aminlerin ve son olarak uygun azo bileşenlerin kenetlenmesidir. Trisazo boyalar hidroklorik asidin bulunduğu ortamda 4,4'-diaminobenzenlerin nitrik asitle tetrazolanmasını takip eden tetrazonyum tuzlarının m-krezol ve N-etil-1-naftilamin ile kenetlenmesi ile elde edilir. Trisazo boyalar uç süstitüentlere bağlı olarak 505 ile 575 nm arasında absorpsiyon yaparlar. Pentazo boyalar ise 325 ile 620 nm arasında absorpsiyon gerçekleştirirler. Bazı poliazo boyalarda S değeri 0,81' e kadar çıkmaktadır.

Metal-kompleks azo boyalar

Yapısında metal içeren bu tip azo boyalar oldukça ilgi çekmektedir. Azo boyaların düzen parametre değerinin metal komplekslerle artırılması araştırıldığında, yapıya nikel eklendiğinde düzen parametre değerinin 0,49; bakırın kompleks olduğu durumda ise bu değer 0,72'ye kadar çıktığı bulunmuştur.

3.2.3. Dispers azo boyarmaddeler

1934 yılına kadar selüloz asetat boyarmaddeleri olarak bilinen dispers boyarmaddeler suda çözünürlüğü çok az olan boyarmaddeler olarak tanımlanmaktadır. Pigment boyarmaddeler gibi tamamıyla çözünmez olmadıklarından, boyama sırasında banyoda eser miktarda çözünmüş halde bulunur. Boyarmadde boyanan malzeme tarafından çekildiğinde, aynı miktar boyarmadde yeniden dispersiyon ortamına geçer. Bu olay boyama işlemi boyunca devam eder. Bu boyarmaddelerin sudaki az miktardaki çözünürlükleri, moleküllerinde iyonik olmayan fakat su ile hidrojen bağı yapabilen -OH veya -NH₂ gibi grupların bulunmasından ileri gelir. Ayrıca son yıllarda bu sınıf boyarmaddelerin sudaki çözünürlüklerini artırmak için -SO₃H grupları ve bu grupların türevlerini içeren dispers boyarmaddeler de sentezlenmiştir. Dispers boyarmaddeler asetat lifleri için geliştirilmiş olup günümüzde poliester elyafların hemen hemen tamamının boyanması için kullanılmaktadır. Dispers boyarmaddelerin % 70'den fazlasını monoazo boyarmaddeleri oluşturmaktadır. Yeni monoazo boyarmaddeleri sentezlendikçe, antrakınon tipi dispers boyarmaddelerin oranı hızla azalmaktadır. Hem ekonomik hem de çevresel sonuçlar açısından azo boyarmaddeleri antrakınon boyarmaddelerinin yerini almıştır. Antrakınon tipi dispers boyarmaddelerin boyama güçlerinin düşük oluşu, üretiminde çok kademe gerektirmeleri, Hg kullanılması gibi ekonomik dezavantajları vardır.

Sarı-turuncu ve kırmızı dispers boyarmaddelerin çoğu azobenzen türevleridir. Dispers monoazo boyarmaddeleri, temel kromojen olan azobenzende her iki benzen halkasında çeşitli sübstitüentler bulunduran ya da heteroaromatik halkalar içeren bileşikler olarak karakterize edilebilirler. Kenetlenme bileşenleri olarak anilin

türevleri oldukça uygundur. N-alkil gruplarında uygun sübstitüentlerin seçilmesiyle suda çözünürlük optimize edilebilmektedir. Haslık özelliklerinin N-alkil gruplarında bulunan sübstitüentlerle önemli ölçüde değiştiği bulunmuştur. Bununla birlikte fenilazonaftalin türevlerinin çözünürlüğü, dispersiyon şeklinde uygulamaya izin vermeyecek ölçüde düşüktür. Son yıllarda diazo ya da kenetlenme bileşeni olarak aromatik heterosiklik bileşiklerin kullanımı önem kazanmıştır. Bu tip dispers boyarmaddeler için geniş bir patent literatürü vardır [Kılınçarslan, 1999; Köysal, 2005; Seferoğlu, 2006; Kaya, 2010].

3.3. Antrakinon Boyarmaddeler

Azo boyalar ile uygulama alanlarının ortak oluşu ve birbirlerinin yerine kullanılabilirliğinin araştırılmasının temel sebebi, bu tip boyaların yüksek kimyasal, ışık ve elektrokimyasal kararlılıklarının olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan boyalardan biri olan DT-11 boyasının antrakinon yapıda olması sebebiyle bu bölümde antrakinon boyalara ait ayrıntılı bilgi verilmeye çalışılmıştır.

3.3.1 Antrakinon boyaların özellikleri

Bu tip boyalar görünür bölgenin tamamında absorpsiyon yapan boyaların sentezini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte antrakinon boyaların düşük ağırlıklı sıvı kristallerdeki çözünürlükleri her zaman memnun edici olmayıp sıklıkla yetersizdir ve sıcaklığa oldukça bağımlıdır. Tekstil endüstrisinde kullanılan yaygın antrakinon boyalar göstergeler için uygun olmamaktadır. Normal olarak bunlar tek bir bileşiği temsil ederler; düşük düzen parametre değerine ve düşük çözünürlüğe sahiptirler. Bu nedenlerden dolayı sıvı kristalde istenilen çözünürlüğe ve yüksek S değerine sahip, özel gruplar içeren dikroik antrakinon serilerinin sentezlenmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Yapı

Aril, alkil gruplarının ya da halojenlerin antrakinon moleküllerine girmesi elektron spektrumu üzerinde çok az etkiye sahiptir. Güçlü elektron verici sübstitüenler ise görünür spektral bölgede şiddetli absorpsiyon bantlarının oluşumuna yol açar. Mükemmel termal karalılığa sahip boyarmaddelerin önemli bir grubu olan antrakinon türevleri lineer olmayan optik uygulamalarında büyük önem taşır. Önerilen antrakinon yapılar tipik olarak elektron çeken merkez halka ve yan halkalardaki bazı elektron veren gruplardan oluşur ve yapı D-A-D (verici-alıcı-verici) şeklindedir. Bu tür türevler klasik olarak halojenlenmiş antrakinonlardan ya da leuko kinizarinlerden hazırlanır.

Literatürde 1,4- ve 1,5-disübstitüe antrakinonların düzen parametre değerlerinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Azo boyaların aksine antrakinon boyaların moleküler yapısı sıvı kristalinki ile benzerlik göstermez.

3.3.2. Antrakinon boyaların sınıflandırılması

Antrakinon boyalar genel olarak kimyasal yapılarına göre sınıflandırılırlar.

Mono- ve polioksiantrakinon boyalar

Dikroik oksiantrakinonların arasında en çok incelenen bileşikler 2-benziltiyo-1,4-dihidroksiantrakinon türevleridir ve bunlar 1,4-dihidroksi-2-merkaptiantrakinonun sübstitüe benzil halojenürlerle, ya potasyum ya da sodyum karbonatlı ortamda arilsülfonik asit benzil esterleri ile olan reaksiyonundan hazırlanır.

S-sübstitüe mono- ve polimerkaptoantrakinonlar

Bu gruptaki L tip antrakinon boyalar 1,4,5-tri- ve 1,4,5,8-tetraarilantrakinon yapıları kadar 1,4-, 1,5- ve 1,8 diarilantrakinonlardan oluşmaktadır. Diarilantrakinonlar 430 ile 455 nm aralığında absorpsiyon yaparlar, oysa tri- ve tetraariltioantrakinonlar

sırasıyla 500-520 nm ve 520-550 nm aralıklarında absorpsiyon gerçekleştirirler. Mono ve poliariltioantrakinonlar uygun kloroantrakinonlar ve arilmerkaptanlardan hazırlanır. Bu reaksiyon dimetilformamitli ortamda potasyum karbonat eşliğinde 120 ile 140°C aralığında gerçekleşir. Bu yöntem 1,5-bis-feniltiyo-, 1,5-bis4-alkilfeniltiyo-, 1,5-bis-4-alkoksifeniltiyo, 1,4,5-tris-4 alkilfeniltiyo-, 1,4,5,8-tetra-(4-alkilfeniltiyo) antrakinonların ve diğer poliariltioantrakinonların sentezinde kullanılmaktadır.

S-süstitüe hidroksitioantrakinonlar

S-süstitüe hidroksitioantrakinonların büyük bir bölümü sentezlenerek araştırılmıştır. Bunlar arasında 4,8-di(ariltiyo)-1-hidroksiantrakinonlar, 1,5- , 1,8-dihidroksi-4-feniltiyoantrakinonlar ve 1,5-dihidroksi-4,8-diariltiyoantrakinonlar yer almaktadır. Maksimum dalga boyları süstitüenlere bağlı olarak 540 ile 610 nm arasında, S değerleri ise 0,8'ler düzeyindedir.

Aminoantrakinonlar

Bu gruptaki boyarmaddeler beşyüzün üzerinde bileşiği kapsayan L boyaların en büyük gruplarından bir tanesini temsil etmektedir. Süstitüe 1-amino-2-okso(tia)diazol-2-il-antrakinonların ZLI-1691 sıvı kristalindeki S değerinin incelenmesi sonucu umut verici kırmızı bir dikroik boya ortaya çıkmıştır.

Bu bileşiklerin serileri için S değeri alkil ve süstitüe gruplara bağlı olarak 0,75-0,78 aralığında farklılık göstermektedir. Süstitüenlerin dikroizm üzerine etkisi LETO'nun yönündeki değişimlerden veya antrakinonun daha düşük geometrik anizotropiye sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Farklı süstitüenleri içeren 1,4-diaminoantrakinonların büyük bir bölümü hem amino grubunda, hem de antrakinon kısmında dikroik boyalar olarak çalışılmıştır. Alkil olarak bir metil ya da fenil grubu içeren 1-amino-4-(R-amino) antrakinonların düzenlilik parametre değeri sırasıyla 0,53 ve 0,38 olarak belirlenmiştir [Ivashchenko, 1994; Jia ve ark., 2003; Akkurt, 2009].

4. SIVI KRİSTAL EKРАНLAR (LCD)

4.1. LCD'nin Tarihi

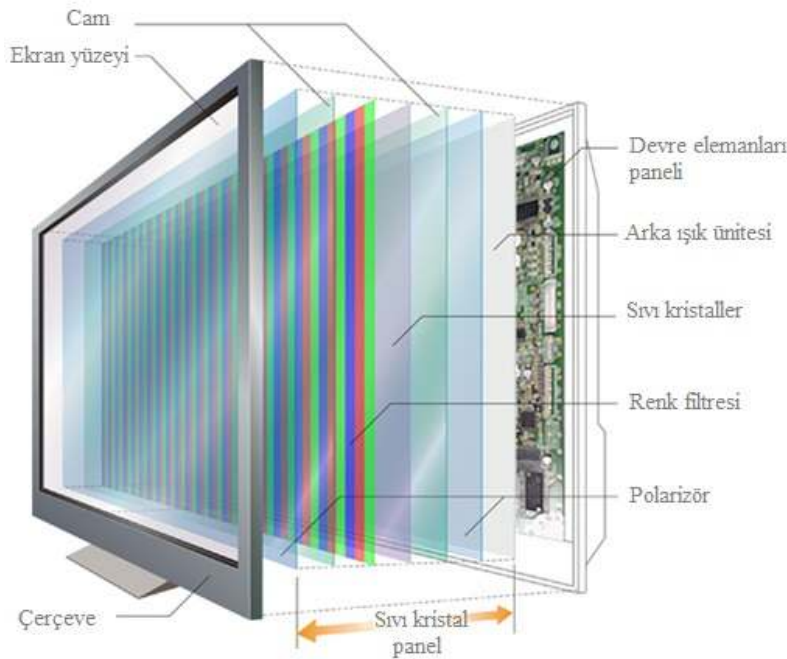
Reinitzer ve Lehmann'ın sıvı kristalleri keşfi ile başlayan ekran teknolojisinin ilk adımları 1960'da Freederickz, Zwetkoff, Oseen gibi sayılı bilim adamlarının sıvı kristallerin optik özelliklerini incelemeleri ile atılmıştır. Heilmeyer grubu tarafından yapılan bir çalışma ile SK'lerin üzerine ışık gönderildiğinde dinamik saçılma gerçekleştiği ve bu dinamik saçılmanın ortama elektrik alan uygulandığında çok daha kuvvetli olduğu keşfedilmiştir.

Yine aynı yıllarda SK'lerin ekran uygulamalarında kullanılabilirliğini sağlayan iki elektrooptik etki daha ortaya konmuştur. Bunlardan biri, dikroik boya molekülleri ile karışım yapan SK'lerin oluşturduğu sistemdeki Yolcu-Hancı (Y-H) etkisi, diğeri ise elektrik alanda kolesterik-nematik geçiştir. Bu etkileri kullanarak üretilen ilk nesil sıvı kristal ekranlar, yine o zamanlarda üretilen ışık yayan ekranlara (LED) göre çok fazla dezavantaja sahiptiler. Bunun sebebi kullanılan SK'lerin çeşitliliğinin az olması ve alternatif boya türlerinin olmaması idi. 1970'in başlarında keşfedilen ve günümüzde de geliştirilerek kullanılan, teknik olarak döndürülmüş (twisted) nematik SK kullanan sistemler daha önceden üretilmiş LCD'lere göre büyük avantajlara sahipti. Bunların başında voltajın kontrol edilebilmesi gelmekteydi. 1984'de bu teknoloji daha da geliştirildi ve adresleme tekniği oluşturuldu, buna göre her bir SK içeren hücre tek tek kontrol edilebilir hale geldi [Chigrinov, 2008]. Günümüzde HD (High Definition) olarak bildiğimiz 1024x768 piksel adı altında piyasada bulunan ekranlar içerilen sütun ve satır sayılarının çokluğu nedeniyle yüksek çözünürlükte olup görüntü kalitesini aksatmadan seyirciye ulaştıran bir teknolojidir.

4.2. LCD'nin Yapısı ve Çalışma Prensibi

LCD'nin yapısı genel olarak bakıldığında Şekil 4.1'deki gibidir. Temel olarak bu yapının çalışması, SK'lerin elektrik alan uygulanmadığı anda kendi yönelimlerini sağlamaları ve ışığın bu yönelim içerisindeki SK'ler arasından geçerek -polarize

olarak- ilerlemesi ve elektrik alan uygulandığı anda SK'lerin uygulanan alan doğrultusu boyunca yönelerek ışığın polarize olmadan aralarından geçmesi prensibine dayanır. Bu prensipten yola çıkılarak hazırlanan sistemde, iki cam yüzeyin arasına konulan SK'ler arkaya yerleştirilen ışık ünitesi ve önüne konulan renk filtresi ile desteklenir. Bütün bunların önüne ve arkasına gelen polarizörler ise sıvı kristal hücrelerden çıkan ışığın istenilen yayılmayı yapmasını ve görüntünün seyirciye ulaşmasını sağlar.

