

**KLORO ANTRAKİNON YAPILI BOYA VE KARBON NANOTÜP
KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU
VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

EYLEM ŞEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2010
ANKARA**

**KLORO ANTRAKİNON YAPILI BOYA VE KARBON NANOTÜP
KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU
VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

EYLEM ŞEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2010
ANKARA**

Eylem ŞEN tarafından hazırlanan KLORO ANTRAKİNON YAPILI BOYA VE KARBON NANOTÜP KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU VE 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.

Prof. Dr. Emine KILIÇ
Kimya Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet ALICILAR
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Atilla M. MURATHAN
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet BİÇER
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Muzaffer BALBAŞI
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 09/04/2010

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.

Eylem ŞEN

**KLORO ANTRAKİNON YAPILI BOYA VE KARBON NANOTÜP KATKILI
NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU VE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Eylem ŞEN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2010**

ÖZET

Sıvı kristaller, bazı yönleriyle katı kristallere ve bazı yönleriyle sıvılara benzeyen bir ara faz halidir. Sıvı kristallerin ekran yapısında kullanımı gelişmekte ve günümüzde birçok sahada kullanılmaktadır. Daha net bir görüntü elde edilmesi ve daha az enerji kullanılması bakımından elektronik gösterge sistemlerinde, özellikle nematik sıvı kristaller tercih edilmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı; Yolcu-Hancı (Y-H) tipi sistemlerde kloro antrakinon yapılı boyalar ve karbon nanotüp katkı kullanarak moleküler yönlenmeyi geliştirmek ve katkısız sıvı kristalin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı üzerine etkilerini incelemektir. İlk olarak dört farklı boya (1-klor-, 2-klor-, 1,5-diklor- ve 1,8-diklorantrakinon) iki farklı nematik sıvı kristalin (E7 ve ZLI-1132) her birine ayrı ayrı eklendi. Bunların düzen parametreleri, çözünürlükleri, tekstürleri, faz geçiş sıcaklıkları belirlendi. Bir sonraki aşamada bu çözeltilerin her birine tek duvarlı karbon nanotüp ilave edildi ve bir önceki aşamada gerçekleştirilen, çözünürlük hariç tüm deneyler benzer şekilde tekrarlandı.

Nanotüp ilavesiyle düzen parametre değerlerinin önemli oranda arttığı gözlemlendi. Boya ve nanotüp ilave edildiğinde, sıvı kristallerin tekstürlerinde

fark edilir bir değişiklik gözlenmedi. Polarize mikroskop ve DSC ölçümleri, tüm numunelerde faz geçiş sıcaklıklarındaki değişimin gereken limit değerler arasında kaldığını gösterdi.

Bilim Kodu	: 912.1.094
Anahtar Kelimeler	: Nematik sıvı kristal, düzen parametresi, tekstür, klorantrakinon boya, nanotüp, yolcu-hancı tipi sistemler, faz geçişı
Sayfa Adedi	: 123
Tez Yöneticisi	: Prof. Dr. Ahmet ALICILAR

**THE STUDY OF CHARACTERIZATION AND APPLICABILITY OF
NEMATIC LIQUID CRYSTALS DOPED WITH CARBON NANOTUBES
AND CHLORO ANTRAQUINONE STRUCTURED PAINTS
(M.Sc. Thesis)**

Eylem ŞEN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
April 2010**

ABSTRACT

Liquid crystals are an intermediate phase state. They have some similar properties to both of solid crystals and liquids. Liquid crystals are widely used in many areas nowadays, especially in the screen manufacturing. Due to its clearer picture property and less energy consumption, nematic liquid crystals are being preferred in the electronic screen systems.

The aim of this thesis is to develop molecular orientation in the G-H type systems by using chloro antraquinone based paints and carbon nanotubes, and to investigate their effect on the nematic-isotropic phase transition temperature of the pure liquid crystal. Firstly 4 different paints (1-chloro-, 2-chloro-, 1,5-dichloro- ve 1,8-dichloroanthraquinone) were added individually to two different nematic liquid crystals (E7 ve ZLI-1132). Then their order parameters, solubilities, textures, phase transition temperatures were determined. Next step was to repeat the experiments and find out all of parameters except solubility after adding single walled carbon nanotube.

An important increase in values of order parameter was obtained by addition of nanotube. No significant change weren't observed on the textures of the liquid crystals after adding dye and nanotube. Polarized microscope and DSC

measurements revealed that the change in phase transition temperatures were in between the required limits on all of the samples.

Bilim Kodu	: 912.1.094
Keywords	: Nematic liquid crystal, order parameter, texture, chloroantraquinone dye, nanotube, g-h type systems, phase transition
Total page	: 123
Adviser	: Prof. Dr. Ahmet ALICILAR

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarım süresince beni yönlendiren ve kendisiyle çalışma fırsatı tanıyan danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet ALICILAR' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmalarına geri dönmemi sağlayan, desteğini, bilgisini ve sevgisini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatımda yer aldığı ve kattığı değerden ötürü Sevgili Hakan SEZER' e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarına destek veren T.C. MSB Ankara Klt. Ynt. Blg. Bşk.'lığı Laboratuvar Müdürü Sayın Mühendis Yarbay Hüseyin KOCA' ya teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan Sevgili Arkadaşım Dr. Nihan KAYA' ya katkılarından ötürü minnettarım.

Ayrıca desteği ve arkadaşlığından dolayı Sevgili Arkadaşım Birgül KOÇHİSAR'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında ilgi ve sevgilerini hiç bir zaman esirgemeyen Sevgili Aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. SIVI KRİSTALLER	4
2.1. Sıvı Kristallerin Tarihçesi	4
2.2. Sıvı Kristal Tanımı ve Özellikleri	5
2.3. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları	9
2.4. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması	9
2.4.1. Termotropik sıvı kristaller	11
2.4.2. Liyotropik sıvı kristaller	16
2.5. Sıvı Kristallerin Fiziksel Özellikleri	19
2.5.1. Sıvı kristallerin optik özellikleri	19
2.5.2. Sıvı kristallerin elektriksel özellikleri.....	21
2.5.3. Sıvı kristallerin manyetik özellikleri.....	22
2.6. Elektrik Alanda Sıvı Kristallerin Davranışları	22

Sayfa

2.6.1. Freedericksz geçişi.....	24
2.7. Sıvı Kristal Gösterge (LCD) Teknolojisinin Temel Prensipleri	26
2.8. Nematik Sıvı Kristal Göstergeler	28
2.8.1. Yolcu-Hancı (Y-H) sistemleri	29
2.8.2. Polimer dispers sıvı kristal göstergeler (PDLCDs).....	31
3. BOYARMADDELER	34
3.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması.....	34
3.2. Sıvı Kristal Göstergelerde Kullanılan Boyarmaddeler	40
4. KARBON NANOTÜPLER	42
4.1. Nanoteknolojinin Gelişimi	42
4.2. Karbon Nanotüplerin Yapısı ve Özellikleri	44
4.3. Karbon Nanotüplerin Sıvı Kristallerde Yönlenimi	48
5. KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ.....	50
5.1. Boyarmaddenin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüğü	50
5.2. Dikroik Boyanın Düzenlilik Parametresi	50
5.2.1. Düzenlilik parametresinin boyarmaddenin kimyasal yapısına bağlılığı	53
5.2.2. Düzenlilik parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	54
5.3. Polarize Mikroskopik Teknikler	55
5.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile Yapılan Tayinler.....	57
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	59

Sayfa

7. MATERYAL VE METOT	63
7.1. Araç ve Gereçler	63
7.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler	63
7.1.2. Kullanılan cihazlar	66
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	67
8.1. Boyarmaddelerin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüklerinin Belirlenmesi	67
8.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerlerinin Belirlenmesi... ..	69
8.3. Numunelere Ait Tekstürlerin Eldesi	70
8.4. Numunelerin Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi	71
9. BULGULAR VE TARTIŞMA	72
9.1. Boyarmaddelerin Çözünürlükleri	72
9.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerleri	75
9.3. Numunelerin Tekstürlerinin İncelenmesi	81
9.4. Numunelerin Isıl Özellikleri	85
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	91

Sayfa

EKLER.....	98
EK-1 Boyarmaddelerin absorbands (A)-dalga boyu (λ) grafikleri	99
EK-2 Boyarmaddelerin kalibrasyon grafikleri	101
EK-3 Boyarmaddelerin çözünürlük tayinleri için örnek hesaplama, ayrıntılı deney verileri ve çalışma şartları.....	103
EK-4 Katkısız sıvı kristallere ait tekstürler	105
EK-5 ZLI-1132 numunelerine ait nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları	108
EK-6 Katkılı sıvı kristallere ait tekstür örnekleri	109
EK-7 Numunelere ait DSC termogramları.....	114
ÖZGEÇMİŞ	123

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Karbon nanotüplerin bazı özellikleri	44
Çizelge 9.1. 1CA için deneysel veriler ve çözünürlük değerleri.....	72
Çizelge 9.2. Boyarmaddelerin çözünürlük değerleri (% m/m)	73
Çizelge 9.3. Çalışılan boyarmaddelere ait düzen parametre değerleri.....	77
Çizelge 9.4. Karbon nanotüp katkılı numunelere ait düzen parametre değerleri.....	79
Çizelge 9.5. Boya katkılı E7 sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları (°C).....	83
Çizelge 9.6. Boya ve karbon nanotüp katkılı E7 sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları (°C)	83
Çizelge 9.7. Boyarmadde ve karbon nanotüp katkılı numunelerin DSC analiz sonuçları.....	87

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Katı faz.....	6
Şekil 2.2. Simektik faz	6
Şekil 2.3. Nematik faz.....	6
Şekil 2.4. Kolesterik faz.....	7
Şekil 2.5. İzotropik (sıvı) faz.....	7
Şekil 2.6. Katı kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı geçiş.....	8
Şekil 2.7. Sıvı kristallerin sınıflandırılması.	10
Şekil 2.8. (a) Kalamitik ve (b) Diskotik moleküler yapıya sahip termotropik sıvı kristallere örnek kimyasal yapılar, dolgulu modeller ve fiziksel görünüm.	12
Şekil 2.9. Simektik A (S_A) fazında moleküllerin tabaka normal (direktör) boyunca yönelimi	13
Şekil 2.10. Simektik C (S_C) fazında moleküllerin normalden belli bir açıyla sapan yönelimi	13
Şekil 2.11. Nematik fazın şematik gösterimi.	14
Şekil 2.12. Sıvı kristal moleküllerin elektriksel alanda yeniden yönelmeleri.....	15
Şekil 2.13. Kolesterik sıvı kristallerde moleküllerdeki helezonik yönelim değişimi .	16
Şekil 2.14. Liyotropik fazda konsantrasyona bağlı faz geçişleri	18
Şekil 2.15. Sıvı kristal ortamdaki polarize olmayan ışığın davranışı.....	19
Şekil 2.16. Sıvı kristalde ışığın moleküler eksen boyunca yayılması	20
Şekil 2.17. Pozitif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristal molekülünün yönelimi	23
Şekil 2.18. Negatif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristal molekülünün yönelimi.....	24

Şekil	Sayfa
Şekil 2.19. Planar yönelime sahip sıvı kristalde Freedericksz geçişi.....	25
Şekil 2.20. Sıvı kristal moleküllerin oluklu yüzey boyunca dizilimi.....	26
Şekil 2.21. Kolesterolik sıvı kristal moleküllerin ışığı yönlendirmesi.....	27
Şekil 2.22. Elektrik alan altında sıvı kristal moleküllerin dizilimi	27
Şekil 2.23. Boya katkılı nematik sıvı kristal.	30
Şekil 2.24. PDLCD hücrenin ortam ışığı ile işletilmesi.....	33
Şekil 4.1. Karbon nanotüpün biçimlenme şeması.	45
Şekil 4.2. Zigzag karbon nanotüp	45
Şekil 4.3. Kiriş karbon nanotüp.....	46
Şekil 4.4. Kiral karbon nanotüp	46
Şekil 4.5. Karbon nanotüpler (a) Tek duvar (b) Çok duvar	47
Şekil 5.1. Düzen parametresini tanımlamak için kullanılan geometri.	51
Şekil 5.2. Dikroik boya tipleri.....	52
Şekil 5.3. Farklı düzen parametre değerleri (S) için moleküler yönelim.	53
Şekil 5.4. Polarize mikroskopun şematik gösterimi.....	56
Şekil 5.5. Diferansiyel taramalı kalorimetre	58
Şekil 5.6. DSC' nin çalışır hali	58
Şekil 7.1. Kullanılan boyarmaddelerin moleküler yapıları	63
Şekil 7.2. Kullanılan nematik sıvı kristallerin bileşimleri (a) E7 (b) ZLI-1132	65
Şekil 8.1. Aseton içinde çözünmüş 1CA boyarmaddesine ait A-λ grafiği.....	68
Şekil 8.2. Aseton içinde çözünmüş 1CA boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği.....	68

Şekil	Sayfa
Şekil 9.1. 1CA katkılı E7 sıvı kristal karışımına ait DSC termogramı	86

RESİMLERİN LİSTESİ**Resim****Sayfa**

Resim 9.1. 1CA katkılı E7 sıvı kristaline ait farklı sıcaklıklardaki tekstürler 84

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
$A_{\perp}$	Dik yöndeki absorbands
$A_{\parallel}$	Paralel yöndeki absorbands
D	Optik yoğunluk
$D_{\perp}$	Dik yöndeki optik yoğunluk
$D_{\parallel}$	Paralel yöndeki optik yoğunluk
E	Elektriksel alan
E_c	Kritik elektrik alan
I -	İzotropik
L -	Boyuna
N	Direktör; moleküler yönelimin genel eksen
X	DB molekülünün uzun geometrik eksen
N	Nematik
$n_{\perp}, n_o$	Optik eksene dik olan kırılma indisi
$n_{\parallel}, n_e$	Optik eksene paralel olan kırılma indisi
R, N, D	Dikroik oran
S	Düzen parametresi
S^G	Geometrik düzenlenme derecesi
S_A	Simektik A fazı
S_B	Simektik B fazı
S_C	Simektik C fazı
T_d	Berraklaşma sıcaklığı
T_I	İzotropik faz sıcaklığı
T_N	Nematik faz sıcaklığı
T_M	Erime noktası

Simgeler**Açıklama**

T_{NI}	Ortalama nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı
T_{CS}	Kristal - Smektik A faz geçiş sıcaklığı
T_{SN}	Smektik A - nematik faz geçiş sıcaklığı
$T-$	Enine
X	Yan halka
$\epsilon_{\perp}$	Dik yöndeki dielektrik sabiti
ϵ_{II}	Paralel yöndeki dielektrik sabiti
β	LETO ile DB molekülü arasındaki açı
η	Refraktif indeks
λ	Dalga boyu
$\Delta\epsilon$	Dielektrik anizotropi
Δn	Optik anizotropi
ΔT_I	Katkılı sıvı kristale ait T_I sıcaklığındaki kayma
ΔT_N	Katkılı sıvı kristale ait T_N sıcaklığındaki kayma
ΔT_{NI}	Ortalama berraklaşma sıcaklığındaki kayma

Kısaltmalar**Açıklama**

3B	Üç boyutlu
2B	İki boyutlu
1B	Tek boyutlu
0B	Boyutsuz
CN	Karbon nanotüp
CR	Kontrast oranı

Kısaltmalar	Açıklama
DB	Dikroik boya
1CA	1-klorantrakinon
2CA	2-klorantrakinon
1,5DCA	1,5-diklorantrakinon
1,8DCA	1,8-diklorantrakinon
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
FTIR	Fourier dönüşümlü infrared spektrometresi
HTAB	Hekzadesil trimetil amonyum bromür
ITO	İndiyum kalay oksit
LCD	Sıvı kristal gösterge
LETO	Uzun dalga elektron geçiş osilatörü
MNLC	Karışık nematik sıvı kristal
MWCNT	Çok duvarlı karbon nanotüp
NMR	Nükleer manyetik rezonans
PDLC	Polimer yayılmış sıvı kristal
PDLCD	Polimer yayılmış sıvı kristal gösterge
SK, LC	Sıvı kristal
SWCNT	Tek duvarlı karbon nanotüp
UV	Ultraviyole
Y-H	Yolcu-Hancı
YH-SKG	Yolcu-Hancı tipi sıvı kristal gösterge

1. GİRİŞ

Maddeler katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç ana fazda bulunmaktadır. Katı yapıda atom veya moleküller belirli konumlarda örgü titreşimleri yaparak dururlarken, dönme hareketi yapamazlar. Sıvı fazda ise moleküller ötelenme hareketi ile birlikte dönme hareketini de yapabilmektedirler.

Katıların erimesi sonucu düzenli molekül yapısı bozulur ve moleküllerin dönüş serbestisi kazandığı sıvı faza geçilir. Bazı maddelerde katı fazdan sıvı faza geçerken, aradaki fazın düzenli molekül dizilişine sahip bir sıvı hale benzemesinden ötürü bu maddelere sıvı kristal denilmiştir.

Maddenin bir ara halinin de var olabileceği önceleri teorik olarak öngörülmüş ise de, bu konu üzerinde pek fazla durulmamıştır. Bu ara halde, atom veya moleküller bir akışkanda olduğu gibi gelişi güzel bir yerleşim göstermekte, ancak sistem kristal yapıya sahip bir katıda olduğu gibi, makroskopik ölçekte bir yönelimsel düzenlenmeden dolayı, farklı doğrultularda farklı fiziksel özelliklere sahip bir anizotropik davranış sergilemektedir [Aldanma, 2007].

Sıvı kristallerde 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 kullanılırlar [Köysal, 2007].

Sıvı kristallerin elektro-optik, manyeto-optik özellikleri üzerinde yoğunlaşan çalışmalar, yüksek çözünürlüklü renkli görüntü cihazlarının yapımı için önemini daha da arttırmıştır. Sıvı kristal ekranların düşük güç tüketimi gerektirmeleri, küçük boyutları ve karmaşık devre elemanları ile uyumlu çalışabilmeleri onların öneminin bir kat daha artmasını sağlamış, yakın gelecekte teknolojik uygulamadaki yerini daha da sağlamlaştıracaktır [Köysal, 2007].

Türkiye’de üretimi olmamakla birlikte çok yaygın kullanıma sahip sıvı kristaller hesap makinalarında, saatlerde, bilgisayarlarda, televizyonlarda vb. sistemlerde kullanılırlar ve bu cihazlarda görüntünün kaynağıdır. Farklı alanlarda kullanılabilmeleri sebebiyle de gün geçtikçe hayatımızda daha fazla yer edinmektedirler [Aldanma, 2007].

Karbon nanotüp malzemeler çeşitli teknolojik avantajlar sağlayan sıra dışı özellikleriyle dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmalarda sahip oldukları sıra dışı mekaniksel ve elektriksel özellikleri sebebiyle muazzam ilgi toplayan karbon nanotüplerin (CNT) çeşitli çözgenler içerisinde zayıf çözünbilirlik özellik gösterdiği anlaşılmış; daha önceden belirlenen bir yöne doğru yönlenebilme yeteneklerinin keşfedilmesi ile çeşitli sıvı kristal ortamlardaki yönelimlerinin elektriksel özelliklerde değişiklikler meydana getirdiği belirlenmiştir. Karbon nanotüpler tek duvarlı (SWCNT) ve çok duvarlı (MWCNT) olmak üzere iki sınıfa ayrılabilirler ve normal şartlarda ark boşalımı ve lazer kesme ya da kimyasal buhar uygulanması teknikleri ile üretilirler. Bu yöntemlerin tamamı genellikle nanotüplerin gelişi güzel yönelimlerine neden olur. Yapılan çalışmalar bu yönelimlerin dış alanlar (elektrik, manyetik vb.) etkisiyle değiştirilebildiğini göstermektedir. Bu özellikleri sebebiyle sıvı kristal ortamlar içinde yönelimleri elektriksel parametreler kullanılarak modifiye edilebilmektedir [Akar, 2006].

Renkli sıvı kristal göstergeler, sıvı kristali renklendirerek veya zor bulunsa da renkli sıvı kristal kullanarak üretilebilirler. Boya katkılı sistemler Yolcu-Hancı (Guest-Host) sistemleri diye bilinmektedir. Maliyet ve kontrast yönüyle bu tip göstergeler bazı avantajlara sahiptir [Bauman ve Moryson, 1997]. Bu sistemlerde hancı nematik sıvı kristal olup, yolcu olarak dikroik veya pleokroik boyalar kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bazı kloro antrakınon yapılı boyarmaddelerin sıvı kristal boyası olarak yolcu-hancı (Y-H) sistemlerde kullanılabiliirliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak dört tane sarı (1-klor-, 2-klor-, 1,5-diklor-, 1,8-diklor-) antrakınon yapıda boyarmaddeler seçilerek, bu boyarmaddelerin farklı yapıdaki sıvı kristaller (E7 ve ZLI-1132) içerisindeki çözünürlükleri belirlenmiştir.

Çalışmaların devamında hazırlanan boya katkılı sıvı kristal numunelerin düzen parametreleri tespit edilmiştir. Bu işlemin ardından hazırlanan numunelerin faz geçiş sıcaklıkları ve tekstürleri polarize mikroskop yardımı ile belirlenmiş; faz geçiş sıcaklıkları DSC ile de tespit edilerek tutarlılık tartışılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında hazırlanan boya katkılı sıvı kristal numunelere tek duvarlı karbon nanotüp eklenerek düzen parametreleri, faz geçiş sıcaklıkları ve tekstürleri belirlenmiş; ilave edilen nanotübün moleküler yönelim ile sıvı kristalin termal kararlılığı üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. SIVI KRİSTALLER

2.1. Sıvı Kristallerin Tarihçesi

Maddenin katı ve sıvı fazı arasındaki hali sıvı kristal faz olarak bilinmektedir. Sıvı kristallerde moleküllerin sahip olduğu düzenliliğin derecesi, katı kristallerin üç boyutlu düzeni ile izotropik bir sıvının düzensizliği arasında yer alır ve her iki fazın özelliklerini taşır.

Sıvı kristal yapı, 1888 yılında Avusturyalı botanikçi ve kimyacı Friederich Reinitzer tarafından keşfedilmiştir. Reinitzer, bitkilerde ve hayvanlarda doğal olarak oluşan kolesterolün değişik ürünlerini (kolesteril asetat ve kolesteril benzoat) sentezlemiş ve bu esterlerde ‘çift erime’ olayını gözlemlemiştir. Kolesterol benzoatın 145,5 °C’ de tam ve keskin bir şekilde eridiği, fakat elde edilen sıvının tam olarak berrak olmadığı tespit edilmiştir. Sıvı 178,5 °C’ ye ısıtıldığında bulanık hal yok olmuş ve bu sıcaklıkta berrak bir sıvı gözlenmiştir. Bu tür hal değişimleri, artan ve azalan sıcaklık değişimleri ile tekrarlanabilirlik göstermiştir. Reinitzer çift erime olayını ve bulanık sıvının varlığını açıklayamadığından bu bileşikler için Alman fizikçi Otto Lehmann’a göndermiştir. Lehmann, numuneleri polarize mikroskopta inceledikten sonra, kolesterol esterlerin bulanık sıvı hallerinin optik anizotropisini farketmiş ve bu sıvıların anizotropisinin, uzun eksene paralel olarak yönlenmiş moleküller nedeniyle olduğunu ifade etmiştir. ‘Akışkan kristaller’ ve ‘sıvı kristaller’ terimleri ilk defa Lehmann tarafından ortaya atılmıştır [Wang ve Zhou., 2002].