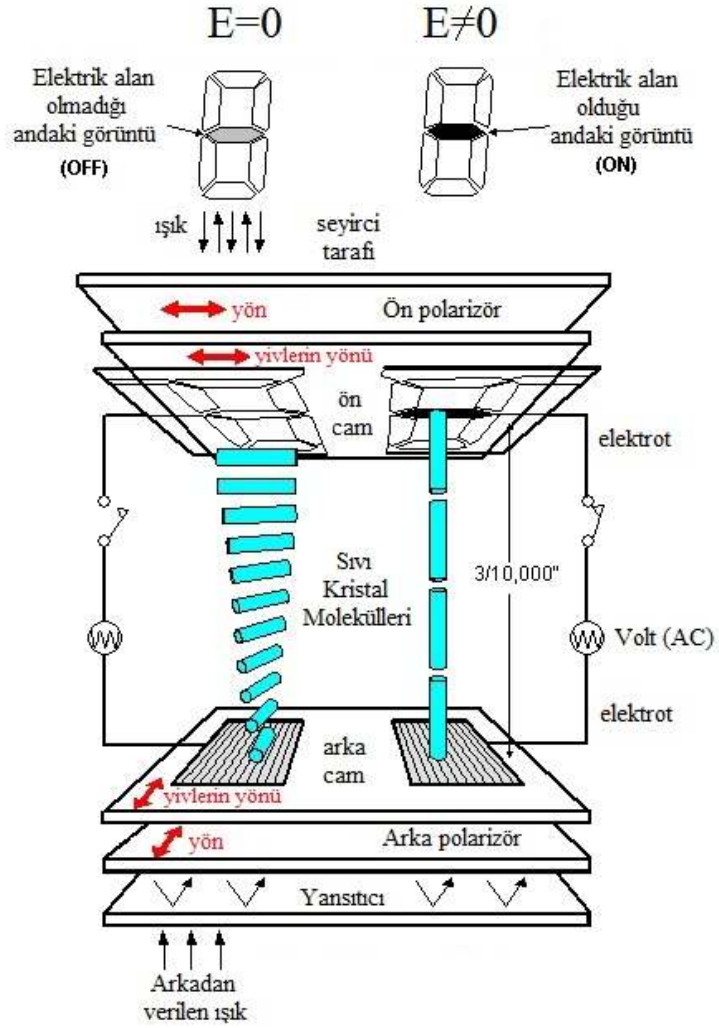


Şekil 4.1. LCD'nin bölümleri

Bu sisteme çok daha yakından bakacak olursak karşımıza bir sıvı kristal hücresi çıkar. SK hücrelerin her biri iki camdan oluşmaktadır. Bu camlar üzerleri sürtülerek yivler açılmış özel camlardır ve birbirilerine 90 derecelik açı yapacak ve yivleri birbirilerine bakacak şekilde karşılıklı yerleştirilmişlerdir. Bu camların kalınlıkları farklı olabilir. Bu camların hemen arkalarına yine camlarla aynı yönelimde olacak şekilde polarizörler konulur. Bu polarizörler ortama gelen ışığı ayırır ve hücreden geçen ışığın ortamdan çıkıp çıkmamasını sağlar. Camların arasına SK'ler doldurulduğunda moleküllerin herbiri yakın oldukları bölgedeki yivlere göre yönelim

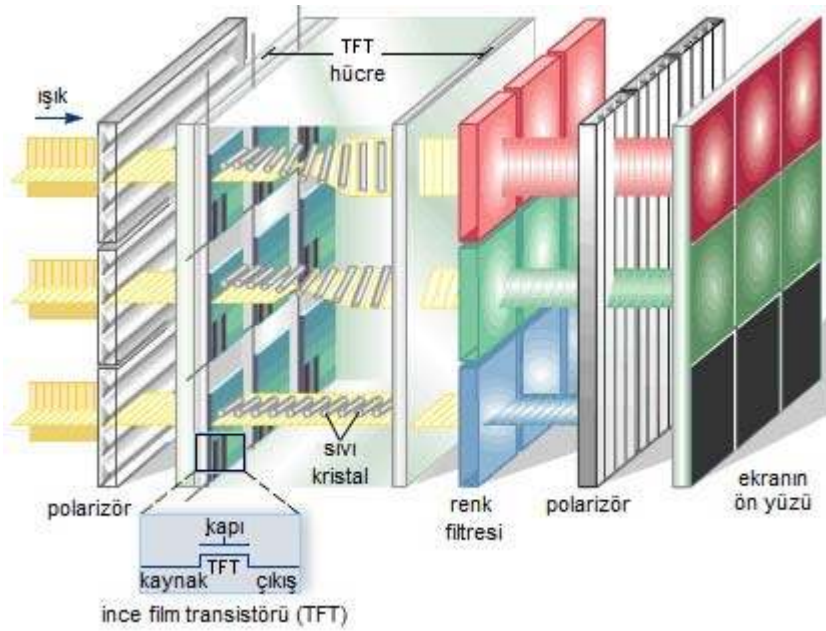
göstermeye meylederler. Böylece iki cam tabakası arasında sıkıştırılmış olan SK'lerin helezonik bir tavır sergilediği görülür. Böyle bir durumda ortama gelen ışık SK'lerin yönelimlerine göre ilerler ve ortamı terk ederken karşılaştığı polarizörden geçebilecek şekilde yön değiştirdiği için o hücrenin aydınlık görünmesini sağlar. Bu hücrenin önüne konulan bir renk filtresi o ışığın istenilen renkte olmasına sebep olur. Eğer renk tonunun ayarlanması gerekirse bunu voltajı arttırarak ya da azaltarak SK'in yönelimlerini dolayısıyla ışığın gücünü ayarlayarak gerçekleştirebiliriz. Ortama elektrik alan verildiğinde ise SK molekülleri elektrik alan doğrultusu boyunca yönlenmeye zorlanırlar. Bu yönelimin gerçekleşmesi yani Freederickz eşiğinin üstüne çıkılmasıyla birlikte ortama gelen ışık yön değiştirmeden olduğu gibi çıkar ve polarizöre geldiğinde ışığın yönü polarizörün yönünde dik olacağından geçemez ve hücrenin bulunduğu yer karanlık gözükür. Sistemdeki verimi arttırmak için çoğunlukla arkadan verilen ışığın hemen önüne konulan bir tarafı geçirgen diğer tarafı yansıtıcı bir tabaka ile ortamdan kaçan ışığın yeniden ortama dönmesi ve görüntü kalitesinin düşmemesi sağlanır (Şekil 4.2).

LCD monitörlerin en yaygın karşımıza çıkan teknolojisi, TFT (Thin Film Transistor) adını alır. TFT ve kondansatörlerin cam bir tabaka içinde birleştirilmesi ve LCD yapının içine konulmasıyla bu teknoloji ortaya çıkmıştır. Her piksel adı verilen SK hücre bölümü TFT kalıpları ile kontrol edilir. Satır ve sütunlardan oluşan bu sisteme elektrik akımı uygulanır ve akım ekran üzerinde ilerlerken sadece doğru adreslere uğradığı noktalarda durur. Bu işlem her pikseli kontrol altında tutan transistörler sayesinde gerçekleşir.



Şekil 4.2. LCD sistemde elektrik alana göre SK'lerin yönelimi

Kondansatörlerin görevi ise iki görüntü tazeleme (refreshing) işlemi arasında geçen sürede hedef piksel adresindeki elektriği üzerinde tutarak sürekliliği sağlamaktır. LCD ekranlarda her pikselin altında üç alt piksel vardır. Üç ana renk olan kırmızı, yeşil ve mavi renkler alt pikseller üzerinde tutulur. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ekranlarda her alt pikseldeki renklerin karışımı sonucunda 16,8 milyon renk elde edilmiştir (Şekil 4.3) [Akçay, 2007].



Şekil 4.3. LCD sisteminde bir piksel

LCD'lerin maliyetlerinin düşürülmesi ve görüntü kalitesinin artırılması üzerine yapılan çalışmalar yeni tür malzemelerin kullanıldığı ekran sistemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

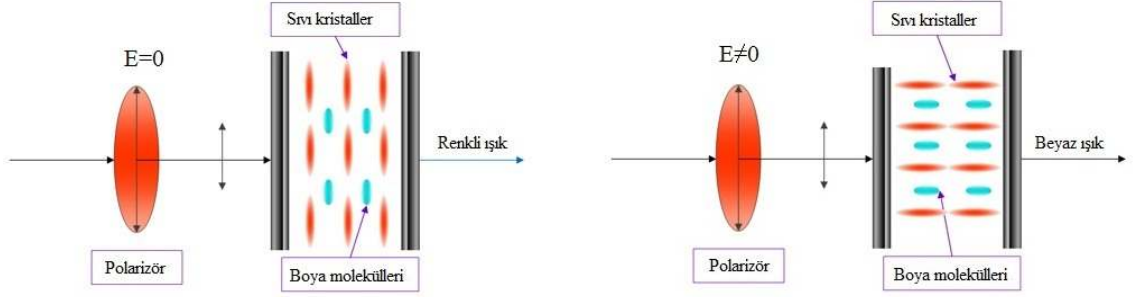
4.2.1. Yolcu-Hancı sistemler

Renkli sıvı kristal göstergeler sadece filtre kullanarak değil, aynı zamanda boyarmadde ile sıvı kristali renklendirerek veya renkli sıvı kristal kullanarak da üretilebilir. Bunlardan biri olan Y-H sistemleri boyarmadde ile sıvı kristali renklendirerek oluşturulan sistemlerdir. Maliyet ve kontrast yönüyle bu tip göstergeler bazı avantajlara sahiptir. Konvansiyonel olanlara kıyasla Y-H tipi sıvı kristal göstergelerin en büyük avantajları, polarizörlerden bir veya ikisinin olmayışı ve buna bağlı olarak daha parlak görünüm ve düşük maliyet sağlaması ve bakış açısından bağımsız kontrasttır. Bu sistemlerde hancı nematik sıvı kristal, yolcu ise dikroik veya pleokroik boyalardır. 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. 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 esasına dayanır. 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 geçirgenliği dış alanın uygulanması ile değiştirilebilmektedir (Şekil 4.4).

Heilmeier ve Zanoni'nin yaptıkları çalışmalarda dikroik boya olan yolcu metil kırmızısının yönlenmesinin, uygulanan elektrik alan içinde nematik hancı tarafından kontrol edildiği deneyler gerçekleştirilmiş, elektriksel alandaki bu yönlenmenin malzemenin optik yoğunluğunda ve sonuç olarak ortamdan geçen ışığın renginde gerçekleşen değişimle sonuçlandığı ileri sürülmüştür [Heilmeier ve ark., 1969]. Bu çalışmada genellikle uzun, silindirik şekilli ve kromofor gruplar içeren maddelerin pleokroizm özelliği sergileyen malzemeler olduğu vurgulanmış, pleokroik molekülün uzun eksenine polarize gün ışığının elektrik vektörüne paralel yönlendiği durumda molekül tarafından ışığın soğurulacağı (düşük enerji geçişi) ve boyanın karakteristik renginin gözleneceği belirtilmiştir. Tersine, yani dik yönlendiği durumda ise az soğurma gerçekleştiği veya hiç soğurulma olmadan gün ışığının değişmeden geçirildiği gözlenmiştir.

Y-H tipi SK göstergelerin diğerlerinden farkı bir veya daha fazla sayıda dikroik boya (DB) ya da pleokroik boya içermeleridir. Fakat bilinen birçok pleokroik boya iyonik olduğu için ve iyonik boyalar tersinmez elektrokimyasal proses gerçekleştirip malzemeyi bozabileceği için bu tipteki elektrooptik hücrelerde kullanılmazlar [Heilmeier ve ark., 1969; Kaya, 2010].



Şekil 4.4. Y-H sistemlerde elektrik alana bağlı yönelimler

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 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].

Boya moleküllerinin sıvı kristal üzerindeki en önemli etkisi, onların lineer ve lineer olmayan optik özelliklerini değiştirmeleridir. Boya karışımı belirli dalga boyu aralığında sıvı kristalin soğurmasını artırır. Çünkü boya molekülleri foton soğurulması sonucu bazı fiziksel veya yönelimsel değişimlere uğrar ve sıvı kristalin yönelimini etkiler, dolayısıyla da non-lineer optik etkilerin ortaya çıkmasına neden olurlar [Emek, 2007].

Yolcu-Hancı sıvı kristal göstergelerin kalitesi, hancı sıvı kristal ile yolcu boya molekülleri arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Y-H tipi sıvı kristal göstergelerde dikroik boyanın (yolcu) küçük bir miktarı, bu molekülleri yönlendiren bir matris olarak davranan hancı sıvı kristal içinde çözünür. Göstergeye uygulanan elektrik

alan, sıvı kristal ve boya moleküllerini alan yönü boyunca ve dikroik boyanın seçimli absorpsiyonunu değiştirerek yeniden yönlendirir. Bu sistemlerde dikroik oranı artırmak amacıyla yapılan çalışmalarda çok farklı boyalar kullanılmıştır. Bu sistemlerde öncelikle aşağıdaki parametrelere bakılır:

- Boya molekülleri sıvı kristalde iyi çözünmeli
- Y-H sistemleri ışığa karşı kararlı olmalı
- Sistem yüksek kontrast oranına sahip olmalıdır [Kaya, 2010].

Bu özelliklerden yola çıkılarak sıvı kristal sistemlerde deneysel ve teknolojik uygulama bazında kullanılan bazı boyalar aşağıdaki gibi verilebilir:

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
 - Izotropik antrakinon boyalar

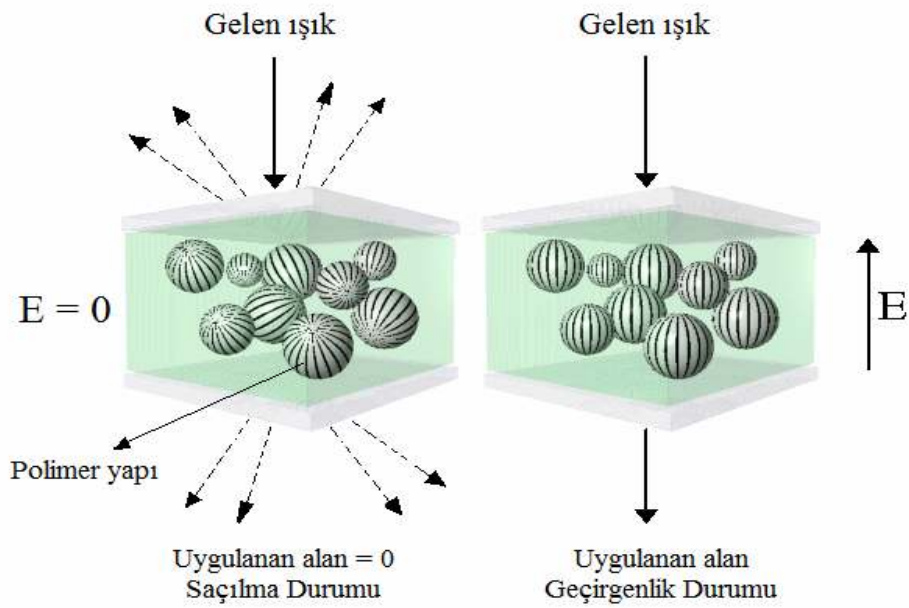
Y-H tipi gösterge ekranlarının performansını etkileyen bir diğer parametre de kullanılan sıvı kristal karışımların viskozitesidir. Viskozite sıvı kristali oluşturan bileşenlere, içerisinde çözünen boyanın yapısına ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu kapsamda literatürde yapılan çalışmalar antrakinon boyaların, azo boyalara kıyasla karışımın viskozitesini daha fazla arttırdığını göstermektedir. Ayrıca karışım içerisindeki boya derişimi arttıkça da viskozitenin arttığı gözlemlenmiştir. Viskozitedeki bu belirgin artış göstergelerin işletme sıcaklık aralığının düşmesine ve ağır işlemesine sebep olmaktadır. Bu nedenle uygulamada düşük viskoziteye sahip sıvı kristal karışımlar tercih edilir.

Sıvı kristal göstergelerde istenen parametrelerin ortaya çıkmasını sağlamak için çalışılan sıvı kristal matris içinde yolcu olarak bulunan boyanın iyi seçilmesi gerekir. Bu nedenle boya molekülleri ile sıvı kristal molekülleri arasındaki etkileşimin çok iyi bir şekilde bilinmesi gerekir.

4.2.2. Polimer dispers sistemler

Bu tip sistemler polimer dispers sıvı kristal ekranlar (PDLCD) olarak da bilinirler. Polimer dispers sistemler, mikron boyutlarındaki sıvı kristal damlacıklarının polimer

matrisinin içine yerleştirilmesiyle oluşturulur. Bu tip göstergeler prensipte çift kırılma özelliğini kullanmaktadır [Khoo, 2007]. Çapları 0,3-3 μm aralığında olan nematik sıvı kristal damlacıkları bir polimer bağlayıcı içerisinde gömülü haldedir ve polarizör olmadan göstergelerin işletilmesini mümkün kılar. Bu nedenle görüntü, polarizörlerdeki ışık kaybı giderildiğinden daha parlak olur.



Şekil 4.5. Polimer dispers sistemlerde elektrik alana bağlı yönelimler

Polimer - sıvı kristal karışımı iletken iki cam tabaka arasına yerleştirildiğinde ilk etapta berrak gözükür ve zamanla matlaşır. Bunun sebebi polimerin uzun zinciri ile sıvı kristal molekülleri birbirinden ayrılmaya başlamasıdır. Sıvı kristal molekülleri küçük damlacıklar oluşturur, bu da polimer molekülleriyle birleşmesine engel olur. Bu sıvı kristal damlacıklarının optik indisleri, dış alanın yokluğunda, sınırda kristal-polimer etkileşimine bağlıdır ve rastgele dağılım gerçekleşir. 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. 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 (Şekil 4.5).

PDLCD sistemler oldukça ekonomiktir. Bunlar pahalı polarizörlere ihtiyaç duymazlar ve çok daha parlaktırlar. Polimerin SK’i katılaştırmasından ötürü hücreler, bükülmüş nematik hücreler gibi sıkıca kapatılmaya ihtiyaç duymaz. Buna ek olarak, yönlendirme tabakası ve bu tabakanın sürülmesi gibi işlemlere de gerek yoktur. Bu özellikler geniş alanlı görüntülerde kendilerine olumlu katkı sağlamaktadır. Bu nedenle canlı renklere sahip PDLCD’ler, ayarlanabilir saydamlık ve geniş görüş açılı parlak görüntüler gerektiren pek çok alanda geniş kullanım alanına sahiptir [Akkurt, 2009; Kaya, 2010].

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Azo ve antrakinon boyarmaddelerin SK'lerle uyumluluğu konusunda yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu konuyla ilgili literatürde bulunan yararlanılmış bilgilerin hepsine tez içerisinde atıfta bulunulmuştur. Bunun dışında göze çarpan çalışmaların bir kısmı aşağıda belirtildiği gibidir. Çalışmalarda yoğunlukla E7 sıvı kristalinin olduğu gözlenmiş, yapısal olarak çalışmada kullanılan E63 kristali ile yakın benzerlik göstermesinden ötürü baz olarak bu literatürlere bakılmış, SK'lerde düzen parametresinin, tekstürlerin ve Y-H sistemlerde etkileşimlerin incelendiği çalışmalar dikkate alınmıştır. Bütün bu çalışmalara kaynaklar kısmında atıf yapılmıştır.

Kaya ve arkadaşları (2012); dört farklı boya (metil kırmızısı, dispers kırmızı 1, 13, 60) ve dört farklı nematik sıvı kristal (E7, E8, E63, ZLI-1132) kullanarak hazırladığı karışımların polarize mikroskop ve DSC cihazıyla çözünürlüklerini, tekstürlerini, faz değişim sıcaklıklarını ve düzen parametrelerini incelemiştir. Aynı çalışmaya tek duvarlı karbon nanotüpler ekleyerek gerçekleştirdikleri çalışmada, karbon nanotüplerin sıvı kristal-boya ile katkılandırılmasıyla düzen parametrelerinde önemli ölçüde artış gözlemlenmiştir. Bu durum hücrede sıvı kristal ile boya molekülleri arasında oluşması muhtemel hidrojen bağlarının ilave edilen nanopartiküllerle daha da kuvvetlenmesi ve nanotüp köprüleriyle konjuge yapının sürekliliğinin sağlanması ile açıklanmıştır. Boya ve nanotüpler eklendiğinde sıvı kristallerin tekstürlerinde fark edilebilir bir değişme görülmemiştir. Sıvı kristallerin faz geçiş sıcaklıkları limit değerler arasında kalmıştır. Düzen parametre değerlerinin voltaja bağlılığının çok az olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek düzen parametre değeri 0,77 olup dispers kırmızı 60 ve nanotüp katkılı E63 sıvı kristalinde elde edilmiştir.

Saint-Jalm ve arkadaşları (2012); 2-nitro-4-(4'-desilfenil) diazenilfenil 4-(4'-dodesiloksifenildiazenil) benzoate (Azo-NO₂) ve 2-bromo-4-(4'-desilfenil) diazenilfenil 2-kloro-4-(4'-dodesiloksifenildiazenil) benzoat (Azo-BC) sentezlenmişler, sıvı kristal olarak da E7 kullanılmışlardır. Planar SK hücrelere statik elektrik alan uygulayarak SK'in lineer olmayan optik davranışını incelemişler, azo-

mesogen katkılı nematik SK karışımının ışıkla uyarılmış etkilerini çift kırılım ölçme metodunu kullanarak gözlemlemiştir. Azo-mezojen 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. Deneysel işlemlerin sonucunda yüzey işlemlerinin modifikasyonunun ışıkla uyarılmanın temelinde trans-cis izomerizasyonundan kaynaklanan moleküllerin elektrik alanda toplu etkilenmesinden kaynaklandığını açıklanmıştır.

Çağıl ve arkadaşları (2011); Y-H tipi sistemlerde farklı moleküler yapıda boyalar ile tek duvarlı karbon nanotüp kullanarak moleküler yönlenmeyi gerçekleştirmiş ve nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı üzerine etkilerini incelemiştir. Monoazo, bisazo ve antrakınon yapıda olmak üzere 3 farklı dispers boyarmadde ile ZLI-1132 ve E8 sıvı kristallerini kullanarak, polarizör donanımlı UV spektrofotometre ve DSC cihazıyla sıvı kristal için düzen parametresinin en yüksek değerini antrakınon yapıli boyada bulmuştur. Katkılı nematik sıvı kristallerin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki değişimin, sıvı kristal fazın kararlılığı üzerine olumsuz etkilerinin olmadığı sonucuna varmıştır.

Kumar ve arkadaşları (2011); Gösterge cihazları için dikroik boya katkılı polimer dispers sıvı kristal malzemelerin analizlerini yapılmıştır. Dispers turuncu 3 azo boya, E7 sıvı kristalini kullanarak, polarize optik mikroskop ve DSC cihazıyla yapılan çalışmalarda düşük boya konsantrasyonları içeren dikroik polimer dispers sıvı kristal göstergelerin bu malzemelerin optik iletimi, eşik voltajı, kontrast oranı ve absorbans faktörü gibi temel özelliklerini değiştirdiğini bulmuşlardır.

Okutan ve arkadaşları(2010); Fulleren, asit kırmızı 2 boyları ile E7 sıvı kristalini kullanarak Hewlett-Packard 4194A Impedance Analyzernematik cihazıyla, katkılı örneklerin elektriksel özelliklerini incelemiştir. İzotropik geçiş sıcaklığı 330 K

bulunmuş, faz geçişleri yoğunluğunda frekansın etkili olduğu, iletkenliğin sıcaklıkla eksponansiyel değiştiği bulunmuştur.

Iwanaga ve arkadaşları (2010); Naftiltiyo grubu içeren 1,5-bis(2-naftilthiyo) antrakinon, 1-[4-(t-butil) feniltiyo]-5-(2-naftilthiyo) antrakinon (Boya 4) ve florlu sıvı kristal (LIXON 5052XX) kullanarak, DSC 6200 ve NMR boya karakterizasyonu cihazlarıyla yaptıkları çalışmada, sarı antrakinon dikroik boyaların özellikleri ile Y-H göstergelerde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Naftiltiyo grubunun dikroik boyanın özelliklerini iyileştirdiğini, Boya 4' ün Y-H göstergelerde daha iyi performans sağladığını, dikroik oranı ($DR = 11,7$), kontrast oranını ($CR = 10,7$) bulmuşlardır.

Akkurt ve arkadaşları (2009); Dispers turuncu 11, 13 ve 37 boyaalarını, karbon nanopartikülleri (karbon nanotüp ve fulleren) ve E7 sıvı kristalini kullanarak oluşturdukları katkılı örneklerin faz geçişlerini, düzen parametre değerlerini ve eşik voltajını polarize mikroskop ve DSC cihazlarıyla belirlemişlerdir. Nematik sıvı kristale boya ile nanotüpün ya da fullerenin birlikte katkılandırılması ile düzen parametresinde belirgin bir artış olduğunu, elde edilen yüksek düzen parametre değerlerinin de ilave edilen boya ve nanopartikülün sıvı kristalin doğrultu eksenini boyunca iyi yönlendiğini bulmuşlardır.

Ghanadzadeh ve arkadaşları (2007); Dimetil-aminoazobenzen (A), oktadekan-aminoazobenzen (B), aminoazo benzen (C) boyaaları, çözücü olarak aseton, etanol, sikloheksan ve E8 sıvı kristali kullanılarak, Polarizör donanımlı UV spektrofotometre ve DSC cihazlarıyla katkılı E8'deki Y-H etkileşimi incelenmiştir. E8 - Sikloheksan çözücüsü ile B boyasının Y-H etkileşiminin en iyi olduğu gözlenmiş, bu durum boyadaki amino grubuna eklenen uzun alkil ucun varlığı ve çözücünün polar olmamasıyla açıklanmıştır .

Jafari ve arkadaşları (2006); 8-dihidroksi, 5-diamino ve 7-diizopentil antrakinon boya ve 1294-1b kodlu sıvı kristali kullanarak, polarizör donanımlı UV spektrofotometre ve He-Ne lazer cihazlarıyla yaptıkları çalışmada boya katkılı nematik karışımda, uygulanan gerilimle çift kırıcılık, refraktif indeks ve düzenlilik

parametre değerlerinin değişimini incelemişlerdir. Uygulanılan gerilimin, boya moleküllerinin yönlenmeleri üzerine direk etkisinin olduğu sonucuna varmışlardır.

Wang ve arkadaşları (2002); Dispers kırmızı 1 ve E7 sıvı kristali kullanarak, polarize mikroskop polarize donanımlı spektrofotometre ile yaptıkları çalışmada, E7 sıvı kristali içerisinde dispers kırmızı 1 (DR1) azo boyarmaddeyi farklı konsantrasyonlarda çözerek, optik özelliklerdeki değişimi belirlemişlerdir. Düzenlilik parametre değerini $S = 0,569$ bulmuşlar ve bu sonucun boya moleküllerinin, sıvı kristalin uzun moleküler ekseninin baskın yönlenme doğrultusu (n) boyunca iyi sıralandığını gösterdiğini belirlemişlerdir.

Ghasmi ve arkadaşları (2000); Sudan II, Sudan IV, Sudan red B, Sudan oil red, Sudan black B (azo yapıda) boyaları, çözücü olarak 4-metoksi-benzilidin-4-n-bütanilin (MBBA) ve E7 sıvı kristali kullanılarak, UV spektrofotometre ve polarizör donanımlı UV spektrofotometre cihazı ile yapılan çalışmada, Sudan boyalarının Y-H tipi sıvı kristal göstergelerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Fenolik yapıda olanların çözünürlükleri yüksek olsa bile elektrokimyasal ve fotokimyasal kararlılıklarının düşük olması sebebiyle LCD'lerde kullanılamayacağı, azo yapıda olanın ise yüksek çözünürlüğe, dikroik orana, düzenlilik parametresine ve yüksek kararlılığa sahip olması sebebiyle SK ekranlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Oliwierczuk ve arkadaşları (2000); 4 farklı (KD-8, KD-9, KD-184 and KD-10) siyah dikroik boya ve kod numarası 1173, MLC-13200-100, MLC-6694-000, MLC-6657-100 olan sıvı kristal karışımı kullanarak, iki ışınli spektrofotometre cihazıyla, boya katkılı ve katkısız örneklerin kontrast oranını karşılaştırmıştır. Boya katkısız numuneyle karşılaştırıldığında, %1 boya katkılı numunede kontrast oranının yaklaşık %25-30 , %3 boya katkılı numunede ise %55 arttığını bulmuşlardır.

Bauman ve arkadaşları (1997); 6 farklı azo boya ile 8CB ve 8OCB sıvı kristalleri kullanılarak polarize donanımlı SPECORD M40 spektrofotometre ve polarize mikroskop cihazlarıyla yapılan çalışmada simektik A ve nematik fazlarda sıvı

kristal-boya karışımlarında yolcu-hancı etkileşimleri incelenmiştir. Nematik fazda sıcaklık arttıkça düzenlilik parametre değerinin azaldığı görülmüş, dikroik boya ilave edilmiş sıvı kristal matrislerde faz geçiş sıcaklıkları saf hale göre değişim göstermiştir.

6. MATERYAL VE METOT

6.1. Karakterizasyon Teknikleri

6.1.1. Boyarmaddenin sıvı kristaldeki çözünürlüğü

Teknik uygulamalarda sıvı kristal sistemlerde kullanılacak olan boyarmaddenin düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa kadar geniş bir sıcaklık aralığında sıvı kristal içerisinde yüksek çözünürlüğe sahip olması, çözünürlüğünü koruması ve kristalize olmaması istenir. Çünkü Y-H tipi sıvı kristal göstergelerin verimi bu özelliklere bağlı olarak arttırılabilmektedir. Bunların sağlanması için boyarmaddenin kimyasal yapısının iyi tanımlanması ve SK ile uyumluluğunun arttırılması önemlidir. Daha önceden yapılan çalışmalarda çözünürlüğün, sıvı kristalin yapısına ve boyarmaddedeki uç bileşenlerin türüne, sayısına ve konumuna bağlı olarak değiştiği bulunmuştur. Dikroik boyaların sıvı kristal içindeki çözünürlüğünü arttırmak için, asimetrik süstitüentler içermesinin avantaj sağlayacağı, dikroik boyaların yan alkil süstitüentlerinin çözünürlüğün artmasına katkısının olduğu ve absorpsiyonda aynı spektral bölgedeki dikroik boya karışımının çözünürlüğünün tek boyaya göre daha yüksek olduğu verilerine ulaşılmıştır [Şen, 2010; Bahadır, 1992].

6.1.2. Düzen parametresinin belirlenmesi

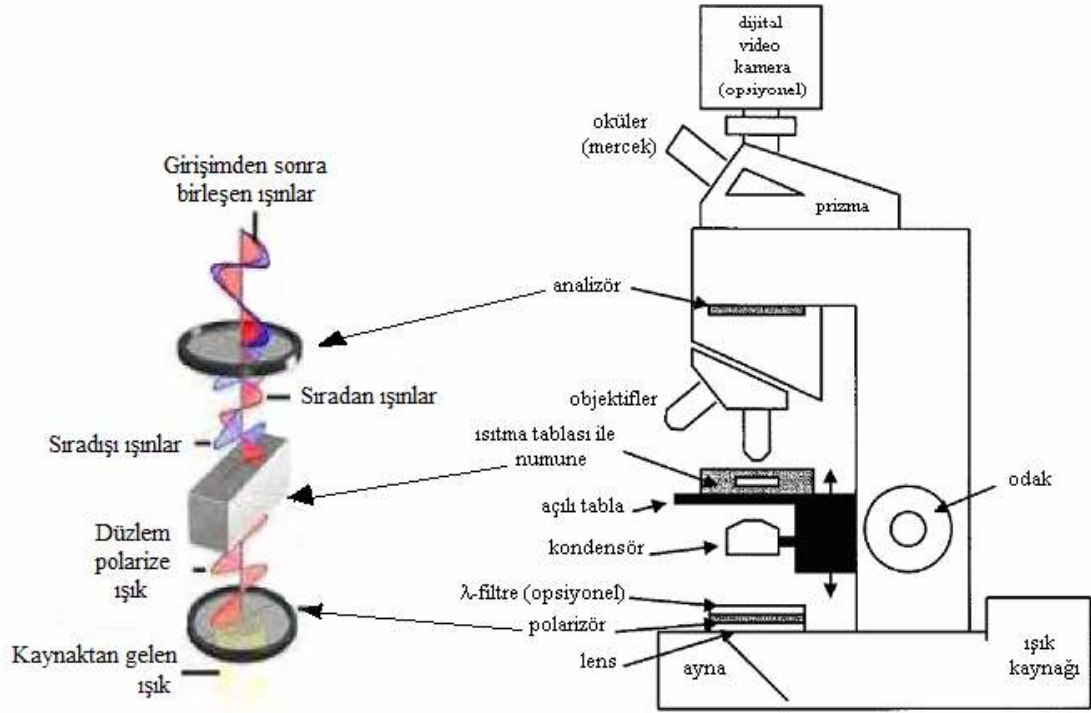
Y-H tipi sıvı kristal gösterge sistemlerinde, aygıtların kalite ve performans ölçütü olarak öncelikle düzen parametresi ve kontrast oranı gibi karakteristikler baz alınmaktadır. Sıvı kristallerde belirtilen bu düzen parametresi değerini etkileyen bir çok faktör vardır. Düzen parametresi çözünen boyanın moleküler yapısıyla yakından ilişkilidir. Farklı en/boy oranına sahip boyarmaddeler, aynı sıvı kristalde farklı S değerleri alırlar. Boya molekülünün uzunluğu, uç bileşenler ve bunların elektron alıcı ya da verici gruplar olması, hem çözünürlüğü hem de düzen parametresini etkilemektedir. Ayrıca, boya molekülünün kendi içerisinde yaptığı hidrojen bağları kararlılığını arttırarak S değerini düşürmesine karşılık, uç bileşenlerde -OH, -NH₂, -NHR gibi süstitüentlerin bulunması sıvı kristal ile hidrojen bağı olasılığını

arttırdığından S değerini yükseltir. Bu değerleri hesaplamada UV spektrofotometre cihazı kullanılır. Bu cihazda var olan polarizörlerle ışığın numuneye dik ve paralel gelmesi durumundaki absorbans değerleri ölçülerek düzen parametresi ve kontrast oranı bulunur.