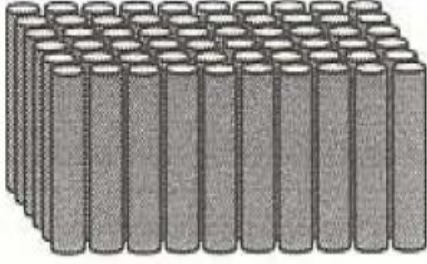
1960’tan günümüze kadar sıvı kristaller için teknolojik uygulamaların bulunması ile bu sahada hızlı bir gelişme kaydedilmiştir. Bu ilk göstergeler daha sonra yaygınlaşmış ve bugünkü güçlü elektro-optik görüntü endüstrisine de ön ayak olmuştur. Yeni uygulamalar için arayış; kimya, fizik, elektrik ve elektronik mühendisliği, biyoloji ve benzerlerinin ilgili alanlarındaki araştırma ve mali destek artışıdır. Bu aktivitenin göstergesi olarak 1968 yılında 2000 civarında patent basılmış olmakla beraber bu rakam 1995 yılında 6500’e yükselmiştir.

2.2. Sıvı Kristal Tanımı ve Özellikleri

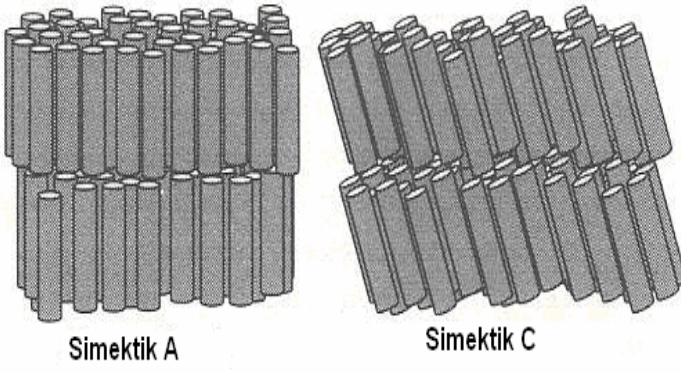
Sıvı kristal hali maddenin katı ve sıvı hal durumlarının birleştiği özel bir durum olarak ifade edilebilir. Bu iki hal arasında madde hem sıvı, hem de katı fazın bazı özelliklerini bir arada taşıyabilmektedir. Sıvıların akıcı özellikleri ve katıların uzun mesafede moleküler düzen oluşturma isteğini sıvı kristaller bir araya getirmektedir.

Sıvı kristal hal; yönlenmiş bir düzenliliğe sahip olmayan izotropik sıvı hal ile üç boyutlu uzun mesafeli periyodik bir düzenliliğe sahip katı (kristal) hal arasında oluşan özel bir fiziksel durumdur. Sıvı kristaller (mesojenik bileşikler) kendiliğinden anizotropi gösteren kondense olmuş akışkan olarak tanımlanabilir. Sıvı kristaller için ilk kez George Friedel tarafından kullanılan ve arafaz anlamına gelen mezofaz terimine de literatürde sıkça rastlanmaktadır. Bu ara fazda yapı olarak katı özellikleri taşırlar, fakat görünüş olarak sıvıdırlar. Dolayısıyla moleküller arası düzenlilik ve yönelim en belirgin özellik olup, bu yapı anizotropiktir [Gürek, 1994].

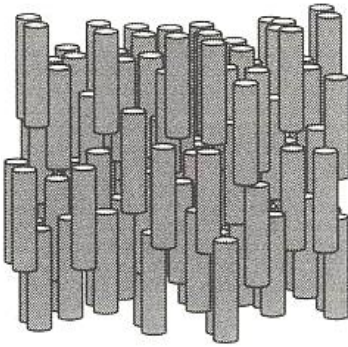
Katı kristal yapıda (Şekil 2.1) moleküllerin üç boyutlu örgü düzeni sıcaklık artıkça iki boyutlu örgü düzenine geçiş yapmaktadır. Bu ısıtma sırasında katı faz önce akıcı, bulanık bir sisteme dönüşür. Katı ile sıvı arasındaki bu ara fazda madde sıvı kristal halde bulunmaktadır. Bu ara fazda moleküller dizili olmalarına rağmen hareketlidirler. Bundan dolayı moleküllerin düzenlenme ve yönelme şekillerine bağlı olarak simetrik, nematik ve kolesterik faz olarak adlandırılan bazı mezofazlar gözlemlenir (Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4). Bu sistem ısıtılmaya devam edilirse bulanık yapı, saydam sıvıya dönüşecektir ve moleküller rast gele bir yerleşim gösterecektir (Şekil 2.5). Böylece izotropik sıvı faza geçilmiş olur [Eser, 2006].



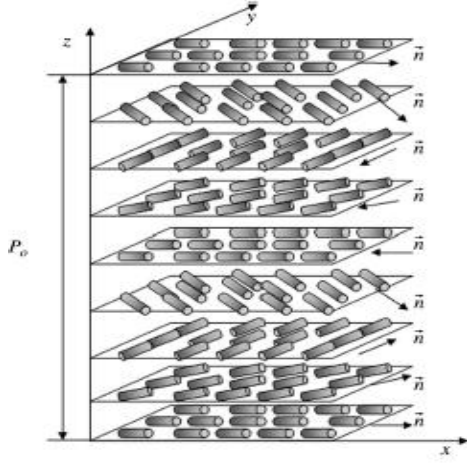
Şekil 2.1. Katı faz



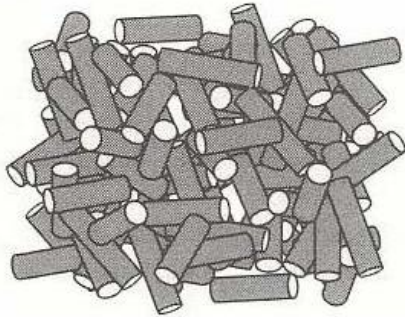
Şekil 2.2. Simektik faz



Şekil 2.3. Nematik faz



Şekil 2.4. Kolesterolik faz [Yang ve Wu, 2006].



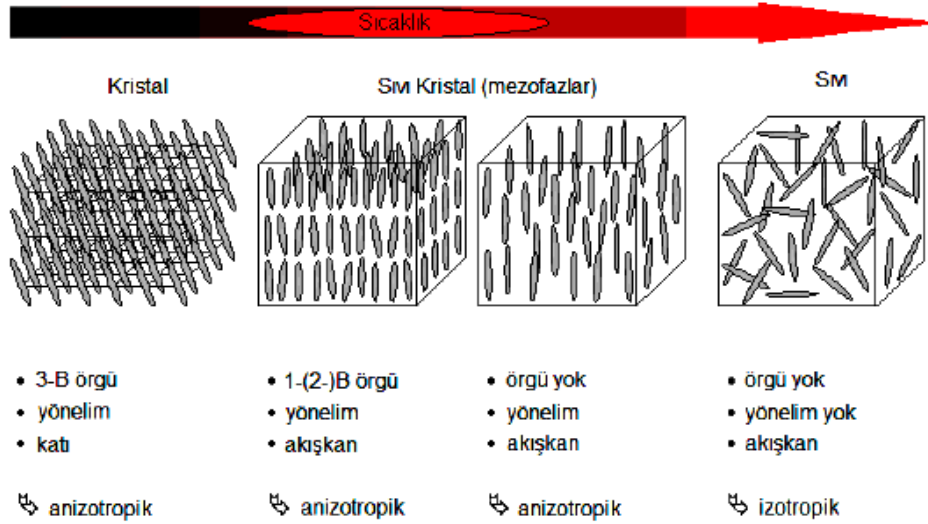
Şekil 2.5. İzotropik (sıvı) faz

Sıvı kristallerin bazı özellikleri şunlardır:

- 1- Normal bir manyetik veya elektrik alan uygulaması ile monokristalleri oluşturma isteği,
- 2- Kolesterolik ve nematik sıvı kristallerde optik aktivite,
- 3- Renk değişikliği ile sonuçlanan ısıya karşı duyarlılık,
- 4- Nanopartiküllerle karışımlarında yönlendirmeye katkısı ve onun sonucunda önemli dielektrik ve elektriksel özellikler sağlaması [Akkurt, 2009].

Katı fazda moleküller veya atomlar belirgin örgü pozisyonlarında küçük titreşimler gerçekleştirmekte, ancak dönmemektedir. Sıvı fazda, nispeten moleküllerin dönüş serbestliği vardır, ancak uzun erişimli düzen yoktur. Gazlarda ise parçacıklar sıkıştırıldıkları hacim içerisinde serbestçe hareket etmektedir. Normal katıların erimesi, örgünün tamamen dağılmasına ve parçacıkların dönüş serbestliğine kavuşmasına neden olmaktadır (Şekil 2.6). Erime sonrası oluşan sıvı fazda, moleküller konum ve yönelim yönünden kısa erişimli ilişkilere sahiptir.

Sıvı kristaller genellikle çubuksu yapıda moleküller içermekte olup, güçlü dipollere veya kolayca polarize olabilir gruplara sahiptir. Polarize ışığı çift kırma özelliğine sahip olup, girişim renkleri verebilir. Optik özellikleri, moleküllerin ışık kaynağına göre yönelimlerine bağlıdır [Özaydın, 2007]. Bu ara fazı farklı yapan unsur moleküllerin, yönlendirici diye adlandırılan ortak eksen boyunca yönelme eğilimleridir. Her bir faz için moleküllerin bu karakteristik yönelimleri Şekil 2.6’ da verilmiştir.



Şekil 2.6. Katı kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı geçiş [Emek, 2007].

2.3. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları

Sıvı kristallerin gündelik hayatımızda pek çok alanda kullanımı her geçen gün biraz daha artmaktadır.

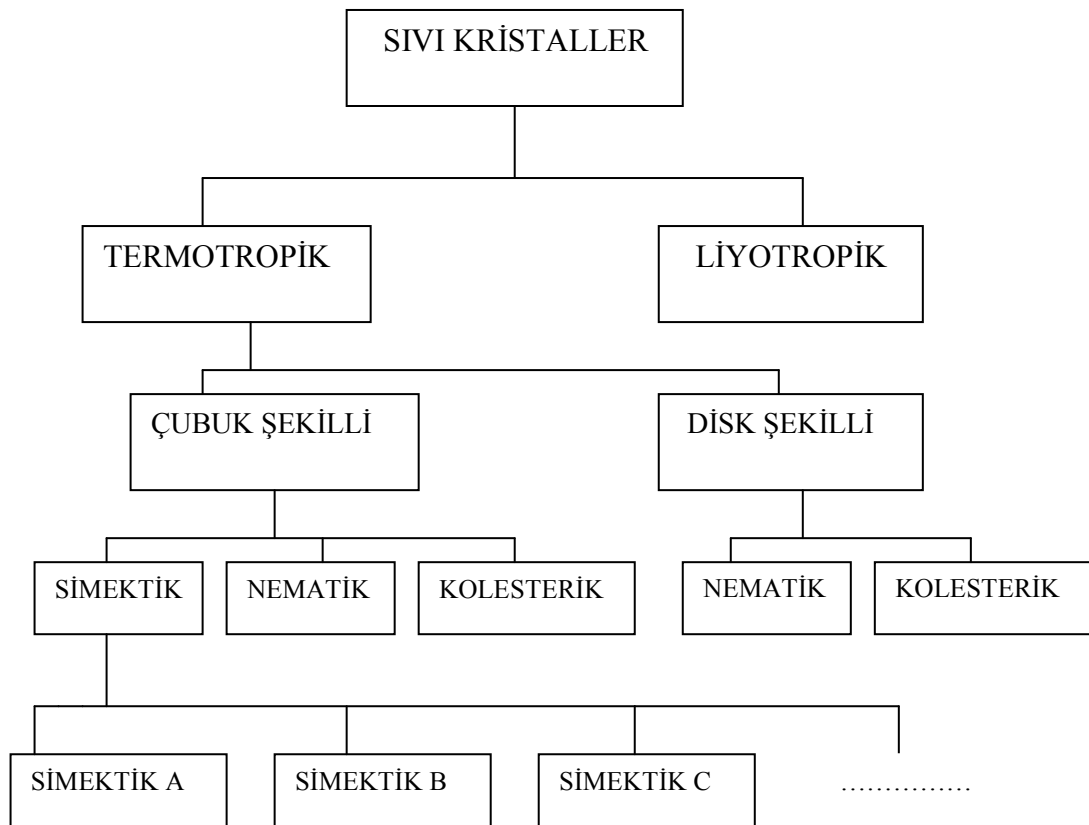
Sıvı kristallerin sıcaklık değişimine bağlı olarak renk değiştirmeleri sıcaklık sensörü olarak kullanımına imkân sağlamıştır. Bu sayede elektronik bir devre içindeki elemanların sıcaklık dağılımı ve bozuk devre elemanlarının tespiti yapılabilmektedir. Havacılık sektöründe ise uçağın ek yerlerinin hatalı olup olmadığının anlaşılmasında sıvı kristaller kullanılmaktadır. Bunların dışında tıpta; hastalıklı dokuların teşhisinde, sinir ve damar yollarının açık olup olmadığının belirlenmesinde, deri enfeksiyonları ve tümörlerin teşhisinde de sıvı kristalli sensörler kullanılmaktadır. Ayrıca sıvı kristallere karışan yabancı gazlar da yapıda değişmelere ve dolayısıyla renk değişimine neden olduğundan, hava kirliliğinin büyük sorun olduğu günümüzde çevresel değişiklikleri izlemek ve hava kirliliğini tespit etmek için de kullanılabilmektedir [Tan, 2005].