UV spektrofotometre cihazında, SK-boya karışımının maksimum absorbans verdiği noktayı belirleyerek ve saf SK ile karşılaştırılarak boya katkısının SK sisteme nasıl bir absorbans kayması yaptırdığı bulunur. Çözücünün süstitüentle etkileşiminden ortaya çıkan bu dalga boyu kaymasına *solvatokromik davranış* adı verilir. Boyaya rengini veren kromofor grubu destekleyen ve renk özelliklerini arttıran oksokromik gruplar yapıda bulunduğunda absorpsiyon daha uzun dalga boyuna kayar ve buna *pozitif solvatokromik davranış* (batokromik kayma) adı verilir. Elektron alan grupların yapıda bulunması absorpsiyonun daha kısa dalga boyuna kaymasına sebep olur; buna ise *negatif solvatokromik davranış* (hipsokromik kayma) denir. Düzen parametresi yüksek olan boyalarda daha çok batokromik kayma gözlenir [Kaya, 2010].

6.1.3. Polarize mikroskobik teknikler

Polarize mikroskop, mezojenik maddelerin karakterizasyonu için gerekli cihazlardan biridir. Bu cihaz yardımıyla hem faz geçiş sıcaklıklarını, hem de faz tipini belirlememiz mümkündür. Bu bilgiler, çapraz polarizörlerin arasında sıcaklığa bağlı tekstür incelemeleri ile elde edilir (Şekil 6.1). Karakteristik tekstürler, gözlemlenen fazın açığa çıkmasına neden olurlar.



Şekil 6.1. Polarize mikroskobun bölümleri ve ışığın cihaz içerisinde izlediği yol

Cihaz, 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. Bu bölüm, örneğin en uygun görüntüsünü elde etmede yardımcıdır. Kondensör ışık kaynağından ışığı toplar ve numunenin düzgün olarak aydınlanmasını sağlar. Bu nedenle iris açıklığı doğru ayarlanmalıdır. Çok geniş bir açıklığa sahip seçim, görüntünün bulanıklaşmasıyla oluşan kırılmadan kaynaklanan ışık sızmasına yol açabilir ki bu da kontrastı düşürür.

Kondensör ve numune arasındaki mesafe ayarı, ışık demetinin doğru biçimde odaklanması ve tam aydınlanmayı sağlamak için iyi yapılmalıdır. Kondensör bazen her bir objektif için 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. Burası da mikroskobun diğer önemli parçalarından biridir; çünkü görüntü kalitesini kesin olarak tayin eden bölüm burasıdır. 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. Her durumda geniş çalışma aralıklı objektifler önerilir; çünkü sıklıkla ısıtma tablaları, merceğe çok yakın olan numune tablasının odaklanmasına izin vermez.

Objektiften gelen ışık daha sonra analizörden geçer. Tekstür çalışmalarında analizör, polarizöre doğru açılarla yönelir. Oküler ya da mercek, görüntüyü daha fazla büyütmeğe yardımcı olur. Oküler aynı zamanda görüş sahasını da ayarlar. Başka bir seçenek olarak objektif kapağının açılmasından ya da yarı geçirgen bir aynanın kullanımından sonra görüntü, ayarlanabilir bir tüp vasıtasıyla mikroskoba bağlı kamera üzerine yansıtılabilir. Kalitesi yüksek görüntüler genellikle ince filmler ile kolayca elde edilebilir. Eğer dinamik etkileri çalışmak için zamana bağlı görüntü eldesi gerekli ise yazılım ve donanım ile birleşik analog kamera kullanılır. Bunlar saniyede 25 karelik bir zaman netliği sağlar; fakat bunlar sadece 760x580 piksellik düşük dijital çözünürlüklerde geçerlidir. Daha ileri bir seçenek dijital CCD (yük çiftli aygıt) kameralarıdır, ancak yüksek dijital çözünürlük ile birleşik zaman netliğinin sağlanması oldukça pahalı olabilmektedir [Akkurt, 2009; Emek, 2007].

6.2. Araç ve Gereçler

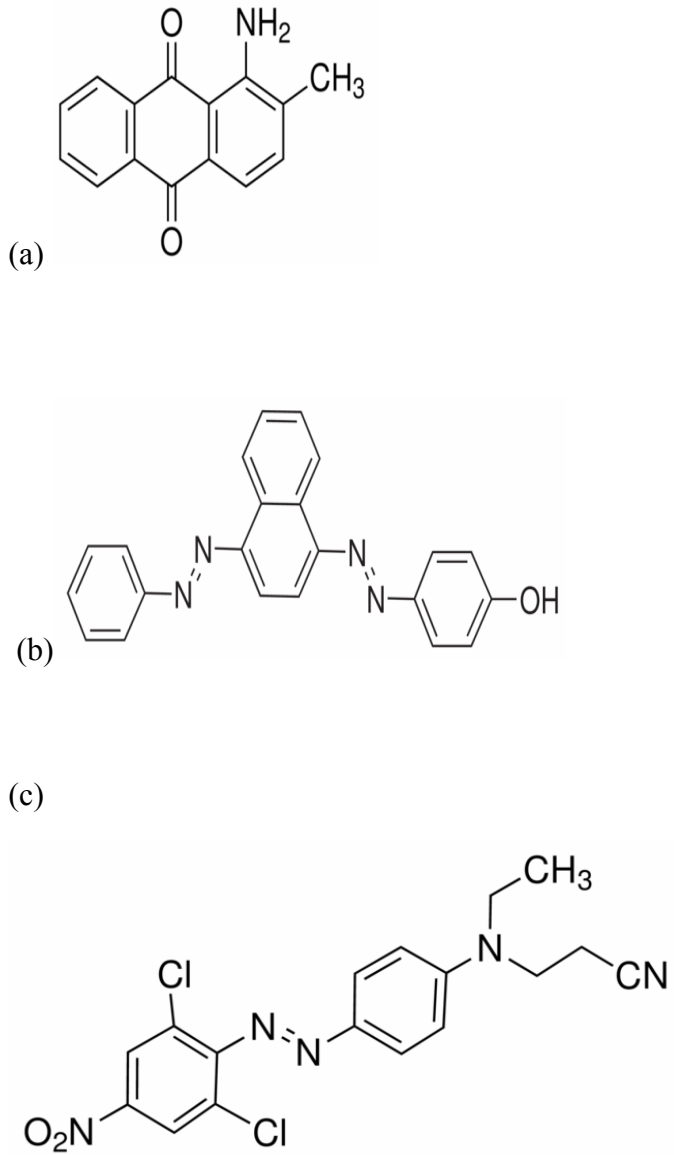
6.2.1. Kullanılan kimyasal maddeler

Yapılan çalışmada Sigma-Aldrich firmasından temin edilen disperse turuncu 11, disperse turuncu 13 ve dispers turuncu 37 boyarmaddeleri ve sıvı kristal olarak Merck firmasından temin edilen E63 kullanılmıştır. Çözünürlük tayininde ise yine Merck firmasından elde edilen %98 saflıkta aseton kullanılmıştır. Düzen

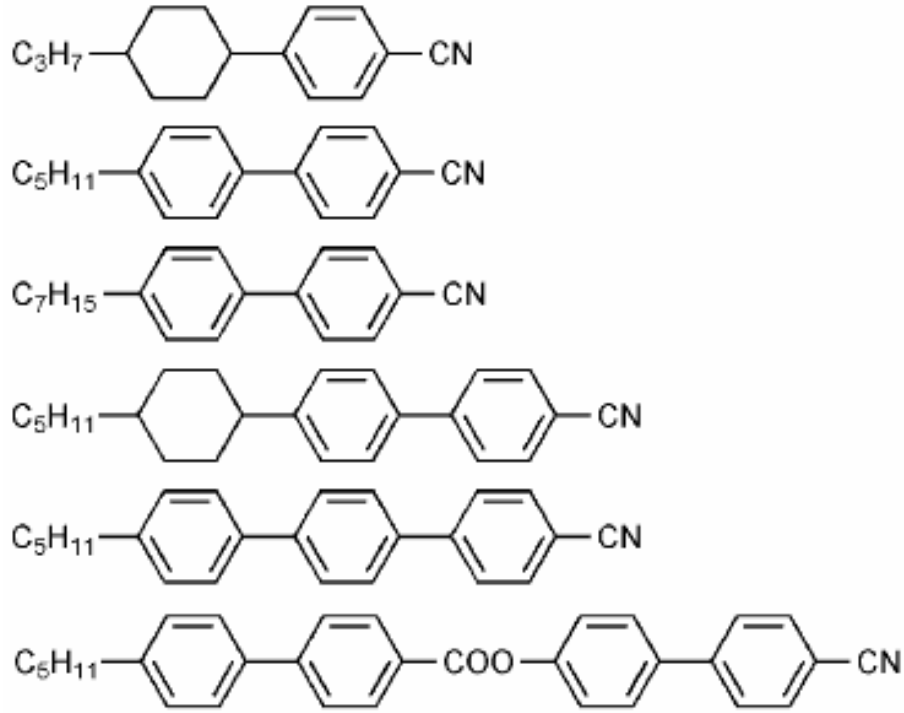
parametresinin belirlenmesi sırasında kullanılan planar yönelime sahip hücreler ise ForeSea Technologies firmasından alınmıştır. Boyaların bazı özellikleri Çizelge 6.1’de, açık formülleri Şekil 6.2’de, sıvı kristalin yapısı ise Şekil 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kullanılan boyarmaddelerin bazı özellikleri [Sigma-Aldrich]

	Kapalı formül	Molekül Ağırlığı (g/gmol)	Adlandırılması	$\lambda_{\max}$ (nm)
Dispers turuncu 11	$C_{15}H_{11}NO_2$	237,25	1-Amino-2-metil antrakinon	486
Dispers turuncu 13	$C_6H_5N=NC_{10}H_6N=NC_6H_4OH$	352,39	4-[4-(fenilazo)-1- naftilazo]fenol	427
Dispers turuncu 37	$C_{17}H_{15}Cl_2N_5O_2$	392,24	3-[4-(2,6-Dikloro-4- nitrofenilazo)-N- etilanilino]propiyonitril	480



Şekil 6.2. Boyarmaddelerin kimyasal yapıları: (a) dispers turuncu 11, (b) dispers turuncu 13, (c) dispers turuncu 37



Şekil 6.3. Bir karışım olan E63 sıvı kristalinin yapısı

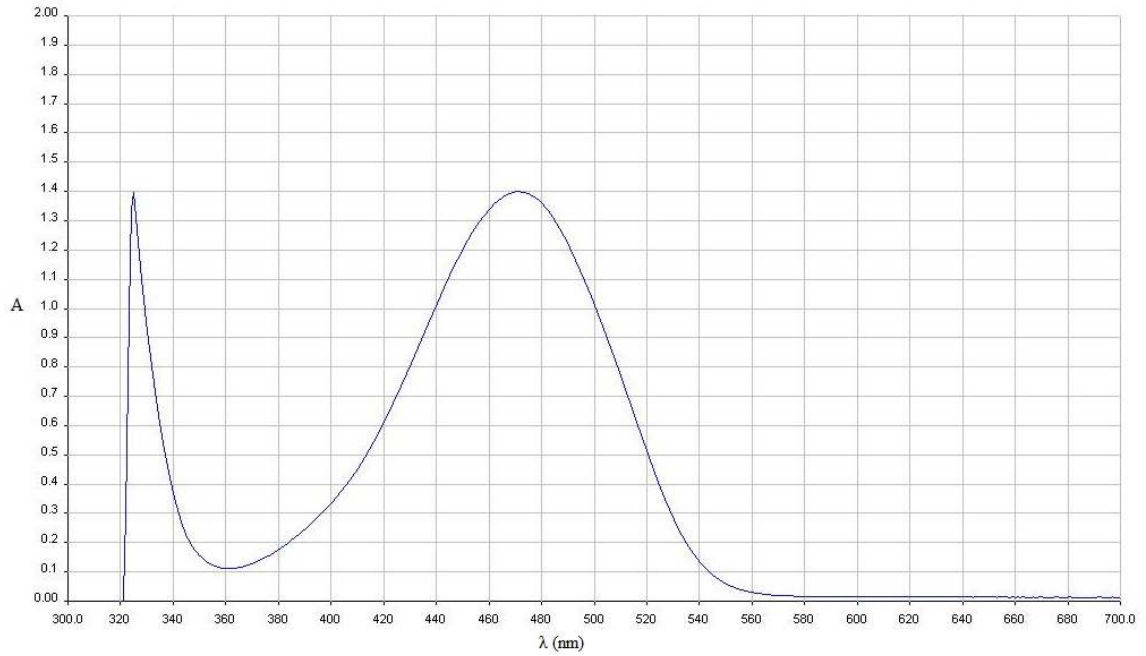
6.2.2. Kullanılan cihazlar

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

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Boyarmaddelerin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüklerinin Belirlenmesi

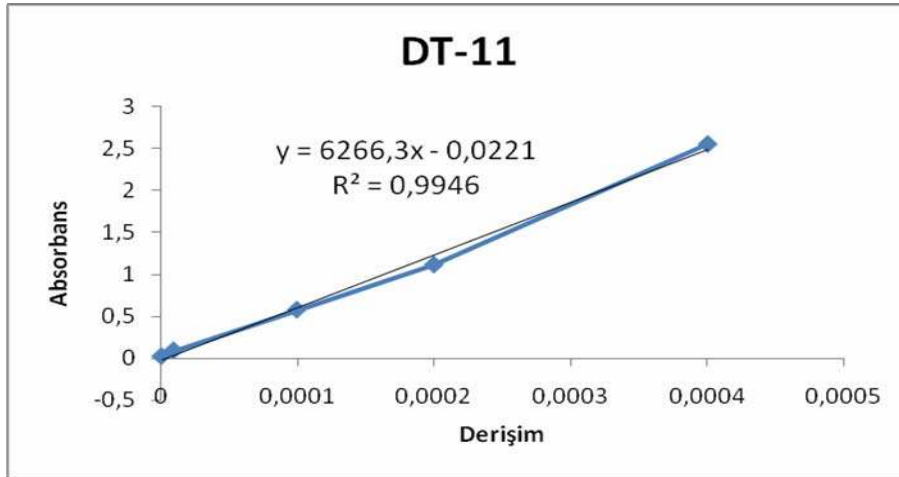
Yapılan deneysel çalışmalarda ilk olarak kullanılan boyarmaddenin, E63 sıvı kristali içerisindeki çözünürlükleri belirlenmiştir. Bu kapsamda üç boyarmaddenin her biri için 10^{-2} , 5×10^{-4} , 4×10^{-4} , 2×10^{-4} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} M derişimlerde standart çözeltiler hazırlanmıştır. Bu standart çözeltilerin hazırlanması sırasında hepsinin ortak çözücüsü olan aseton kullanılmıştır. Hazırlanan çözeltiler kullanılarak, UV-Visible-NIR spektrofotometre cihazı ile 300-700 nm arasında 1 nm' lik dalga boyu aralıklarıyla tarama yapıp absorpsiyonları ölçülmüş ve herbir boyarmadde için maksimum absorpsiyonun gerçekleştiği dalga boyu belirlenmiştir. Şekil 7.1' de aseton içerisinde çözülmüş DT-11 boyarmaddesine ait absorpsiyon (A) - dalga boyu (λ) grafiği verilmiştir, diğer boyarmaddelere ait grafikler Ek-1' de yer almaktadır.



Şekil 7.1. Asetonda çözülmüş DT-11 boyarmaddesine ait A- λ grafiği

Herbir boyarmadde için belirlenen bu dalga boyunda çalışılarak, derişimi bilinen standart çözeltilerin absorpsiyon değerleri ölçülmüştür. Derişim değerine karşılık

okunan bu absorbans değerleri kullanılarak, herbir boyarmadde için kalibrasyon grafikleri hazırlanmıştır. Şekil 7.2’ de DT-11 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği verilmiştir, diğer boyarmaddelere ait kalibrasyon grafikleri Ek- 2’ de yer almaktadır.



Şekil 7.2. Asetonda çözülmüş DT-11 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği

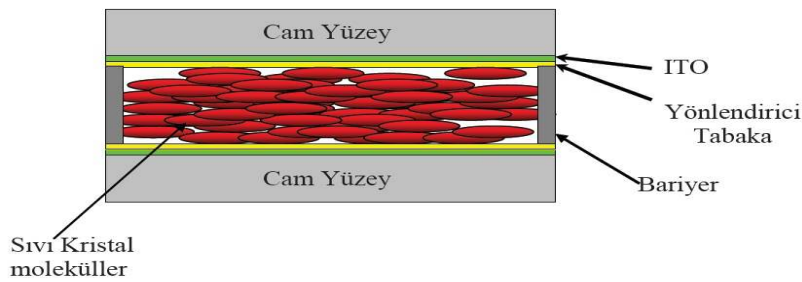
Kalibrasyon grafikleri oluşturulduktan sonra boyarmaddelerin sıvı kristal içerisindeki çözünürlükleri belirlenmiştir. Sıvı kristal olarak, yapısı E7 nematik sıvı kristale benzeyen, ana bileşeni siyanobifenil olup az miktarda siklohekzan içeren ve yüksek pozitif dielektrik anizotropiye sahip E63 kullanılmıştır [Celebre ve ark., 2000]. 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 tabi 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, asetonda çözülmüş ve UV-Visible-NIR spektrofotometre cihazı ile çözeltilerin absorbansları, uygun seyreltmeler yapılarak önceden belirlenen dalga boylarında (λ_{max}) ölçülmüştür. Bu absorbans değerine karşılık gelen derişim miktarı kalibrasyon doğrusundan bulunmuş ve 20°C’ de her bir boyarmaddenin E63 sıvı kristali içerisindeki çözünürlük yüzdeleri hesaplanmıştır [Iwanaga ve ark., 2000;

Akkurt, 2009; Kaya, 2010]. Çözünürlük tayini için yapılan örnek hesaplama ve çalışma şartları Ek-3’de verilmiştir.

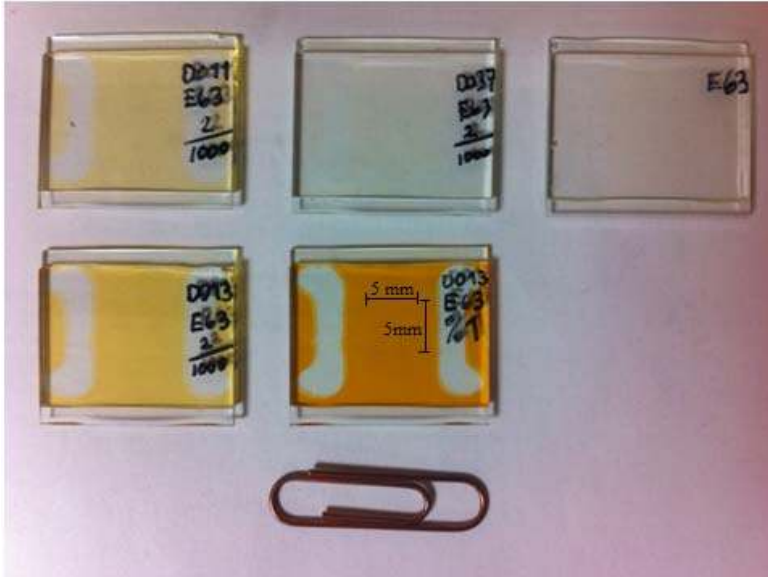
7.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerlerinin Belirlenmesi

Boya etkinliğini değerlendirmede temel kriterlerden birisi olan düzen parametresi (S) polarizör donanımlı UV spektrofotometre cihazı yardımıyla herbir boyarmadde için ayrı ayrı belirlenmiştir. Öncelikle, boyaların çözünürlüğü göz önünde bulundurularak bütün boyaların E63 sıvı kristali içerisinde kütlece % 0,2’lik ve çözünürlüğü yüksek olan boyadan da tekrar E63 içerisinde kütlece % 1’ lik olacak şekilde iki grup çözeltileri hazırlanmış, hazırlanan bu numuneler oda sıcaklığında 24 saat kadar çalkalamalı banyoda bekletilmiştir.

Daha sonra hazırlanan numuneler, 25 mm^2 lik aktif alanı mevcut olan $5 \mu\text{m}$ kalınlığındaki planar yönlenime sahip sıvı kristal hücrelere kapiler yöntem tekniği ile doldurulup moleküllerin düzgün bir şekilde yönlenebilmesi için minimum 2 saat bekletilmiştir. Şekil 7.3’de kullanılan sıvı kristal hücrenin kesit görüntüsü verilmiştir. Resim 7.1’ de ise çalışmada kullanılan numunelerin gerçek fotoğrafları verilmiştir. Hazırlanan hücrelerin düzen parametre değerlerinin belirlenmesinde çift polarizörlü spektrofotometrik yöntemler kullanılmıştır [Kaya, 2010]. Daha önce yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak numunenin ön kısmına polarizör konulmuş, referans hücre için kullanılan polarizör de referans hücrenin ön kısmına yerleştirilmiştir. Önce hücrelere paralel, sonra da dik olacak konumda polarizörler ayarlanarak absorbans ölçümleri yapılmıştır.



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



Resim 7.1. Deneylerde kullanılan planar yönelimli boya katkılı SK hücrelerin resmi

7.3. Numunelere ait tekstürlerin eldesi

Yapılan çalışmanın bu bölümünde, Linkam marka ısıtma-soğutma tablalı Leica marka polarize mikroskop kullanılarak, katkısız sıvı kristal ile boyarmadde katkılı sıvı kristal numunelerin ısınma ve soğuma işlemleri sırasındaki nematik izotropik faz geçişlerinin gözlemlendiği sıcaklıklar belirlenmiş ve bu sıcaklık aralığında tekstürler elde edilmiştir. Elde edilen tekstürlerde faz dönüşümlerinin gerçekleştiği sırada domain yapıların oluşumu ve sıcaklıkla birlikte bu yapıların gözden kaybolarak, saydam halin oluşumu görüntülenmiştir.

Polarize mikroskopta öncelikle 20-100°C sıcaklık aralığında çalışılarak, ısıtma-soğutma işlemi sırasında katkısız sıvı kristallerin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları ve tekstürleri elde edilmiştir. Sonra herbir boya katkılı sıvı kristal numunelerinin ısıtma boyunca oluşan yapısal değişiklikler monitörden takip edilerek oluşan görüntülerin fotoğrafları çekilmiş ve faz geçiş sıcaklıkları tespit edilmiştir. Isıtma işleminin ardından polarize mikroskobun soğutma ünitesi açılarak numuneler tekrar oda sıcaklığına kadar soğutulmuş, meydana gelen değişiklikleri yine ekrandan takip edilerek oluşan görüntülerin fotoğrafları çekilmiştir. Isıtma sırasında belirlenen

faz geçiş sıcaklıklarının soğutma sırasında da belirlenen faz geçiş sıcaklıkları ile tutarlılığı kontrol edilmiştir. Böylece katkılı sıvı kristal numunelerde de ısınma ve soğuma işlemleri sırasındaki nematik-izotropik faz geçişlerinin gözlemlendiğı sıcaklıklar tespit edilmiş ve farklı fazlarda (nematik-izotropik) görüntüler alınarak kaydedilmiştir. Sonuç olarak çalışılan katkılı ve katkısız sıvı kristal malzemelerin berraklaşma noktaları belirlenerek, bu malzemelerde nematik fazın kararlı olduğı sıcaklık aralığı belirlenmiştir.

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1. Boyarmaddelerin Çözünürlükleri

Çözünürlük tayinleri literatürde yapıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir [Iwanaga ve ark., 2000; Kaya ve ark, 2012]. Literatürde en fazla 10000 devir/dakikalık santrifüj hızı yapıldığı saptanmış, çalışmamızda 14500 devir/dakika hız ile 20 dakika santrifüj işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözünürlük değerleri ise literatürdeki gibi sıvı kristal içerisinde çözünmeden kalan boyarmadde miktarı üzerinden saptanmıştır. DT-11 boyarmaddesi için E63 sıvı kristal içerisindeki çözünürlük değeri ve bu değer belirlenebilmesi için kullanılan deneysel veriler Çizelge 8.1’ de görülmektedir.

Çizelge 8.1. DT-11 için deneysel veriler ve çözünürlük değeri

Seyreltme oranı	Çözücü miktarı (mL)	Başlangıçtaki boyarmadde miktarı (g)	Seyreltik çözelti için absorbans	Çözünen boyarmadde miktarı (g)	Çözünürlük (%m/m)
1/100	10	0,0500	1,1742	0,0050	0,49

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu diğer boyarmaddeler için elde edilen ayrıntılı deney verileri, çalışma şartları ve örnek hesaplama Ek-3’ de verilmiştir. Çizelge 8.2’ de ise çalışılan herbir boyarmadde için hesaplanan E63 sıvı kristali içerisindeki çözünürlük değerleri verilmektedir.

Yolcu-Hancı (Y-H) tipi sıvı kristal göstergelerde saf ve parlak renkler elde edebilmek için kullanılan boyaların büyük absorpsiyon katsayısına, sıvı kristal içerisinde yüksek çözünürlüğe 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 [Bahadur, 1992; Iwanaga ve ark., 2000]. Bu bilgilerden yola çıkılarak deneysel çalışmalarda kullanılacak olan boyarmaddeler azo ve antrakinon yapıda seçilmiştir. Y-H sistemlerinin performansı, sıvı kristal ortamdaki dikroik

boyanın kararlılığı ve çözünürlüğü gibi faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Boyarmaddelerin sıvı kristal ortamdaki çözünürlükleri ise kimyasal yapı benzerliği, hidrojen bağı oluşumu ve benzeri etkileşimlere bağlı olarak değişmektedir. Hidrojen bağı, iki elektronegatif atom arasında oluşan ve sıvı kristal sistemlerde önemli rol oynayan bir bağıdır. Sıvı kristal ile içerisinde çözünmüş halde bulunan boya molekülleri arasında meydana gelen hidrojen bağının, boyarmaddenin sıvı kristal içerisindeki çözünürlüğünü ve sıvı kristal göstergelerin performanslarını arttırdığı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [Kadowaki ve Sato, 2000; Matsude, 2000; Kobayashi ve ark., 2001].

Çizelge 8.2. Boyarmaddelerin E63'teki çözünürlük değerleri (%)

Boyarmadde	Çözünürlük (% m/m)
DT-11	0,49
DT-13	1,92
DT-37	0,23

Bütün bu bilgiler ışığında Çizelge 8.2 incelendiğinde antrakinon yapıları DT-11 boyasının çözünürlüğünün antrakinon boyalar için iyi kabul edilen çözünürlük değeri olan %1,5'un altında kaldığı görülmektedir. Fakat bu değer SK sistemler için gerekli olan çözünürlük değeri aralığında olduğundan yeterli görülebilir [Pellatt, 1980].

DT-37 boyasına ait çözünürlük değerinin düşük çıkması uçlardaki fonksiyonel gruplara ve sayıca fazlalığına bağlanmıştır. Uç bileşenlerin sayısı arttıkça yapısal kararlılık da artmakta ve çözünürlük değeri azalmaktadır, buna göre elde edilen değer literatürle uyumludur [Iwanaga, 1998; Iwanaga ve ark., 1998; Grabchev ve ark., 2000]. Bundan yola çıkarak bu boyaların holografik çalışmalara uygun olduğu sonucuna varılmıştır [San ve ark., 2005; Kayacan ve ark., 2007; Köysal, 2007; San, 2008; Köysal, 2009].

DT-13 boyasına ait çözünürlük değeri bu çalışmada elde edilen en yüksek çözünürlüktür. Bunun nedeninin disazo yapıdan kaynaklandığını söyleyebiliriz. Disazo yapıli boyarmaddeler diğler benzer yapılara göre SK sistemlerde daha yüksek çözünürlük vermektedirler. Yapıdaki azo grubu sayısı arttıkça çözünürlük değeri yükselmektedir [Bahadur, 1992]. Ancak çözünürlüğün yüksek oluşunda boyarmaddedeki -OH grubu ile SK'deki -CN grubu arasında oluşacak hidrojen bağının da etkisi olduğu tartışılmaz bir gerçektir [Grabchev, 2000; Thote ve Gupta, 2004; Iwanaga, 1998]. DT-37 boyası monoazo yapıdadır ve çözünürlüğü DT-13'e nispeten beklendiğı gibi daha düşük bulunmuştur. Ayrıca DT-11 ile kıyaslandığında DT-13 boyasının antrakinin yapıdan daha çok SK'e benzerlik göstermesinden ötürü çözünürlüğünün yüksek çıkması beklenmiştir ve çalışma sonuçları da bunu doğrulamaktadır [Jia, 2003].

8.2. Numunelerin Düzen Parametreleri

Y-H tipi sıvı kristal gösterge sistemlerinde, aygıtların kalite ve performans ölçütü olarak öncelikle düzen parametresi ve kontrast oranı gibi karakteristikleri baz alınmaktadır [Ghanadzadeh ve ark., 2007]. Literatür araştırmalarında, sıvı kristalde kütlece % 0,2-1 arasında değişen farklı oranlarda boyarmadde çözülerek düzen parametre değeri belirlenmiştir [Jones ve Reeve, 1980; Ivashchenko ve ark., 1985; Haase ve ark., 1987; Martynski ve ark., 1994; Bauman ve Moryson, 1997; Wang, 2002; Jafari ve ark., 2006; Ghanadzadeh ve ark., 2007; Suleiman ve ark., 2008; Kaya, 2010]. Deneyisel çalışmada yüksek çözünürlüğe sahip DT-13 boyarmaddesinden sıvı kristalde kütlece % 1 oranında, daha düşük çözünürlüğe sahip DT-37 boyarmaddesi baz alınarak DT-11 ve DT-37'den ve kıyaslama yapabilmek için DT-13'den de kütlece %0,2 oranında sıvı kristal içerisinde çözülerek, numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler için düzen parametresi polarizör donanımlı UV spektrofotometre cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Sıvı kristal ve dikroik boya içeren bir karışımında, sıvı kristal moleküllerinin yönlenmesi boya moleküllerini de etkilemekte ve ortaklaşa yönlenim söz konusu olmaktadır. Böylece ortamda dikroik boyanın varlığı, sıvı kristalin kırılma indisi ve düzenlilik parametresi gibi bazı özelliklerini değiştirebilmektedir [Köysal ve San, 2008]. Boya katkılı sıvı kristal

karışımlar kırma indislerinin ileri seviyede değişmesi yönüyle ilgi çekicidir. Işık şiddetiyle moleküller yönlenmekte (optik Freedericksz etkisi) ve bu etki boya katkısıyla kolaylaşmaktadır [San, 2002].