Sıvı kristaller; dijital saatlerde, hesap makinalarında, osilografik göstergelerde, radyasyon ve basınç sensörlerinde, otomobil ve uçakların gösterge panellerinde, dizüstü ve masaüstü bilgisayar ekranları ile televizyon ekranlarında geniş kullanım alanı bulmaktadır. Sıvı kristal göstergelerin yaptığı bu atılım ve başarıya ana sebep olarak, görünüm hoşluğu ve daha da önemlisi taşınabilir birimler için daha uzun batarya ömrüyle sonuçlanan çok küçük boyuttaki güç tüketimleri ve düşük voltajlarda çalışmaları gösterilebilir [Gümüş, 1999].

2.4. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristal maddeler kalamitik, diskotik, sanidik, kübik kristaller ve benzeri şeklinde gruplanabilir. Bu tür sınıflamanın dışında amfibilik (yarısı suyu seven, yarısı sevmeyen) olan ve olmayan, metal içeren ve içermeyen, düşük molekül ağırlıklı veya polimerik sıvı kristaller şeklinde sınıflamalar da mümkündür [Gümüş, 1999].

En çok kullanılan sınıflama şekline göre, sıvı kristaller katı hal düzeninin bozulma prensibi esas alınarak termotropik ve liyotropik sıvı kristaller olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Termotropik sıvı kristaller ince-uzun çubuksu yapıda veya disk biçimindeki moleküllerden oluşan ve farklı alt gruplar içeren sistemlerdir (Şekil 2.7). Termotropik sıvı kristallerde fazlar arasındaki geçişler sıcaklık değişimi ile gerçekleşmektedir. Faz geçişleri sıvı kristal yapıdaki yüksek polariteye sahip bileşikler ile belirli çözücüler arasındaki kuvvetli etkileşimler ile gerçekleşiyorsa, bu tür sıvı kristaller liyotropik sıvı kristaller olarak isimlendirilmektedir. İki veya daha fazla bileşenin karıştırılmasıyla elde edilen ve uzun zincirli moleküllerden oluşan liyotropik sıvı kristallerde ana değişken konsantrasyondur.



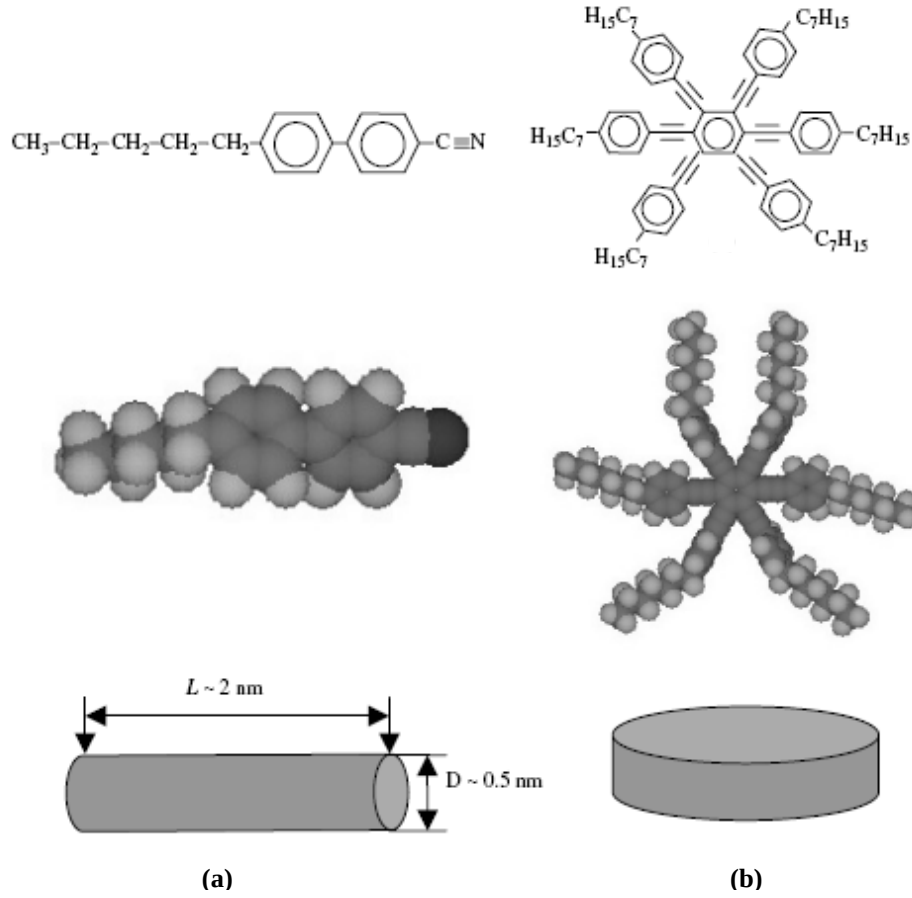
Şekil 2.7. Sıvı kristallerin sınıflandırılması [San, 2002].

2.4.1. Termotropik sıvı kristaller

Termotropik sıvı kristaller belirli sıcaklık değerleri arasında kararlı olup, bu sıcaklığın altında katı kristal, üstünde ise izotropik sıvıdırlar. Bu sıvı kristal faz, izotropik sıvıdan bulanık görünüşüyle ve katı kristalden de akıcı özellikleriyle ayırt edilir. Lineer olduğu kadar non-lineer optik özelliklerinden dolayı çok fazla incelenen ve en geniş kullanım alanına sahip olan sıvı kristaller termotropik sıvı kristallerdir [Khoo, 2007].

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. Molekül eksen boyunca kuvvetli dipollerin yer alması sıvı kristal fazın oluşumunda oldukça etkilidir. Dipoller arasındaki çekici kuvvetler moleküllerin birbirlerine yakın ve paralel olarak düzenlenmesine neden olur. Bu kuvvetler hidrojen bağlarıyla birlikte sıvı kristal yapının oluşmasına yol açar. Molekül uçlarında zayıf polar grupların bulunması sıvı kristal fazın oluşumu açısından ikinci derecede bir öneme sahiptir. Termotropik sıvı kristal sistemlerin meydana gelmesinde; dipol-dipol etkileşimleri ve iyon-dipol etkileşimleri etkin olan faktörlerdir [Akar, 2006].

Termotropik sıvı kristallerin molekül yapılarına bakıldığında, moleküllerin ince çubuksu (kalamitik) veya disk şeklinde (diskotik) olduğu görülür (Şekil 2.8). Çoğunlukla “katı çubuklar” olarak bilinmektedirler. Termotropik sıvı kristaller sıcaklık değişimine bağlı olarak farklı yapısal özellikler sergilemektedirler.

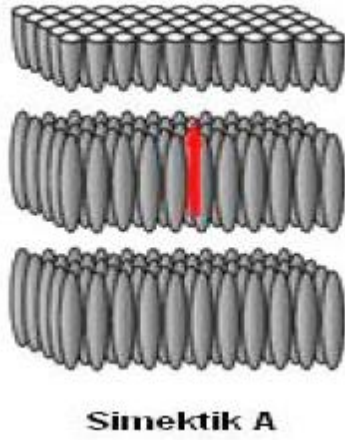


Şekil 2.8. (a) Kalamitik ve (b) Diskotik moleküler yapıya sahip termotropik sıvı kristallere örnek kimyasal yapılar, dolgulu modeller ve fiziksel görünümüler [Yang ve Wu, 2006].

Kalamitik (çubuk şekilli) sıvı kristaller; simektik, nematik ve kolesterik olmak üzere üçe; diskotik (disk şekilli) termotropik sıvı kristaller ise nematik ve kolesterik olarak ikiye ayrılırlar.

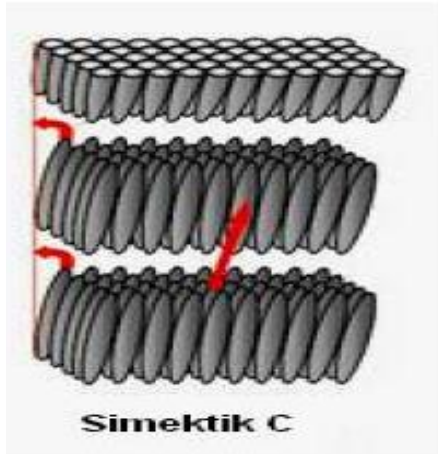
Simektik sıvı kristaller

Simektik yapıda moleküller kendi katmanları içinde hareket ederken, katmanlar arasında hareket edemez. Simektik sıvı kristaller moleküllerin katman düzlemindeki yönelimlerine göre iki ana gruba ayrılmıştır. Simektik A (S_A) fazında moleküller tabaka düzlemine dik olacak şekilde yönelmişlerdir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Simektik A (S_A) fazında moleküllerin tabaka normali (doğrultu) boyunca yönelimi [Dierking, 2003].

Simektik B fazı (S_B) hekzagonal bir paketleme düzeni göstermektedir. Bu fazın bazı özellikleri sıvı kristalden çok katı kristale benzemektedir. Simektik C fazında ise moleküllerin yönelimi tabaka düzlemiyle açı yapmaktadır (Şekil 2.10).



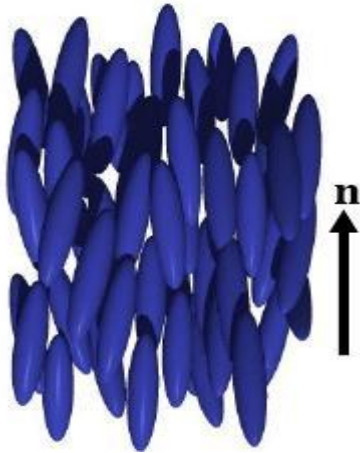
Şekil 2.10. Simektik C (S_C) fazında moleküllerin normalden belli bir açıyla sapan yönelimi [Dierking, 2003].

Nematik sıvı kristaller

Nematik sıvı kristaller, gerekli nonlinear optik fonksiyonların üretilmesindeki kullanımlarından ötürü büyük öneme haizdirler [Ono ve Ito, 2003]. Nematik özelliğe sahip bir bileşikte moleküller, düz ve ortalama bir yön veya doğru boyunca yönelmiştir. Bu uzun moleküler eksenler, ortalama olarak paraleldirler. Bununla birlikte, moleküller uzun eksen yönünde serbestçe hareket etme imkânına sahiptirler.