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, uygulamaya bağlı olarak 0,4-0,6 arasında değişen düzen parametre değerleri yeterli görülebilmektedir [Fiksinski ve ark., 1991]. Düşük düzen parametre değerleri ise anizotropik matris içerisinde boya moleküllerinin yönlenmelerinin tamamlanmadığını ya da elektronik geçişlerin boyaların uzun moleküler eksenlerine paralel olmadığını göstermektedir [Martynski ve ark., 1994].

Düzen parametre değeri belirlenirken katkılı ve katkısız sıvı kristallerle doldurulmuş hücreler kullanılmış, polarizörün radyal konumu hücrelere paralel olacak şekilde ayarlanarak maksimum absorpsiyon yakalanmaya çalışılmıştır. Bu ölçüm kayıt edildikten sonra polarizör, hücrelere dik duruma getirilerek ikinci ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu iki ölçümden düzen parametre değerleri hesaplanmıştır. Bütün ölçümler oda sıcaklığında yaklaşık 22°C’de yapılmıştır.

Çizelge 8.3. Boyarmadde - SK karışımlarının düzen parametre değerleri

Boyarmadde	Düzen Parametresi
DT-11 (%0,2)	0,46
DT-13 (%0,2)	0,22
DT-13 (%1,0)	0,06
DT-37 (%0,2)	0,79

S parametreleri hesaplanırken azo boyalarda yüksek değerler elde edilmesi beklenmiştir. Çizelge 8.3’deki verilere bakıldığında en yüksek S değerinin DT-37

boyarmaddesine ait olduğu görölmüş, beklenen sonuca ulaşılmıştır. Literatürde boya molekülünde uzunluk arttıkça çözünürlüğün azalacağı belirtilir [Bahadur, 1992]. Bundan yola çıkarak DT-37 için, boy/en oranının artmasıyla -yönelim kolaylaşacağından- S değeri diğerlerine nispeten daha yüksek, aynı sebepten çözünürlük daha düşük çıkmıştır diyebiliriz. Elde edilen bu yüksek düzen parametre değeri bize boya moleküllerinin sıvı kristalin uzun moleküler eksenı boyunca birbirlerine paralel yönde çok iyi sıralandığını ve aralarında kuvvetli etkileşimlerin olduğunu göstermektedir. Aslında bu boyanın yapısında –Cl gibi elektron itici grupların yanısıra –CH₃ gibi elektron çeken kuvvetler de bulunmaktadır. Moleküllerin polariteleri ve yapılarındaki fonksiyonel grupların türü, sayısı ve pozisyonu göz önünde tutularak incelendiğinde, değışken sonuçların elde edilmesi sürpriz olmamıştır.

DT-11 boyarmaddesine ait S değeri çok yüksek olmamakla birlikte SK sistemler için yeterli görölen aralıkta bulunmuştur. Bu değerin elde edilmesinin, yapıdaki amino grupları ile SK'deki siyano grupları arasında oluşabilecek hidrojen bağlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

DT-13 boyarmaddesinin çözünürlük değeri diğerlerine nispeten daha yüksek olduğundan bu boyaya ait iki numune hazırlanmış ve %1'lik çözeltinin oldukça düşük S değerine sahip olduğu görölmüştür. Bu boyada iki azo grubu bulunmasından ve aromatik halkaya bağlı –OH grubundan yola çıkarak yüksek S değeri beklenirken sonucun tam tersi olması molekül içi hidrojen bağlarının baskın olmasına bağlanmıştır.

Çizelge 8.4. Kullanılan boyarmaddelere ait solvatokromik kayma değerleri

Boyarmadde	$\lambda_{\max}$ (nm) (asetonlu çözelti)	$\lambda_{\max}$ (nm) (SK'li çözelti)	Solvatokromik Kayma
DT-11	471,28	481,27	9,99
DT-13	428,00	440,37	12,37
DT-37	424,00	480,00	56,00

Boyarmaddelerin yapısına ve içerisinde çözündüğü çözücülerin polaritesine bağlı olarak maksimum absorpsiyon yaptıkları dalga boylarında değişimler yani absorpsiyon spektrumlarında kaymalar gerçekleşmektedir. Bu kapsamda, çalışılan boyarmaddelerin absorpsiyon spektrumları saf SK absorpsiyonu ile karşılaştırıldığında solvatokromik kaymalar olduğu gözlenmiştir (Çizelge 8.4). Boyarmaddeler, yüksek polariteye sahip bir organik çözücü olan asetonda çözündüklerinde ölçülen $\lambda_{\max}$ değeri ile yüksek dipol momente sahip sıvı kristal matris içerisinde ölçülen $\lambda_{\max}$ değeri arasında oluşan farkın nedeninin boya moleküllerinin sahip oldukları elektron alıcı ve verici gruplar olduğu düşünülmektedir ve sonuçlar literatürle uyumludur. Elbette boyarmaddelerin yapılarındaki farklı süstitüentler sebebiyle moleküller arası etkileşim ve hidrojen bağı oluşumu değişmekte, bu da herbir boyarmaddenin solvatokromik kayma değerini birbirinden farklı kılmaktadır [Bahadur, 1992; Grabchev, 2000; Iwanaga, 2000; Ghanadzadeh, 2007].

8.3. Numunelerin Tekstürleri

Sıvı kristallerde katı fazdan izotropik sıvıya geçiş aniden gerçekleşmez, bazı ara fazlardan geçerek izotropik sıvıya erişilir. Bu ara fazlar simektik ve nematik sıvı kristal fazlardır. Dolayısıyla katı faz ile sıvı faz arasında yer alan sıvı kristaller farklı yapısal özelliklere sahip olan anizotropik mezofazlar sergilerler. Bu mezofazlar

arasında gerçekleşen faz geçişleriyle birlikte yapıda, fiziksel özelliklerde ve simetrilere değişim meydana gelir. Düşük sıcaklıklarda kristal katıya karşılık gelen yapıda S değeri 1 olup, sistem hem yönelim hem de konum olarak düzenlidir. Sıcaklık arttıkça moleküllerin ötelenme enerjisi, dönme enerjisinden daha küçük olduğundan konum ve yönelim düzen parametrelerinin değeri küçülür. Bu durumda sistem konumda düzensiz, yönelimde düzenli bir nematik sıvı kristale karşılık gelir. Yani katı-nematik faz geçişi meydana gelmiş olur. Sıcaklık arttırılmaya devam edildiğinde yönelim düzeni de gittikçe azalarak sıfır olacaktır. Bu durumda sistem hem konum hem de yönelimde düzensiz olmakta ve nematik-izotropik sıvı faz geçişi gerçekleşmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan ve molekül yapısı genellikle çubuksu olan nematik sıvı kristallerin molekülleri yönelimde düzenli fakat konumda düzensizdirler. Dolayısıyla sıcaklığın arttırılması ile yönelim düzenleri bozularak, nematik-izotropik faz geçişi gerçekleşmektedir.

Pratik uygulamalar için geniş sıvı kristal aralık arzu edilmektedir. Akışkanın donmaması için düşük erime noktası (T_M) (kristal halden nematik hale geçiş noktası) ve işlem sırasında fiziksel özelliklerdeki dalgalanmayı azaltmak için yüksek berraklaşma (durulanma) noktası (T_{NI}) (nematik halden izotropik hale geçiş noktası) istenir [Kaya, 2010].

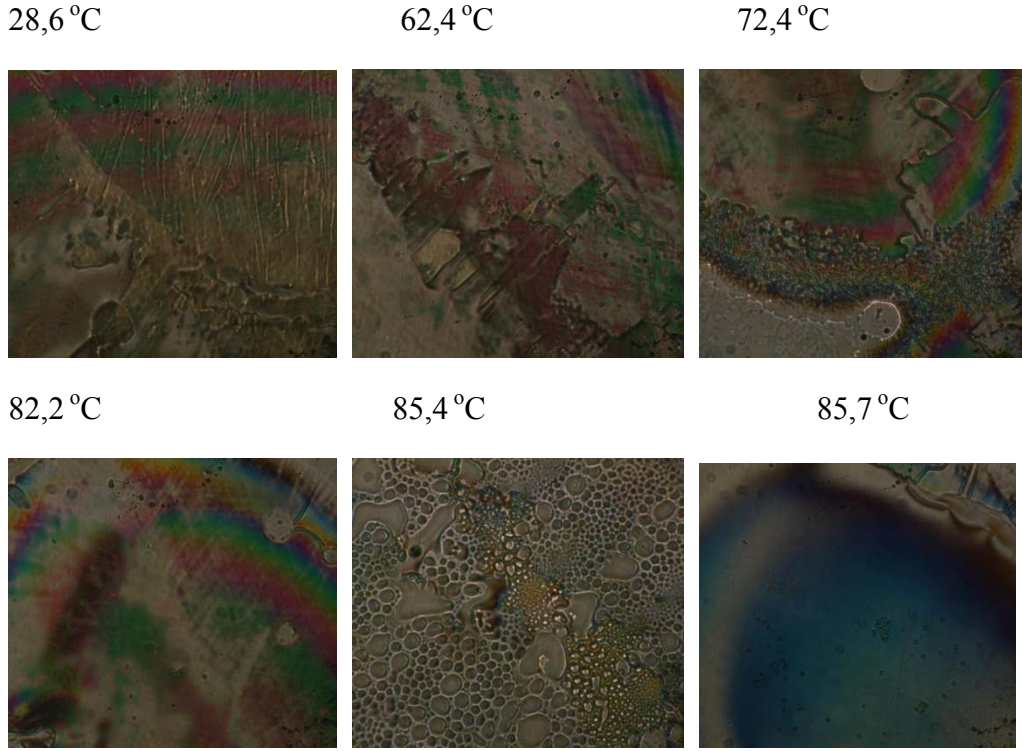
Bu kapsamda yapılan çalışmada polarize mikroskop ile sıvı kristal malzemelerin nematik-izotropik faz dönüşümlerinin gerçekleştiği sıcaklıklar belirlenmiş ve sıvı kristal yapının çalışılan sıcaklık aralığında görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen tekstürlerde faz dönüşümlerinin gerçekleştiği anda domain yapıların oluşumu ve sıcaklıkla birlikte bu yapıların gözden kaybolarak yapının saydam hale gelişi görüntülenmiştir. Deneysel çalışmalarda, 20°C-100°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilen ısıtma-soğutma işlemi ile katkısız sıvı kristalin faz geçiş sıcaklıkları belirlenmiş ve tekstürleri elde edilmiştir. Şekil 8.1’de DT-11 (%0,2) boyası ile E63 SK karışımına ait tekstür örnekleri verilmiştir. Saf sıvı kristale ait tekstürler Ek-4’de, boya karışımli tekstürler ise Ek-5’de verilmiştir.

E63 sıvı kristali için nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı $86,7^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiş ve literatürle uyumlu bulunmuştur [Wu, 1986; Celebre ve ark., 2000; Ghanadzadeh, 2001; Marjanska ve ark., 2003]. Daha sonra hazırlanan sıvı kristal-boya karışımları için deneyler yapılmıştır. Polarize mikroskopta incelenen ve sıvı kristal özellik gösteren bu maddeler, ilk izotropik sıvı damlacığının görüldüğü sıcaklıkta (T_N) nematik yapıyı kaybetmeye başlamış ve bulanık görünümlü bir sıvıya dönüşmüştür.

Sıcaklık biraz daha arttırıldığında, son izotropik sıvı damlacığı ile nematik yapının tamamen kaybolduğu ikinci faz geçiş noktasına yani berraklaşma sıcaklığına (T_I) ulaşılmıştır. ($T_I - T_N$) değeri sıvı kristal fazın termodinamik olarak kararlı olduğu sıcaklık bölgesini, ΔT_N ise katkılı sıvı kristalin T_N değerinin katkısız sıvı kristalin T_N değerine göre değişimini tanımlar. ΔT_I , katkılı sıvı kristalin T_I değerinin, katkısız sıvı kristalin T_I değerine göre değişimini belirtmektedir.

$$T_{NI} = (T_I + T_N)/2 \text{ 'dir.} \quad (8.1)$$

ΔT_{NI} sıcaklığı ise, katkılı sıvı kristal karışımları için ortalama berraklaşma sıcaklığının, katkısız sıvı kristalin ortalama berraklaşma sıcaklığına göre değişimini vermektedir. Her bir boyarmadde karışımları için belirlenen ΔT_{NI} sıcaklığı dikkate alınarak, çalışılan boyarmaddelerin karışımlarının Y-H sistemleri için uygun olup olmadığına karar verilebilmektedir. Çizelge 8.5'te E63 sıvı kristali ve boyarmadde SK karışımları için polarize mikroskop ile belirlenen faz geçiş sıcaklıkları verilmiştir.



Resim 8.1. % 0,2'lik DT-11 ile E63 SK karışımına ait tekstürler

Nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki değişimler, boya molekülünün şekline ve büyüklüğüne, sıvı kristal içerisindeki boya derişimine ve sıvı kristal ile boya molekülü arasındaki etkileşimlere bağlıdır [Bauman ve Moryson, 1997]. Bu değişim negatif veya pozitif yönde olabilir. Yani ortalama nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki fark (ΔT_{NI}) artabilir veya azalabilir. Literatürde bunun için, $\Delta T_{NI} \geq -1,4$ °C olan tüm boyarmaddeler sıvı kristalin nematik fazında dengenin korunmasını ve nematik fazın kararlılığının bozulmamasını sağlayabilir ve Y-H sistemleri için uygundur [Martynski ve ark., 1994]. Bu yönüyle incelendiğinde kullanılan boyarmaddelerin tamamının ΔT_{NI} değerinin -1,4 °C' den daha yüksek olmasından dolayı çok düşük aralıkta sebep oldukları bu değişimlerin nematik fazın kararlılığı üzerine olumsuz etkilerinin olmayacağı sonucuna varılmıştır [Grabchev ve ark., 2000, 2001 ve 2003].

Çizelge 8.5. Saf ve boya katkılı sıvı kristal için faz geçiş sıcaklıkları (°C)

	T_N	T_I	$T_I - T_N$	ΔT_N	ΔT_I	T_{NI}	ΔT_{NI}
E63	84,2	88,8	4,6	-	-	86,7	-
DT11+E63 (%0,2)	85,0	90,0	5,0	+0,8	+1,2	87,5	+0,8
DT13+E63 (%0,2)	85,4	88,0	2,5	+1,2	-0,8	86,7	0,0
DT13+E63 (%1)	80,7	90,7	10,0	-3,5	+1,9	85,7	-1,0
DT37+E63 (%0,2)	85,0	89,4	4,4	+0,8	+0,6	87,2	+0,5

Literatürde yüksek düzen parametre değerine sahip olan boyaların, faz geçiş sıcaklığını ya çok az miktarda düşürdüğü ya da tam tersi arttırdığı belirtilmiştir. [Martynski ve ark., 1994].

Deneyisel çalışmaların sonuçlarına bakıldığında S değeri en yüksek olan DT-37 boyasının ve DT-11 boyasının T_{NI} değerleri de yüksek çıkmıştır. Bunun yanısıra DT-13 boyasına ait %0,2'lik çözeltinin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı üzerinde beklendiği gibi hiç bir etki göstermediği gözlenmiş, %1'lik çözeltisi ise bu sıcaklık değerini tam tersi düşürmüştür.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Y-H tipi SK sistemlerde kullanılabilirliği araştırılan boya sayısı çok fazla olmasına rağmen sistemlerde kullanılabilen boyalar sınırlı sayıdadır. Çünkü kullanım için birçok parametrenin yeterli olması ve bu yeterliliğin değişik disiplinler tarafından doğrulanması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan 3 boyadan biri olan DT-37 boyasının çözünürlüğü az olsa dahi, S değeri mükemmel boyuttadır. Bu boya diğerleri gibi tekstür ve sıvı kristal sıcaklık aralığı üzerinde olumsuz etki yapmamıştır. Bu yönüyle kullanılabilirliğinin diğer disiplinlerce araştırılması, yapılan çalışmanın farklı hücre kalınlıklarında tekrarlanması, ayrıca DT-37 ile birlikte DT-11 boyası için de S parametresinin ve çözünürlüğün sıcaklığa bağlı olarak değişiminin incelenmesi öneri olarak sunulabilir.

KAYNAKLAR

Agamonolis, S., "Liquid crystal displays: past, present, and future", *Massachusetts Institute of Technology, Spring*, 4-37 (1995).

Akar, B., "Nematik sıvı kristallerin tek duvarlı karbon nanotüplerin yönleniminde kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 1-46 (2006).

Akçay, C., "Sıvı kristal ve plazma görüntü teknolojileri", *Gazi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı*, Ankara, 6-10 (2007).

Akın, A. B., "Farklı yöntemlerle hazırlanmış aktif çamur biyosorbentleriyle reaktif boyarmaddelerin gideriminde adsorpsiyon hız ve verimliliklerinin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-9 (2006).

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)

Akkurt, F., Kaya, N. and Alicilar, A., "Phase transitions, order parameters and threshold voltages in liquid crystal systems doped with disperse orange dye and carbon nanoparticles", *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 17(6): 616-624 (2009).

Bahadur, B., "Liquid crystals: applications and uses, 3. cilt", *World Scientific*, 99-118, (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).

Blinov, L. M., "Structure and properties of liquid crystals", *Springer Science and Business Media B.V.*, 19-312 (2011).

Castellano, J. A., "Liquid gold - the story of liquid crystal displays and the creation of an industry", *World Scientific Publishing Co.*, 1-7 (2005)

Celebre, G., De Luca, G. and Longeri, M., "The temperature dependence of biaxiality of solutes dissolved in nematic solvents", *Physical Chemistry Chemical Physics (PCCP)*, 2: 1883-1888 (2000).

Chandrasekhar, S., "Liquid crystals 2nd edition", *Cambridge University Press*, Cambridge, Great Britain, 12-14, 300-302 (1992).

Chigrinov, V. G., Kozenkov, V. M. and Kwok H.-S., "Photoalignment of liquid crystalline materials: physics and applications", *John Wiley & Sons*, England, 55-57 (2008).

Cognard, J. and Phan, T. H., "The use of azo dyes in guest-host displays", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 68: 207-229 (1981).

Cox, R. J., "Liquid crystal guest-host systems", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 55: 1-32 (1979).

Cristaldi, D. J. R., Penisi, S., Pulvirenti, F., "Liquid crystal display drivers techniques and circuits", *Springer Science & Business Media B.V.*, 8-51 (2009)

Çağıl, D., Kaya, N., Alıcılar, A., "Y-H tipi sıvı kristal sistemlere karbon nanotüp ilavesinin moleküler yönelme ve faz geçişi üzerine etkileri", *Gazi Üniversitesi. Mühendislik. Mimarlık. Fakültesi. Dergisi.*, Cilt 26, No 1, 213-221 (2011).

Dierking, I., "Textures of Liquid Crystals 1st ed.", *Wiley-VCH*, Germany, 33-36, 172-212 (2003).

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

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).

Fernandes-Nieves, A., Link, D.R., Rudhardt, D., Weitz, D.A., "Electro-optics of bipolar nematic liquid crystal droplets", *American Physical Society Physical Review Letters*, 92:10 (2003)

Fiksinski, K., Bauman, D., Skibinski, A. and Stolarski, R., "Fluorescent dyes for guest-host applications", *Dyes and Pigments*, 15(3): 203-214 (1991). 87

Gennes, P. G. and Prost, J., "The physics of liquid crystals 2nd ed.", *Oxford University Press*, New York, 10-18, 117-138, 230-244 (1998).

Ghanadzadeh, A. and Zanjanchi, M. A., "Self-association of rhodamine dyes in different host materials", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 57(9): 1865-1871 (2001).

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).

Ghasmi, G. Ghanadzadeh, A. and, Ghanadzadeh, H. "On the molecular structure and aggregative properties of Sudan dyes in the anisotropic host", *Journal of Molecular Liquids*, 88: 299-308 (2000).

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).

Grabchev, I., Bojinov, V. and Moneva, I., "The synthesis and application of fluorescent dyes based on 3-amino benzanthrone", *Dyes and Pigments*, 48(2): 143-150 (2001).

Grabchev, I., Moneva, I., Wolarz, E. and Bauman, D., "Fluorescent 3-oxy benzanthrone dyes in liquid crystalline media", *Dyes and Pigments*, 58(1): 1-6 (2003).

Gümüş, G., "Oksimlerin renkli sıvı kristal özelliği gösteren metal komplekslerinin sentezi", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 1-10 (1999).

Gürek, A. G., "Oktakis (alkiltiyo)-substitue ftalosiyeninlerin sentezi ve Ag(I), Pd(II) iyonlarıyla etkileşimleri", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 19-27 (1994).

Haase, W., Trinquet, U., Quotschalla, U. and Foitzik, J. K., "Properties of guest-host systems with higher concentrations of pleochroic dyes", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 148: 15-27 (1987).

Heilmeyer, G. H., Castellano, J. A. And Zanoni, L. A., "Guest-host interactions in nematic liquid crystals", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 8: 293-304 (1969).

Ivashchenko, A. V., Lazareva, V. T., Prudnikova, E. K., Rumyantsev, V. G. and Titov, V., "Anthraquinone dyes exhibiting negative dichroism in liquid crystals I. Derivatives of 1-amino- and 1,4-diaminoanthraquinones", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 129: 259-266 (1985).

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

Iwanaga, H. and Naito, K., "Highly soluble anthraquinone dyes with CF₃-groups for guest-host liquid crystal displays", *Japanese Journal of Applied Physics*, 37: L356-L358 (1998).

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., 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).

İnternet: Chemical of the week, Shakhashiri, 2007
http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/pdf/liquid_crystals.pdf

İnternet: Master of chemical engineering
<http://www.chemical-engineering.co/2011/12/13/liquid-crystals> (2011)

İnternet: Ghent University (Belgium) “Liquid Crystals”
<http://www.elis.ugent.be/ELISgroups/lcd/lc/lc2.html> (2009).

İnternet: Sigma Aldrich ürün tanıtımları
<http://www.sigmaaldrich.com>

Jafari, A., Tajalli, H. and Ghanadzadeh, A., “The effects of external applied voltage on the nonlinear refractive index and the birefringence of a dye-doped nematic mixture”, *Optics Communications*, 266: 207-213 (2006).

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).

Jones, F. and Reeve, T. J., “Order parameters of dyes in a biphenyl/terphenyl liquid crystal mixture”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 60: 99-110 (1980).

Kadowaki, M. and Sato, H., “Dichroic azo dye for liquid crystal composition”, *Japanese Patent JP*, 044955 (2000).

Kaya, N., Akkurt, F., Alicılar, 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).

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).

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).

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

Khoo, I. C., “Liquid Crystals 2nd ed.”, *John Wiley & Sons*, New Jersey, 1-62 (2007).

Kılınçarslan, R., “Yeni bazı azo boyarmaddelerin metal komplekslerinin sentezi ve yapılarının aydınlatılması”, Yüksek lisans tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (1999).

Klysubun, P., “Nonlinear optical studies of dye-doped nematic liquid crystals”, *Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Physics*, Virginia, 150 (2002)

Kobayashi, S., Miyazaki, Y. and Motomura, T., “Liquid-crystal display with simple structure”, *Japanese Patent JP*, 100254 (2001).

Koca, Ö., “İyon değişimi yöntemi ile sulu çözeltiden boyarmadde giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 6-21, (2005).

Köysal, O., “Azo boya ve fullerene (C₆₀) katkılı nematik sıvı kristallerin elektro-optik özelliklerinin incelenmesi” Doktora tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2007).

Köysal, O. and San, S. E., “Effect on response time and diffraction efficiency of coumarin 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 Press*, Cambridge, 1-26 (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*, v.520, no.1, (ISSN: 0040-6090) (2011)

Marjanska, M., Goodson, B.M., Castiglione, F. and Pines, A., “Inclusion complexes oriented in thermotropic liquid-crystalline solvents studied with carbon-13 NMR”, *Journal of Physical Chemistry B*, 107: 12558-12561 (2003).

Martynski, T., Mykowska, E. and Bauman, D., "Spectral properties of fluorescent dyes in nematic liquid crystals", *Journal of Molecular Structure*, 325: 161-167 (1994).

Martynski, T., Mykowska, E., Stolarski, R. and Bauman, D., "Derivatives of 4-amino-N-ethylnaphthalimide for use in nematic liquid crystals", *Dyes and Pigments*, 25(2): 115-129 (1994).

Matsude, M., "Reflective liquid crystal display device having nematic liquid crystal and dichroic dye", *Japanese Patent JP*, 019564 (2000).

Müller-Goymann, C., "Physicochemical characterization of colloidal drug delivery systems such as reverse micelles, vesicles, liquid crystals and nanoparticles for topical administration", *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 58: 343–356 (2004).

Nas, M. Z., "Tekstil boyalarının sulu çözeltilerden adsorpsiyon yöntemiyle giderimi", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 12-13 (2006).

Okutan, M., San, S.E., Koysal, O., Senturk, E., "The electrical properties of a fullerene and C.I. Acid Red 2 (methyl red) doped E7 nematic liquid crystal", *Dyes and Pigments Volume 84, Issue 3* (2010).

Olifierczuk, M., Zielinski, J., "The contrast ratio in twisted nematic with black dichroic dye LCD", *Synthetic Metals, Volume 109, Issues 1–3* (2000).

Özaydın, S., "Bazı karışım nematik sıvı kristallerde elektrooptik özelliklerin faz sıcaklığında incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sanlıurfa, 4-27 (2007).

Pakiari, A.H., Aazami, S.M., Ghanadzadeh A., "Electronic interactions of typical liquid crystal molecules with typical contacted species generated from the surface of different materials", *Journal of Molecular Liquids*, 139:8–13(2008)

Pekkuz, H., "Talaşın 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", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 59: 299-316 (1980).

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 nonlinearitenin 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., Koysal, O. and Ono, H., “Dielectric properties of laser induced 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., Koysal, 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).

Sasada, Y. and Miyazaka, K., “Liquid crystalline N-substituted-3,4-difluoropyrroles exhibiting large positive dielectric anisotropy”, **Liquid Crystals**, 30(12): 1371-1375 (2003).

Seferoğlu, Z., “Bazı indol türevlerinden heterosiklik azo boyarmaddelerin sentezi ve özelliklerinin incelenmesi”, Doktora tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-12 (2006).

Stark, H., “Physics of colloidal dispersions in nematic liquid crystals”, **Physics Reports**, 351: 387–474 (2001).

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 antrakinin yapıları boya ve karbon nanotüp katkılı nematik sıvı kristallerin karakterizasyonu ve uygulanabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-34 (2010).

Tan, A., “Poli (etilen tereftalat) ile doğrusal aromatik yapıda üç farklı monomeren türetilmiş termotropik sıvı kristal kopolimerlerin sentezi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, 18-21 (2005).

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).

Tutak, M., “Reaktif tekstil boyalarında alternatif reaktif grupların denenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-30 (2006).

Uzuner, H., “m-Hidroksibenzoik asit içeren termotropik sıvı kristal kopolimerlerin sentezi ve bazı özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 7-15 (2001).

Villanueva-Garcia, M., Gutierrez-Parra, R. N., Martinez-Richa, A., Robles, J., “Quantitative structure-property relationships to estimate nematic transition temperatures in thermotropic liquid crystals”, *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 727: 63-69 (2005).

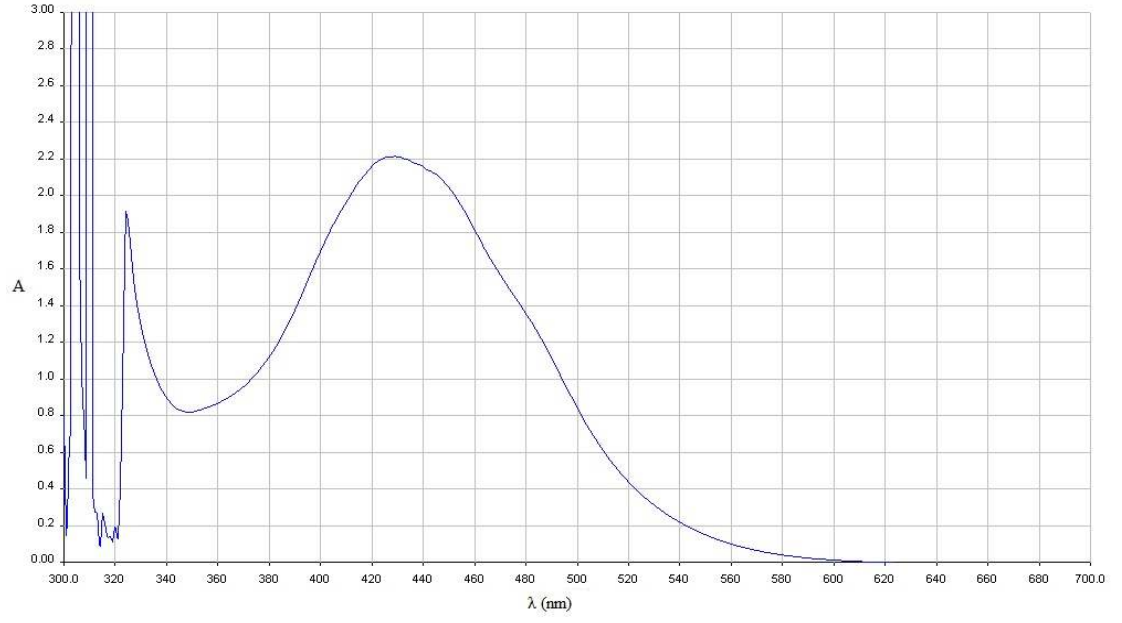
Wang, Y.-J. and Carlisle, G.O., “Optical properties of disperse-red-1-doped nematic liquid crystal”, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 13: 173-178 (2002).