Moleküller üç yönde hareket edebilmektedirler ve konumsal bir düzene sahip olmayıp, rastgele dizilmişlerdir. Dolayısıyla sıvılara oldukça benzemektedirler; ancak yönelimsel düzene sahip olmaları onları diğer sıvılardan ayırt etmektedir.

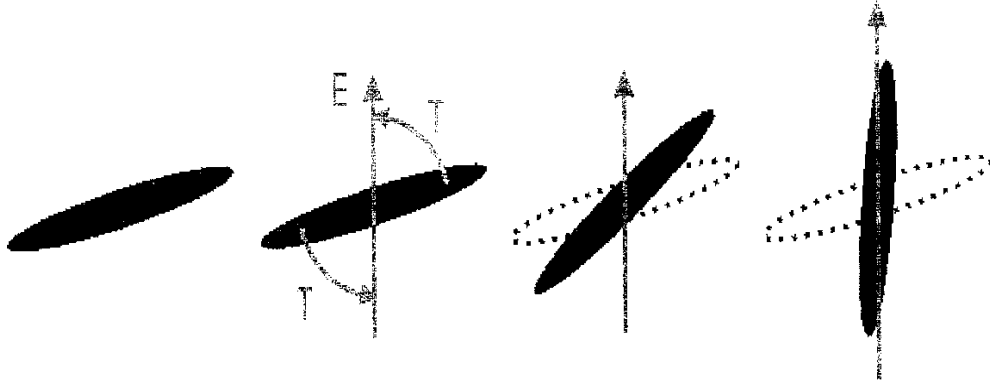
Simektik fazdan daha yüksek sıcaklıklarda gözlenen nematik faz, aynı istikamette yönelmeye meyilli moleküller tarafından karakterize edilmektedirler. Moleküllerin yönelimi doğrultu olarak isimlendirilen bir $\vec{n}$ vektörü ile temsil edilir (Şekil 2.11). Nematik sıvı kristallerin yapısı tabakalı değildir.



Şekil 2.11. Nematik fazın şematik gösterimi [Dierking, 2003].

Nematik fazın en faydalı özelliklerinden birisi uygulanan manyetik veya elektriksel alanla moleküllerin yeniden yönlendirilebilmeleridir (Şekil 2.12). Böyle bir değişim için de, uygulanan elektrik alanın bir eşik değeri söz konusudur. Buradan hareketle nematik sıvı kristal ortamdaki elektro-optik olayın temel ilkesi, yönelmiş ince sıvı

kristal tabakası elde etmeye ve daha sonra bir elektrik alan uygulayarak bu yönelimi dolayısıyla optik özellikleri değiştirmeye dayanmaktadır. Nematik sıvı kristallerin elektrik alana cevap sürelerinin milisaniye mertebelerinde olması, bu tip kristalleri elektro-optik cihazlarda yaygın olarak kullanılır hale getirmiştir.



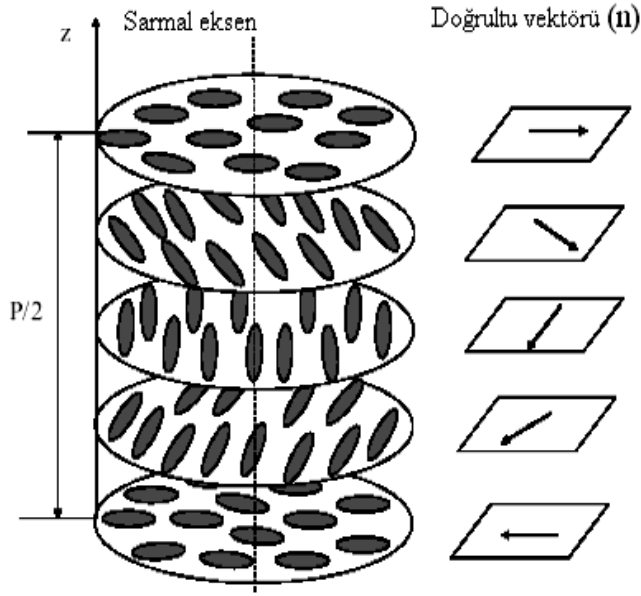
Şekil 2.12. Sıvı kristal moleküllerin elektriksel alanda yeniden yönlenmeleri [www.elis.ugent.be, 2009].

Kolesterik sıvı kristaller

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

Kolesterik sıvı kristaller kompleks moleküler yapıya sahiptirler. Kolesterik faz, tabakalar içindeki moleküllerin farklı aralıklarla aynı yönde kalmak koşuluyla, çok küçük bir açı farkı ile tabakaların üst üste istiflenmesinden oluşur. Kolesterik sıvı kristal bir ortamda moleküllerin doğrultu boyunca yönelimleri söz konusu olmakla

beraber doğrultu, ortam içerisinde sabit kalmayarak helisel bir dönüş sergilemektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Kolesterik sıvı kristallerde moleküllerdeki helezonik yönelim değişimi

Bu yapıda her katmandaki molekül demeti doğrultusu bir alttakine göre belli bir büyüklükte ve küçük bir açı ile hep aynı yöne doğru dönerek optik olarak iki eksenli olan helezonik bir yapı oluşturur.

Helezon eksenine dik yönde belli büyüklükte manyetik veya elektrik alan uygulayarak kolesterik yapıyı bozup nematik yapılı sistem oluşturmak mümkündür. Ya da nematik sıvı kristal ortamlara molekülleri ayna simetrisine sahip olmayan optikçe aktif maddeler ilave edildiğinde ortam içinde helezonik bir düzenlemenin oluştuğu gözlenebilir [Akar, 2006].

2.4.2. Liyotropik sıvı kristaller

Polar ya da iyonik uç grup ve uzun bir hidrokarbon zinciri içeren moleküllerin (çift karakterli moleküller) belirli oranlarda uygun bir çevrede (su) çözünmeleri sonucu liyotropik sıvı kristal sistemleri elde edilir. Liyotropik sıvı kristaller bir veya birkaç

bileşimin karışımından oluşmaktadır ve amfibilik nitelikli uzun zincirli moleküllerdir. Amfibilik (çift karakterli) moleküllerde, suda çözünmeyen uzun bir organik zincirin yanı sıra suda çözünmeye meyilli hidrofilik ve polar bir uç bulunur. Yani aynı molekülde çözünürlük özelliğinden dolayı iki farklı grup yer almaktadır.

Liyotropik sıvı kristal fazın oluşumunda etkili olan faktörler; çözücünün cinsi, karışımı oluşturan bileşiklerin sayısı, türü, konsantrasyonu ve sıcaklıktır. Bu sistemleri termotroplardan ayıran tek fark, yalnızca belirli sıcaklık aralığında değil; aynı zamanda belirli konsantrasyon aralığında da mezomorf özellik göstermeleridir [Gürek, 1994]. Liyotropik sıvı kristaller, yüzey aktif madde (surfaktan), emülsiyon ve biyoloji çalışmalarında büyük önem taşır. Canlı hücrelerde özellikle hücre zarındaki lipidlerin liyotropik yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu özelliğinden dolayı biyolojik açıdan büyük öneme sahiptir [Eser, 2006].

Amfibilik moleküllerin çözücü ile olan karşılıklı etkileşimleri çok önemlidir. Çözücünün molekülleri düzenli olarak dağılmazlar ve sistemin bazı kısımlarında diğer kısımlarına göre daha fazla birikim oluştururlar. Sulu faz durumunda su molekülleri amfibilik maddenin polar uç kısmında toplanır. Çözücü organik madde ise, hidrokarbon kısımlarında (alkil kuyruk etrafında) yer alır. Amfibilik moleküllerin önemli bir özelliği hidrokarbon kısımların bir araya toplanarak ve düzenlenerek su ile temastan kaçınması, hidrofil kısımların ise mümkün olduğunca su ile temasta olma eğilimidir. Bu özellik çok büyük çeşitlilikte olan grupların ve liyotrop fazların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Liyotrop sıvı kristalleri oluşturan yapı elemanları arasındaki etkileşimler iki türdür.

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

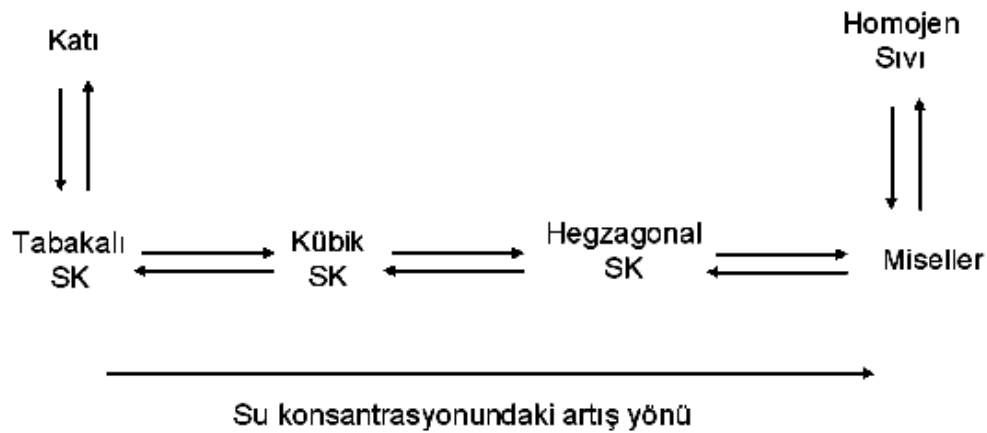
Miselli sıvı kristal yapan çift karakterli moleküller su ile temas ettiği zaman uç gruplar (hidrofil gruplar) su içinde çözünür. Hidrokarbon kısımları ise suda

çözünmedikleri için sudan uzaklaşarak bir arada toplanır. Suda çözünmeyen bu hidrokarbon zincirine suyu sevmeyen hidrofob kısım da denir.

Uç grupların su içinde çözünmesi ve hidrokarbon kısımların su tarafından itilerek bir arada kümeleşmeleri sonucu ortaya çıkan yapıya “misel” adı verilir. İki türlü misel oluşabilir:

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

Misel oluşması, çözücü ve polar gruplar arasındaki çekim kuvveti ile çözücü ve hidrofob gruplar arasındaki itme kuvvetlerine bağlıdır. Bu etkiyle, hidrofil polar uç gruplar bir arada, hidrokarbon kısımları da bir arada toplanırlar. Misel yapısına sahip anizotrop çözeltilere miselli sıvı kristaller ya da liyotropik sıvı kristaller adı verilir. Fazların oluşum sırası yoğunluk takibi ile gözlenebilir. Karışımdaki su konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak ortaya çıkan fazların oluşum sırası Şekil 2.14’deki gibidir [Akar, 2006].



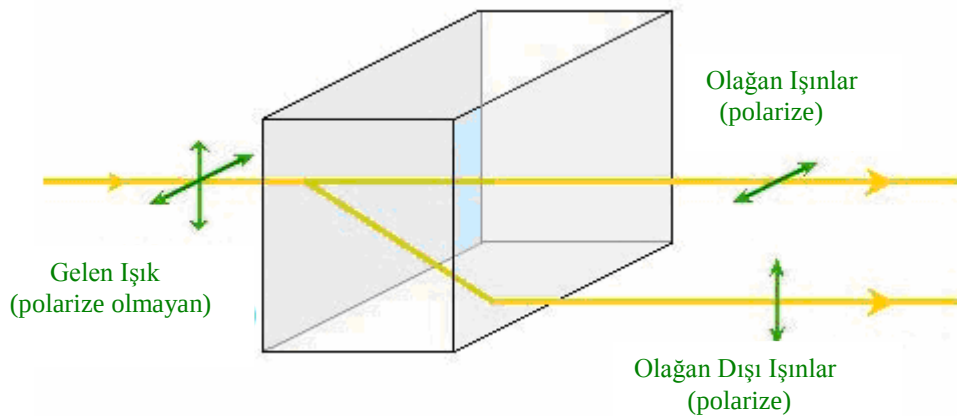
Şekil 2.14. Liyotropik fazda konsantrasyona bağlı faz geçişleri

2.5. Sıvı Kristallerin Fiziksel Özellikleri

Lazer teknolojisindeki ilerlemeler sonrasında, materyallerin optik özelliklerinde ışıkla meydana gelen değişiklikler kolaylıkla incelenebilmektedir. Sıvı kristaller de görüntü amaçlı cihazlarda kullanım için pek çok özgün karakteristiğe sahiptir. Bu karakteristiklerin çoğu sıvı kristallerin anizotropik bir materyal oluşundan kaynaklanır. Bu tip materyalin özellikleri ölçüldüğü yöne bağlı olarak farklılaşır. Bu sıra dışı özellikleri onları optik yönden ilginç materyaller haline getirmiştir. Bu malzemelerde, moleküler yönelim mertebesi ve ortalama moleküler yönelim manyetik veya elektrik alan gibi dış etkilerle değişebilir. Ayrıca sıvı kristaller ileri seviyede çift kırıcı maddeler olup, optik eksen doğrultusu (n) ve buna dik doğrultuda ölçülen kırma indisleri arasında belirgin bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yüksek elektrooptik ve manyetooptik katsayılarına sahiptirler [Aldanma, 2007].

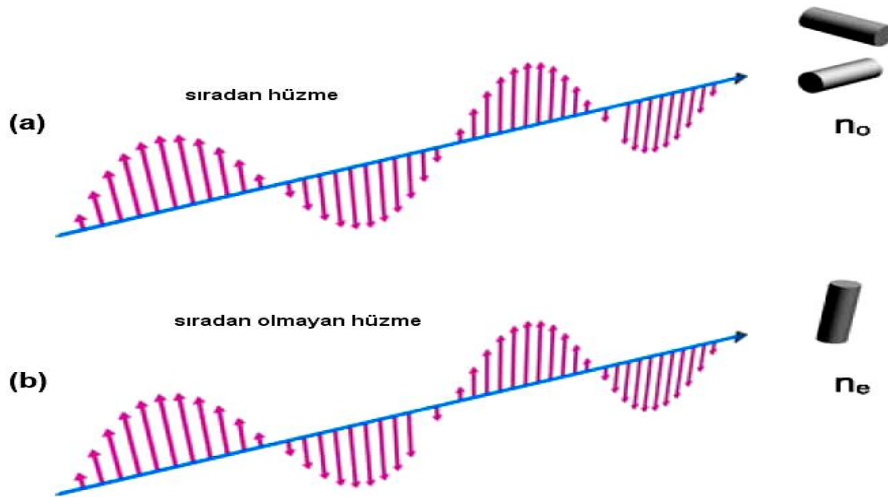
2.5.1. Sıvı kristallerin optik özellikleri

Sıvı kristaller; doğru vektörüne göre, uygulanan elektrik veya manyetik alanların yönüne bağlı olarak farklı şekilde davranır.



Şekil 2.15. Sıvı kristal ortamdaki polarize olmayan ışığın davranışı

Sıvı kristal gibi çift kırmalı bir malzeme boyunca ilerleyen polarize olmayan bir ışık demeti, elektrik alan vektörünün dik yönelimde olduğu böyle bir ortamda olağan ışınlar ve olağan dışı ışınlar olmak üzere iki bileşene ayrılmaktadır [Emek, 2007]. Bu bileşenler farklı hızlarla ilerledikleri için, dalgalar arasında faz farkı ortaya çıkmaktadır. Bu ışınlar çift kırmalı malzemeyi terk etmek üzere tekrar birleştiklerinde, bu faz farkından dolayı polarizasyon durumları değişmektedir. Bunlardan ilkinde, gelen polarize ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu, sıvı kristalin doğrultu eksenine dik olacak şekildedir (Şekil 2.16-a). İkincisinde ise gelen ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu, sıvı kristalin optik eksenine paralel olacak şekildedir (Şekil 2.16-b). Dolayısıyla n_o ve n_e olmak üzere iki farklı kırma indisi oluşmaktadır. Bu nedenle optik anizotropi, $\Delta n = n_e - n_o$, olarak da adlandırılan çifte kırınım, sıvı kristallerin karakterizasyonunda önemli rol oynamaktadır. Şayet optik eksene paralel yayılan hüzmelerin kırılma indisi diğer bileşenden daha büyükse optik anizotropi pozitifdir ($\Delta n > 0$); tam tersi durumda ise negatifdir ($\Delta n < 0$). Nematik sıvı kristaller pozitif dielektrik anizotropiye sahip olup, $n_e > n_o$ 'dır. Genelde nematik sıvı kristaller için n_o yaklaşık olarak 1,5 ve maksimum fark, Δn değeri 0,05 ile 0,5 arasında değişmektedir.



Şekil 2.16. Sıvı kristalde ışığın moleküler eksen boyunca yayılması; (a) Olağan ışınlar (sıradan hüzmeler) (b) Olağan dışı ışınlar (sıradan olmayan hüzmeler); n_o sıradan kırılma indisi, n_e sıradan olmayan kırılma indisi

Sıvı kristaller sıvılara ait akışkan özelliklerine sahip olmakta; ancak elektrik, manyetik ve optik özellikleriyle anizotropi göstermektedir. Elektrik ve manyetik alan gibi dış etkilere karşı son derece hassastır ve tepki göstermektedirler. Sıvı kristal üzerine bir dış elektrik alan uygulandığı zaman, ortamdaki esneklik kuvvetleri, molekülleri önceki konumlarını muhafaza etmeye zorlamaktadır. Bu zorlamayı yenmek için elektrik alanın bir eşik değeri söz konusudur. Sıvılarda moleküllerin düzensiz hareketleri alan boyunca yönelme şansını ortadan kaldırırken, katılarda moleküller arası bağ kuvvetli olduğundan yönelimin gerçekleşmesi zordur. Ancak sıvı kristallerdeki normal olarak kalıcı veya indüklenmeli elektriksel dipole sahip olan moleküller hangi fazda olursa olsunlar uygulanan bir alan boyunca yönelmek eğilimindedirler. Bu da anizotropiden ileri gelmektedir. Sıvı kristallerin karakterizasyonunda önemli rol oynayan optik anizotropi özelliği optik anahtarlama, SK ekranlarda, faz geciktiricilerde ve elektriksel olarak kontrol edilebilen uzaysal ışık modülatörü gibi birçok cihazda geniş uygulama alanına sahiptir [Akkurt, 2009].

2.5.2. Sıvı kristallerin elektriksel özellikleri

Katılarda moleküller arası kuvvetlerin büyük ve bağların kuvvetli olması nedeniyle elektriksel alan uygulansa bile çok az bir etki yaratır. Sıvılarda ise moleküllerin sahip olduğu yüksek kinetik enerji elektriksel alan uygulayarak moleküllerin yönlendirilmesini imkânsız kılar. Çok zayıf bir elektriksel alanla SK içerisinde doğrultu vektörünün yeniden yönlendirilmesi sağlanabilirken, katılarda ve sıvılarda bu mümkün olmamaktadır.

Sıvı kristal moleküllerine dik elektriksel dipol, molekülün genişlik ve uzunluğu boyunca derece derece değiştiği için, doğrultu vektörünü yönlendirmek amacıyla bazı tür sıvı kristaller daha düşük elektriksel alan gerektirirken, bazıları çok daha büyük elektriksel alana ihtiyaç duyar. Bu kapsamda “elektriksel duyarlılık” terimi tanımlanmış ve birim kristal hacmi başına alan kuvvetine karşı elektriksel dipol

şeklinde ifade edilmiştir. Dolayısıyla elektriksel duyarlılık, materyali elektriksel olarak polarize etmenin bir ölçüsüdür [Akar, 2006].

2.5.3. Sıvı kristallerin manyetik özellikleri

Manyetik alan içindeki davranışına göre madde, temel olarak paramanyetik veya diamanyetik olarak sınıflandırılmaktadır. Sıvı kristallerde, uygulanan manyetik alanın moleküller üzerindeki etkisi sonucunda manyetik alana ters yönde yönelmiş manyetik moment indüklenmektedir. Yani sıvı kristal malzemeler diamanyetik özellik gösterir ve moleküller anizotropik olduğundan indüklenen manyetik momentin büyüklüğü, uygulanan alanın molekül eksenine göre nasıl yönlendiğine bağlıdır. Bu noktada başka bir nicelik diamanyetik anizotropi olarak tarif edilebilir. Diamanyetik anizotropinin işareti optik anizotropi ile aynıdır. Hidrokarbon zincirlerinin diamanyetik anizotropisi, aromatik halkaların anizotropi değerinden iki derece daha düşüktür. Dolayısıyla moleküler yapıda benzen halkaları mevcut ise, moleküllerin diamanyetik davranışında üstünlükler görülür. Sıvı kristallerin manyetik anizotropi işaretinin belirlenmesi NMR (nükleer manyetik rezonans) ölçümleriyle gerçekleştirilmektedir [Eser, 2006].

Manyetik etkileşimler, elektriksel etkileşimlerinden birkaç derece daha düşüktür. Bu nedenle de elektromanyetik dalganın ötelenmesi tartışılırken manyetik etkileşimler tamamen ihmal edilmektedir. Ayrıca diamanyetik malzemelerde indüklenmiş manyetik dipol momentleri arasındaki etkileşim zayıf olduğundan iç manyetik alan ihmal edilebilir.

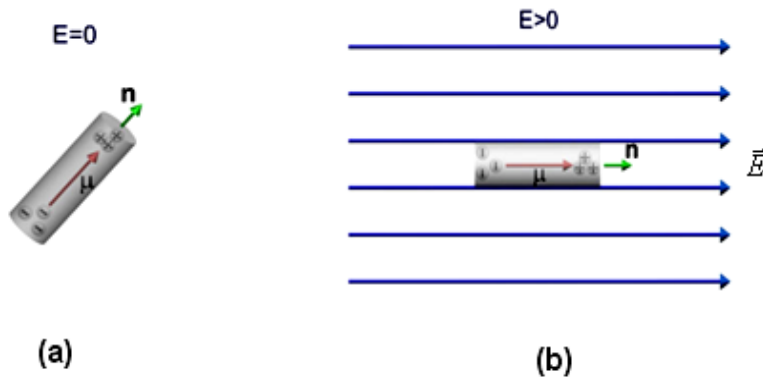
2.6. Elektrik Alanda Sıvı Kristallerin Davranışları

Sıvı kristal malzemeler polar ve polar olmayan moleküller içerebilir. Polar moleküller molekül içindeki küçük yük ayrılımları ile kalıcı dipol momentler sağlarlar. Polar olmayan moleküllerde ise dışarıdan uygulanan harici bir elektrik alan

ile negatif ve pozitif yük ayrımı sağlanıp elektriksel dipol oluşturulabilir. Etkiyle oluşturulan dipol moment genelde kalıcı dipol momentten daha zayıftır.

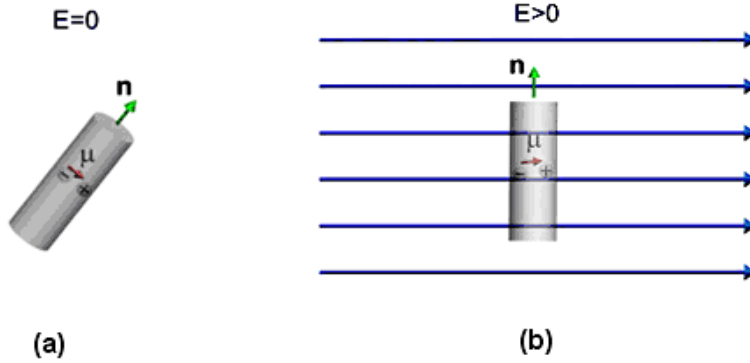
Sıvı kristal molekülleri, elektrik alana n vektörünün yöneliminin bozulmasıyla kolektif olarak tepki verecekler ve sistemin serbest enerjisini minimize edecek şekilde bir yönelim oluşturacaklardır. Sıvı kristalin dielektrik anizotropisi ne kadar büyük olursa moleküllerin oryantasyonu için o kadar küçük elektrik alan gerekli olacaktır [Akkurt, 2009].