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

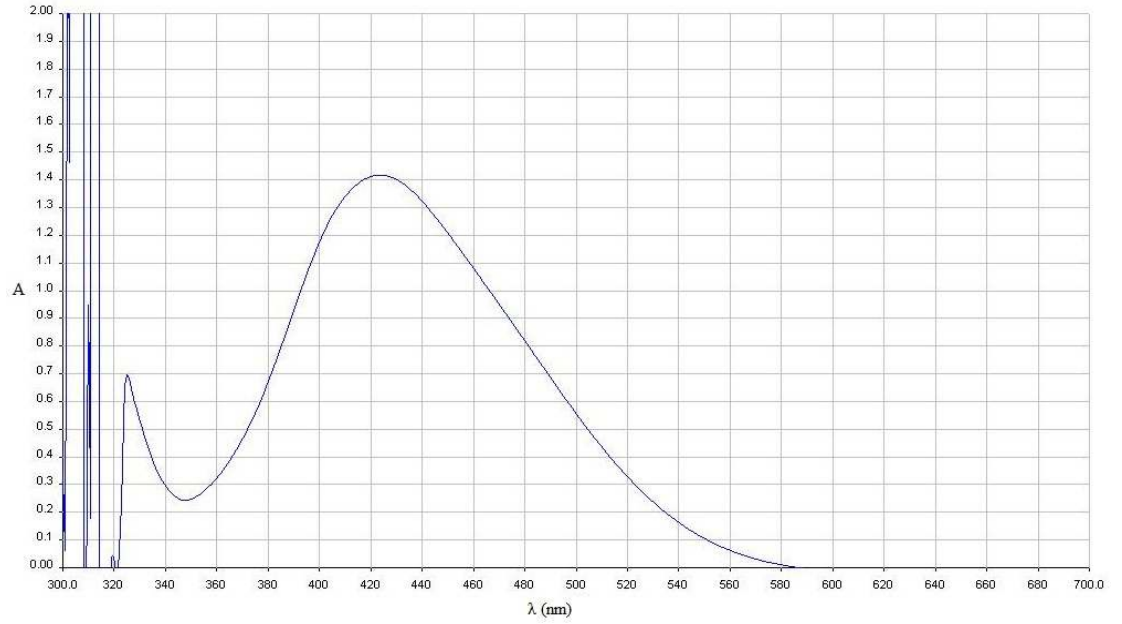
Wu, S.-T., “Birefringence dispersions of liquid crystals”, *Physical Review A*, 33(2): 1270-1274 (1986).

EKLER

EK-1. Boyarmaddelere ait absorpsiyon grafikleri

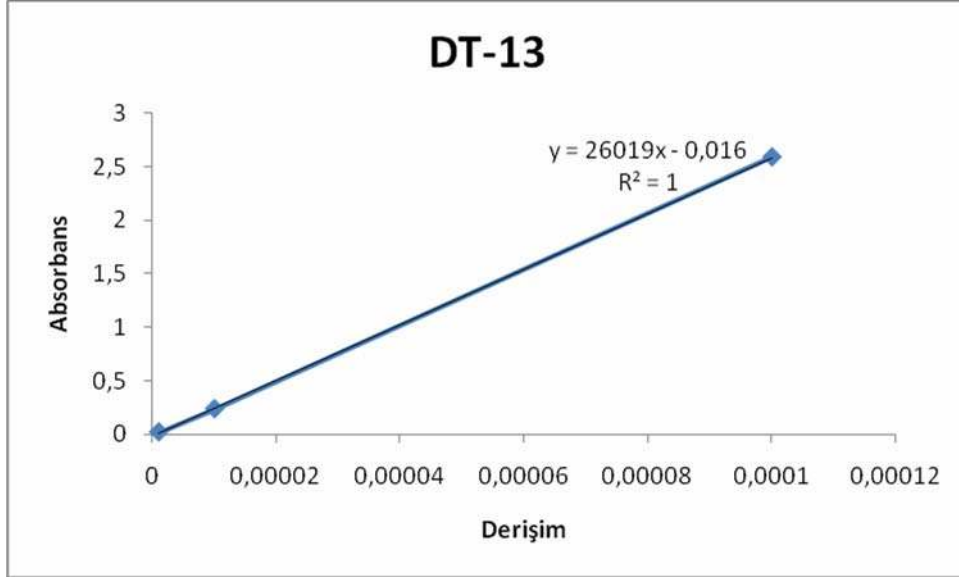


Şekil Ek 1.1. Aseton içinde çözünmüş DT-13 boyarmaddesine ait absorpsiyon grafiği

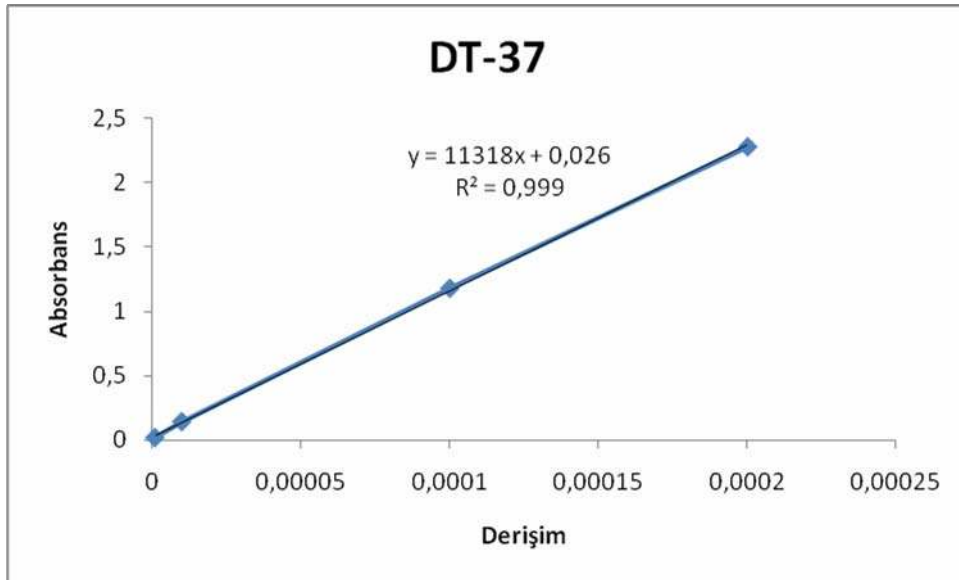


Şekil Ek 1.2. Aseton içinde çözünmüş DT-37 boyarmaddesine ait absorpsiyon grafiği

EK-2. Boyarmaddelere ait kalibrasyon grafikleri



Şekil Ek 2.1. Aseton içinde çözünmüş DT-13 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiğı



Şekil Ek 2.2. Aseton içinde çözünmüş DT-37 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiğı

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. Çözünürlük tayini için hazırlanan çözeltilerde kullanılan boyarmadde ve SK miktarları Çizelge Ek 3.1'deki gibidir.

Çizelge Ek 3.1. Çözünürlük tayininde kullanılan boyarmaddelere ait miktarlar

Numune	Boyarmadde Miktarı (g)	E63 Miktarı (g)	% (wt/wt)
DT-11	0,0500	1,006	4,97
DT-13	0,0500	1,007	4,96
DT-37	0,0502	1,010	4,97

Çalışma Şartları:

Çözücü: Aseton

T= 20 °C

DT-11'in E63 sıvı kristali içerisindeki çözünürlük yüzdesinin belirlenmesi;

Seyreltik çözelti için okunan absorbands değeri : 1,1742

Okunan absorbandsa karşılık kalibrasyon grafiğinden okunan değer : 0,00019 M

Kullanılan çözücü miktarı : 10 mL

Seyreltme oranı : 1/100

DT-11'in molar kütlesi : 237,26 g/mol

$100 \times (0,00019 \text{ mol} / 1\text{L}) \times (237,26 \text{ g/mol}) \times (1\text{L} / 1000 \text{ mL}) \times 10 \text{ mL} = 0,045 \text{ g}$

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

Çözünmeden kalan boyarmadde miktarı: 0,045 g

Başlangıçtaki boyarmadde miktarı: 0,050 g

Çözünen boyarmadde miktarı: $0,050 - 0,045 = 0,005$ g

Sıvı kristal miktarı: 1,006 g

Çözünürlük = $[\text{Çözünen boya kütlesi} / (\text{Çözünen boya (g)} + \text{Sıvı kristal (g)})] * 100$

Çözünürlük = $[0,005 / (0,005 + 1,006)] * 100 = \% 0,49$

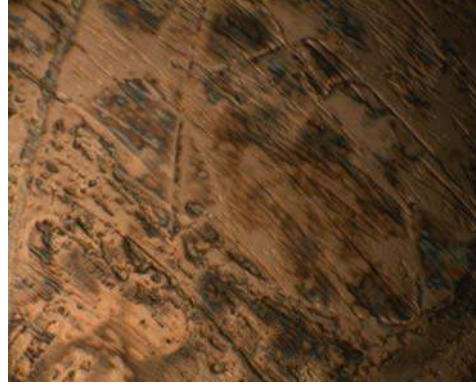
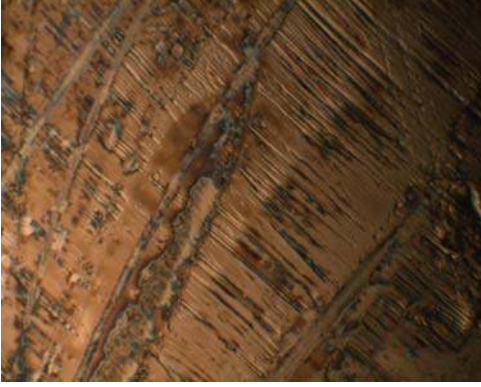
Çizelge Ek 3.2. Boyarmaddeler için ayrıntılı deney verileri ve çözünürlük değerleri

Boya	$\lambda_{\max}$	Sey. oranı	Çözücü miktarı (mL)	Başlangıçtaki boya miktarı (g)	Seyreltik çözelti için absorbans	Çözünen boya miktarı (g)	Çözünürlük %
DT-11	471	1/100	10	0,050	1,1742	0,0050	0,49
DT-13	428	1/100	10	0,050	2,2133	0,0198	1,92
DT-37	424	1/100	10	0,052	1,4160	0,0024	0,23

EK-4. Katkısız E63 sıvı kristaline ait tekstürler

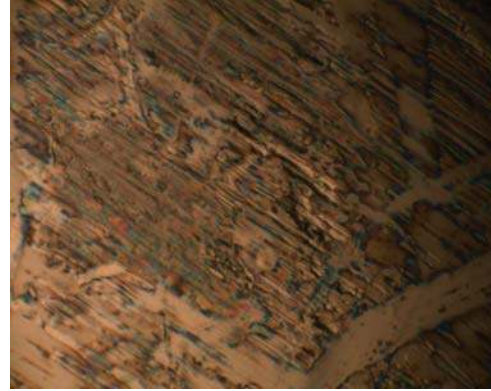
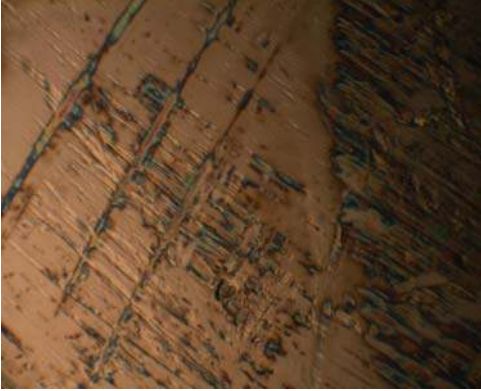
30,3 °C

50°C



62,9 °C

70,1 °C



80,6 °C

82,1 °C



Resim 4.1. Nematik fazın kararlılığını koruduğu sıcaklık aralığında, soğutma ve ısıtma işlemleri sırasında E63 sıvı kristaline ait tekstürler

EK-4. (Devam) Katkısız E63 sıvı kristaline ait tekstürler

83,2 °C



84,2 °C



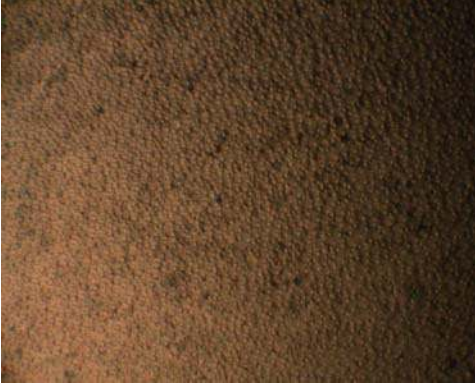
84,6 °C



85,5 °C



85,6 °C



86,7 °C



Resim 4.2. Nematik-izotropik faz geçişi sırasında E63 sıvı kristaline ait tekstürler

EK-4. (Devam) Katkısız E63 sıvı kristaline ait tekstürler

86,9 °C



87,5 °C



87,7 °C



88,8 °C



89,1 °C



90 °C



Resim 4.2. (Devam) Nematik-izotropik faz geçişi sırasında E63 sıvı kristaline ait tekstürler

EK-5. Boyarmadde - sıvı kristal karışımlarına ait tekstürler

50,1 °C



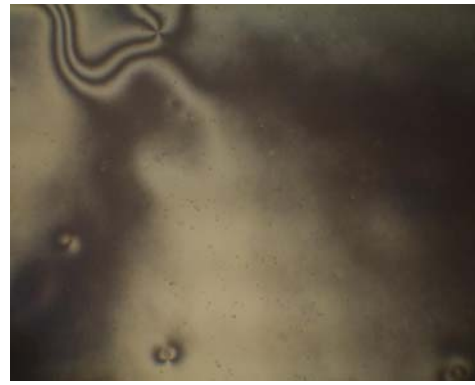
71,2 °C



80 °C



84,8 °C



87,7 °C



88,3 °C



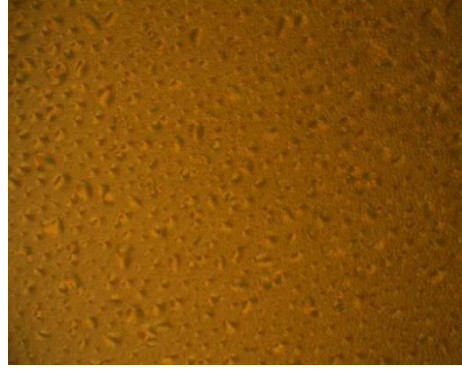
Resim 5.1. % 0,2'lik DT-13 ile E63 SK karışımına ait tekstürler

EK-5. (Devam) Boyarmadde - sıvı kristal karışımlarına ait tekstürler

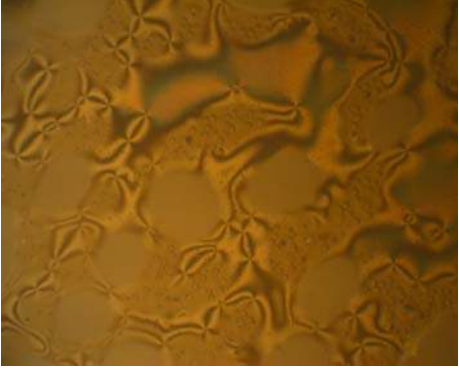
82,4 °C



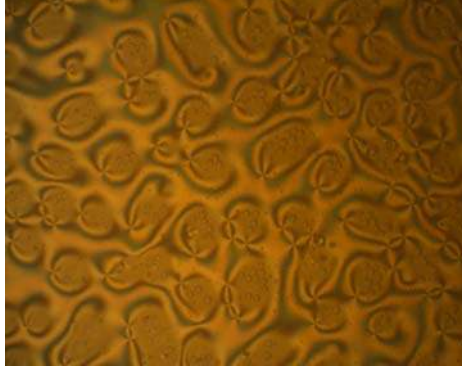
85,2 °C



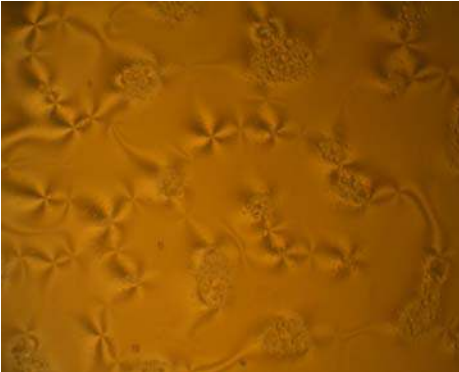
85,4 °C



86,2 °C



88,9 °C



92,2 °C



Resim 5.2. % 1'lik DT-13 ile E63 SK karışımına ait tekstürler

EK-5. (Devam) Boyarmadde - sıvı kristal karışımlarına ait tekstürler

34,9 °C



37,5 °C



60 °C



80 °C



84 °C



86,1 °C



Resim 5.3. % 0,2'lik DT-37 ile E63 SK karışımına ait tekstürler

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALTINDİŞ ABDULKADİR, Hilal
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 19.09.1983 Cidde/Suudi Arabistan
 Medeni hali : Evli
 e-mail : hilalaltindis@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Bölümü	2012
Lisans	Ankara Üniversitesi Fen ve Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü	2004
Lise	Samanyolu Koleji	2000

Yabancı Dil

İngilizce, Arapça