Sıvı kristal molekülde kalıcı veya etkiyle oluşturulan dipol, molekül eksenı boyunca veya molekül eksenine dik olabilir. Eğer dipol moment moleküler eksene paralel veya paralele yakınsa $\Delta\epsilon > 0$ pozitif olur ve molekül dışarıdan uygulanan elektrik alana paralel olacak şekilde yönelir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Pozitif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristal molekülünün yönelimi; (a) $E = 0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$

Eğer molekülün taşıdığı dipol moment az ya da çok molekülün uzun eksenine dik olacak şekilde yönelmiş ise Şekil 2.18’de de görüldüğü gibi $\Delta\epsilon < 0$ olur ve sıvı kristal molekül elektrik alana dik konumlanır.

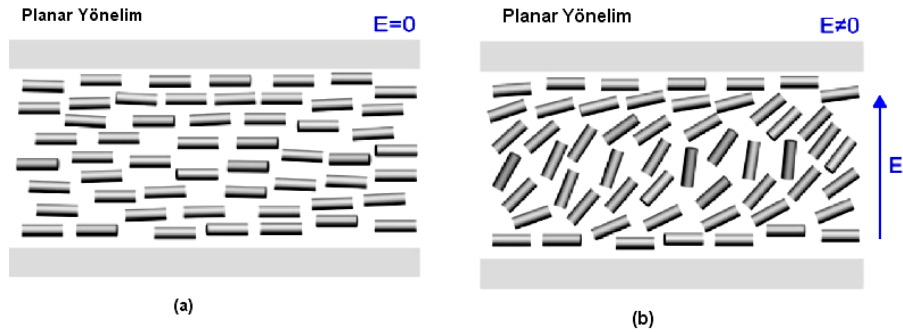


Şekil 2.18. Negatif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristal molekülünün yönelimi; (a) $E = 0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$

2.6.1. Freedericksz geçişi

Ortamın dielektrik anizotropisi $\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp}$ ile verilir ve sıcaklık artışı ile azalır. İzotropik faza geçiş sıcaklığının üstünde bu değer yaklaşık sıfır değerini alır. Uygulanan elektrik alan bileşenleri moleküler eksene paralel olduğu zaman polarizasyon da moleküler yönelim eksenine paralel olur.

Elektrik alanın yokluğunda sıvı kristal moleküller bu enerjiyi minimize edecek şekilde yöneleceklerdir. Diğer bir deyişle elektrik alan sıvı kristal yönelimini bozacaktır. Örneğin pozitif dielektrik anizotropiye sahip bir sıvı kristalde moleküller uygulanan alan yönüne paralel olacak şekilde yönelirler. Tabi ki bu yönelimin sağlanabilmesi için sıvı kristalin elastik ve viskoelastik kuvvetlerinin üstesinden gelinmesi gerekir. Bu eşik değeri Freedericksz eşiği, olay ise Freedericksz etkisi olarak adlandırılmıştır (Şekil 2.19). Eğer uygulanan dış alan optik alan ise bu *Optik Freedericksz Geçiş*i adını alır [Köysal, 2007].



Şekil 2.19. Planar yönelime sahip sıvı kristalde Freedericksz geçişi; (a) $E=0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$ kritik elektrik alan değerinde moleküler yönelim

Sıvı kristal sistemlere elektrik alan uygulandığında, sıvı kristal molekülleri ile elektriksel alan arasındaki etkileşim iki mekanizmaya göre açıklanabilmektedir. Bunlardan birincisi sıvı kristallerin dielektrik sabitinin moleküler anizotropiye bağımlı olması ($\epsilon_{\perp} \neq \epsilon_{\parallel}$): Bu malzemenin çiftkırma özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Burada $\epsilon_{\perp}$ ve $\epsilon_{\parallel}$, sıvı kristal moleküllerinin yön vektörüne (n) dik ve paralel olduğu durumlardaki dielektrik sabitlerini ifade etmektedir. İkincisi ise katı malzemelerdeki piezo-elektrik mekanizması ile aynı olup, küçük deformasyonların polarizasyonun oluşumuna sebep olmasıdır. Bu mekanizma şu şekilde açıklanabilir: Nematik sıvı kristaller iki cam plaka arasına yerleştirilip düzenli elektrik alan uygulandığında, sıvı kristal molekülleri ile cam yüzey arasında meydana gelen etkileşim sonucu ile aralarında kuvvetli bir bağ oluşur. Eğer uygulanan elektrik alanın yönü sıvı kristalin yön vektörüne dik ise sıvı kristal molekülleri yönlerini değiştirmeye çalışacaklardır. Diğer sıvıların aksine nematik sıvı kristal moleküllerinin yönelmelerindeki bu değişim tork oluşumuna sebep olmakta ve bu tork da Hook yasasına göre deformasyon meydana getirmektedir. Sonuç olarak nematik sıvı kristal moleküllerde mekanik gerilim kuvvetleri ile elektrik alan kuvvetleri arasında bir çekişme meydana gelecektir. Zayıf elektrik alan altında mekanik gerilim kuvvetleri baskın olacak ve moleküler yön vektörünün yönelmesi aynı kalacaktır. Bununla birlikte Freedericksz geçişi olarak bilinen kritik bir değerin (E_C) üzerinde elektrik alan uygulandığında yön vektörünün yönelmesi başlayacaktır. Kritik elektrik alan sıvı kristal moleküllerinin yön vektörüne (n) paralel ve dik olduğu durumlardaki dielektrik sabitlerinin farkına ($\epsilon_a = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$) ve

malzemenin kalınlığına (hücre kalınlığına) bağılı olarak değişim gösterecektir [Yılmaz, 2008].

2.7. Sıvı Kristal Gösterge (LCD) Teknolojisinin Temel Prensipleri

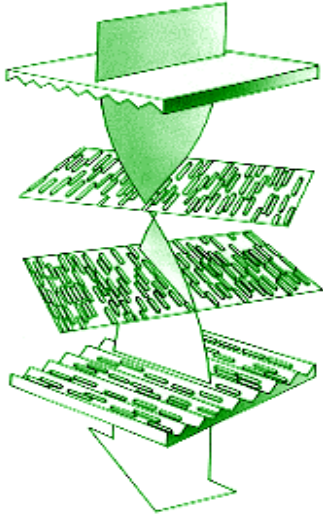
Sıvı kristal molekülleri uzun ve ince bir şekle sahiptirler. İnce oyuklardan oluşmuş bir yüzeyle karşılaştıkları zaman, bu moleküller oyuklar boyunca sıralanmaya eğilimlidirler (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Sıvı kristal moleküllerin oluklu yüzey boyunca dizilimi

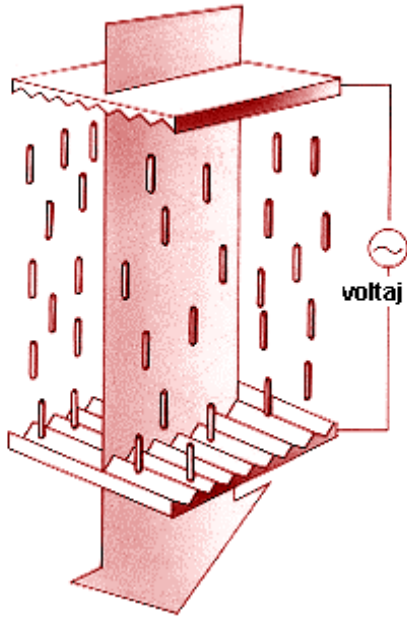
Kolesterik sıvı kristal, birbirine dik oyukları bulunan iki yüzey arasına kapatıldığında, moleküller her iki yüzeyin oyuklarına göre sıralanabilmek için bükülmelere, kıvrılmalara maruz kalır.

Cam yüzeyler, iki polarizör arasına yerleştirilir. Oluşan sandwich tipi bükümlü nematik yapı, üzerine gelen ışığın polarizasyon doğrultusunu çevirir ve moleküllerin yönelim eksenini izleyen ışık hücreden geçer. Moleküller 90° dönebilme ve kıvrılma özelliğine sahiptirler. Işık da sıvı kristal tabakalardan geçtiği için aynı dönüşe maruz kalır ve ortam şeffaf görünür (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Kolesterik sıvı kristal moleküllerin ışığı yönlendirmesi

Sıvı kristal hücreye elektrik alan uygulandığında, moleküller düzenlenmeye meyillidir ve uygulanan elektriksel alan boyunca hepsi aynı yöne doğru sıralanırlar. Bu durumda ışık moleküller boyunca düz bir hat takip ederek geçer (Şekil 2.22). Böylece gelen ışığın polarizasyonu değişmez, alt polarizörden geçemez ve ortam karanlık görünür.



Şekil 2.22. Elektrik alan altında sıvı kristal moleküllerin dizilimi

Sıvı kristal hücreye giren ışığı, tek bir yönde hareket eden çizgisel bir dalgaya dönüştürmek için polarizörler kullanılmaktadır. Işığın geçmesi için polarizörler ile ışığın aynı polarizasyon eksenine sahip olması gerekmektedir. Birbirine dikey polarizasyon eksenlere sahip olduklarında ışık bloke olur [Eser, 2006; Giden, 2000].

2.8. Nematik Sıvı Kristal Göstergeler

İki değişik nematik sıvı kristal gösterge kullanılmaktadır. Bunlardan ilki Yolcu-Hancı (Y-H) sistemleridir ki; bu sistemlerde hancı nematik sıvı kristal içinde yolcu olarak dikroik veya pleokroik boyalar bulunmaktadır. Bu sistemlerde temel prensip ev sahibi olan nematik sıvı kristalin, konuk (boya) ve katkılardan dolayı lineer ve non-lineer optik özelliklerinin değiştirilebilmesidir. İkinci tip ise polimer dispers sıvı kristal göstergelerdir ki; bir polimer içerisinde gömülü bulunan nematik sıvı kristal damlacıklarından müteşekkildir.

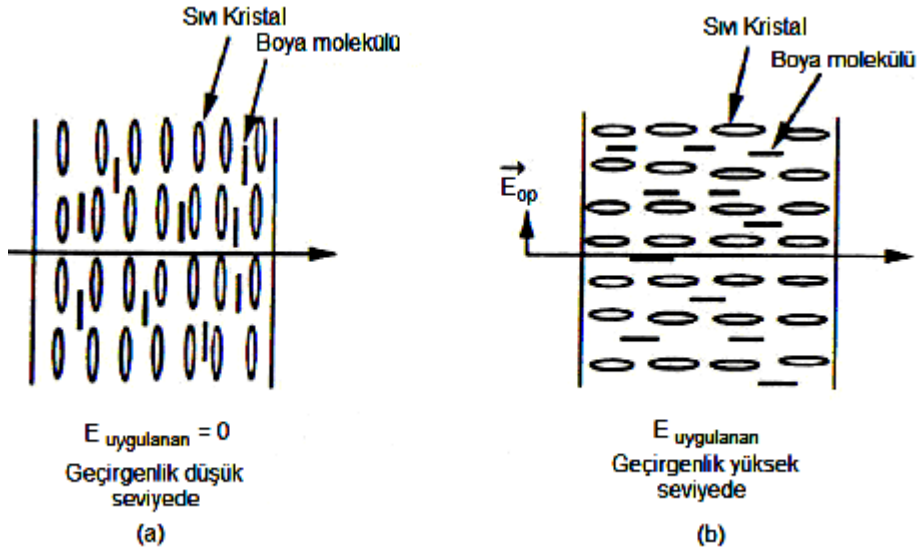
Pratik uygulamalarda, nematik sıvı kristal göstergelerde kullanılan sıvı kristal malzemelerin $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar uzanan geniş bir aralıkta sıvı kristal özellik göstermesi arzu edilmektedir [Ivashchenko, 1994]. Ancak tek sıvı kristal malzemenin sıvı kristal sıcaklık aralığı genellikle sınırlıdır. Örneğin, 4-n-pentil-4'-siyanobifenil (5CB) sıvı kristali $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de erime noktasına (kristal halden nematik hale geçiş noktası) ve $35,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de ise berraklaşma noktasına (nematik halden izotropik hale geçiş noktası) sahiptir. Ancak uygulamada, aygıtların donmaması için düşük erime noktası ve işlem esnasında fiziksel özelliklerdeki dalgalanmayı azaltmak için yüksek berraklaşma noktası gerekmektedir. Bu da sıvı kristal aralığı geniş olan malzemelerin kullanımıyla mümkündür. Bu nedenle tek sıvı kristal yerine erime noktaları ve ΔH değerleri göz önünde bulundurularak, farklı bileşenlerden hazırlanan ötektik karışımlar ile istenilen özellikte ve endüstriyel uygulamalarda zorluk çıkarmayan sıvı kristal malzemeler elde edilebilmektedir. Özellikle günümüzde ekran yapısında kullanılan sıvı kristallerin önemli miktarını ötektik karışımlar oluşturmaktadır. Buna dört farklı sıvı kristalin karışımı olan E7 örnek verilebilir. E7'nin optik özellikleri, dielektrik anizotropisi, viskozitesi karışımda bulunan

maddelerin özelliklerinden çok farklıdır. Eğer karışımdaki bileşenler kimyasal olarak etkileşime girmiyorlarsa, karışımın tüm özellikleri karışımı oluşturan bileşenlerin konsantrasyonları (c_i) ile orantılıdır. Dolayısıyla sıvı kristal karışımlar fiziksel ve optik olarak kendilerini oluşturan bileşenlerden farklı malzemelerdir [Khoo, 2007].

2.8.1. Yolcu-hancı (Y-H) sistemleri

Renkli sıvı kristal göstergeler, boyarmadde ile sıvı kristali renklendirerek veya renkli sıvı kristal kullanarak üretilebilir. Boyarmadde ile sıvı kristali renklendirerek oluşturulan sistemler Yolcu-Hancı veya kısaltılmış olarak Y-H sistemleri olarak bilinir. 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 (ki bu daha parlak görünüm ve düşük maliyet sağlar) ve bakış açısından bağımsız kontrast olarak verilebilir [Bauman ve Moryson, 1997]. Bu sistemlerde hancı nematik sıvı kristal olup, yolcu olarak dikroik veya pleokroik boyalar kullanılmaktadır.

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



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

Bu tarz bir etkileşim üzerine yapılan ilk araştırmalardan birisi Heilmeyer ve Zanoni'nin çalışmalarıdır. Bu çalışmada dikroik boyanın, DB, (yolcu - metil kırmızısı) yönlendirmesinin, uygulanan elektrik alan içinde nematik hancı tarafından kontrol edildiği deneyler gerçekleştirilmiştir [Heilmeyer ve Zanoni, 1968]. Bu araştırmacılar yaptıkları diğer bir çalışmada pleokroizm sergileyen malzemelerin genellikle uzun, silindirik şekilli ve kromofor gruplar içeren maddeler olduğunu vurgulamışlar, pleokroik molekülün uzun eksenine polarize gün ışığının elektrik vektörüne paralel yönlendiği durumda molekül tarafından ışığın soğurulacağını (düşük enerji geçişi) ve boyanın karakteristik renginin gözleneceğini söylemişlerdir. Tersine, yani dik yönlendiği durumda ise az soğurma gerçekleşir veya hiç soğurulmaz ki gün ışığı değişmeden geçirilir [Heilmeyer ve ark., 1969].

Y-H sistemlerinde kullanılacak boyarmaddeler için aşağıdaki şartlar aranır:

- Yüksek düzenlilik parametresi,
- Sıvı kristalde iyi çözünürlük,
- Noniyonik yapı,
- Ultra saflık,

- Kimyasal, fotokimyasal ve termal kararlılık gibi operasyonel karakteristikler üzerinde bir bozulmaya veya faz geçiş sıcaklıkları üzerinde bir değişime sebep olmamaları,
- Belli bir renk aralığında kullanılabilir ve siyah renk oluşturmak üzere karıştırılabilir olmaları,
- Boya tüketimini ve sıvı kristal viskozitesine etkiyi minimize etmek için molar absorpsiyon katsayısının yüksek olması [Bagheri ve ark., 2001; Bamfield, 2001].

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 [Bagheri ve ark., 2001].

2.8.2. Polimer dispers sıvı kristal göstergeler (PDLCDs)

Polimer dispers sıvı kristaller, mikron boyutlarındaki sıvı kristal damlacıklarının polimer matrisinin içine yerleştirilmesiyle oluşturulur. Bu tip göstergeler prensipte çift kırılma özelliğini kullanmaktadır.

Polimer - sıvı kristal karışımı iletken iki cam lamel arasına yerleştirildiğinde ilk etapta berrak renkte gözükür, fakat karışım zamanla matlaşır. Çünkü polimerin uzun zinciri ile sıvı kristal molekülleri birbirinden ayrılmaya başlar. 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 bağlı olmakta ve rastgele dağılım kabul görmektedir. Rastgele yönlenmiş bu sıvı kristal damlacıklara gelen polarize olmayan ışık da kırılarak yansımakta ve büyük saçılmaya neden olmaktadır. Sonuçta

izleyiciye doğru geniş bir açıda dalgalanma meydana gelir. Bu durum karanlığa işarettir. Açıkçası bu renk zayıf siyahtır ve opak ya da mat bir görünüş hâkimdir. Doygun voltajın uygulandığı hallerde sıvı kristal moleküllerinin doğrultu vektörleri elektriksel alana paralel olacak biçimde yönlenirler. Sistem sıvı kristal damlacıklarının kırma indisinin izotropik polimer zeminin kırma indisi ile uyum sağlamasından dolayı şeffaf görünmekte, sonuçta çift kırınım etkisinin kaybolmasıyla ışık çok canlı beyazlık sağlayarak geçebilmektedir [Lueder, 2001].

Holografik polimer dispers sıvı kristalin açma voltajı ve tepki süresinde en etkin faktör sıvı kristal ve polimerin direnç ve dielektrik özellikleridir. Bu özellikler haricen voltajın uygulanması ile damlacığın dış bölümündeki elektriksel alandan farklılaşan iç kısımdaki elektriksel alanı etkiler. Bu iki alan moleküllerin dizilimini ve sonuçta verilen kontrast ve tepki süresi için gerekli voltajı belirler. Damlacıkların şekli ve boyutu ile viskoz tork ve damlacığın elektriksiz denge haline dönmesini sağlayan elastik tork daha ileri faktörlerdir. Kontrast PDLC tabakasının kalınlığı ve damlacıkların yoğunluğunun artması ile artış gösterir. Bununla beraber daha kalın PDLC tabakası daha fazla voltaj gerektirir [Lueder, 2001].

Şekil 2.24' de verilen yansıtıcı PDLCD'lerin işletimi, diğer yansıtıcı göstergelerin işletimi ile terstir. Voltajın uygulanmadığı durumda damlacıklar ışığı geri saçarak pikseller parlak görünür. Parlaklık hem hücre kalınlığının artması, hem de daha büyük damlacık yoğunluğu ile artmaktadır. Voltajın uygulandığı durumda ise PDLC tabakası saydamdır, izleyici göstergenin gerisindeki siyah absorplayıcıyı görebilir. Pikseller, sadece elektriksel alana tamamen paralel olarak hizalanamayan sıvı kristal moleküllerince çok az oranda bozulan siyahı oldukça iyi bir şekilde ortaya çıkarır.

3. BOYARMADDELER

3.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması

Boyarmaddeleri kullanım yerlerine, çözünürlüklerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflamak mümkündür.

Boyarmaddelerin kullanım yerlerine göre sınıflandırılması:

Tekstil boyarmaddeleri: Tekstil boyarmaddeleri pamuklu, keten, yün, ipek gibi doğal kumaşların ve viskon, poliamit, poliakrilik gibi sentetik elyafların renklendirilmesinde kullanılır. Bu gruptaki bazı boyarmaddeler şunlardır:

Azoik boyarmaddeler: Bu sınıf başlıca pamuk kısmen de ipek, asetat ipeği, naylon ve poliester elyafın boyanmasına yarar. Bu boyarmadde karakterlerinde olmayan ve suda çözünen bir diazonyum tuzu ile bir beta-naftol türevinin elyaf üzerinde reaksiyona sokulmasıyla elde edilir. Yıkılmaya karşı dayanıklıdır. Renk parlaklığı ve solmazlığı vardır [Tantekin, 2006].

Kükürt boyarmaddeleri: Aromatik aminlerin, fenollerin, kükürt ve sodyum sülfür veya sodyum polisülfür ile reaksiyonundan meydana gelen, suda çözünmeyen, makromolekül yapılı, renkli organik bileşiklerdir. Selülozik elyafın boyanmasına yararlar. Renkleri parlak olmamakla beraber yıkama ve ışık haslıkları çok yüksek, fiyatları düşüktür. Uzun zaman depolanırsa etkinliklerinde azalma görülür [Akın, 2006].

Asit (anyonik) boyarmaddeler: Asidik boyarmaddeler de direkt boyarmaddeler gibi sülfonik asitlerin veya çok ender olarak karboksilli asitlerin sodyum tuzları şeklindedirler ve çoğunlukla azo boyarmaddelerdir. Bu boyarmaddeler yün, ipek, poliamit, katyonik modifiye akrilonitril elyafı ile kağıt, deri ve besin maddelerinin boyanmasında kullanılır. Asit boyarmaddelerle elyaf ilişkisi iyonik bağ şeklindedir.

Reaktif boyarmaddeler: Reaktif boyarmaddeler uygun koşullar altında lif ile kimyasal tepkimeye girerek, kovalent bağ kurma özelliğine sahip tek boyarmadde sınıfıdır. Karakteristikleri küçük ve basit molekül yapılarına sahip olmalarıdır. Çok parlak renklere sahip reaktif boyarmaddeler basit yapılarının sonucu olarak spektrumlarında çok dar ve yüksek pikler gösterirler. Reaktif boyarmaddeler birçok halde soğuk çözeltide boyayabildiklerinden ısıdan tasarruf sağlarlar.

Metal-kompleks boyarmaddeler: Metallerle kompleks oluşturabilecek molekül yapısına sahiptir. Belirli gruplara sahip bazı azo boyarmaddeleri ile metal iyonlarının kompleks teşkili ile oluşturdukları boyarmaddelerdir. Kompleks oluşumunda azo grubu rol oynar. Asıl renk veren maddenin yanı sıra, yapısında krom, nikel ya da kobalt metallerinin bir ya da daha fazla atomunu içeren, oldukça büyük moleküllerden oluşurlar.

Pigment boyarmaddeler: Pigment; karıştırıldığı kimyasal madde içinde çözünmeyen, ancak bu ortamda mekanik olarak dağıtılarak, çözeltinin rengini ve ışık dağıtma özelliklerini değiştiren, özel yapıdaki beyaz ya da renkli maddedir. Boyarmaddelerin özel bir grubu olan pigment boyarmaddelerinin tekstil elyafa karşı ilgisi yoktur. Bu nedenle reçine gibi bağlayıcı bir madde yardımıyla elyafa fıkse edilirler. Özellikle açık renklerde yıkama ve ışık haslıkları iyidir. Sürtünme haslığının yüksek olmayışı, koyu renklerin elde edilememesi, bağlayıcı filmin hava etkisiyle parçalanması ve bağlayıcının kumaşa sertlik vermesi gibi sakıncaları vardır.

Direkt boyarmaddeler: Direkt boyarmaddeler suda çözünür ve herhangi bir özel işlem yapılmadan elyaf tarafından tutulabilirler. Suda çözünmelerini yapılarındaki sülfü grupları, nadiren de karboksil grupları sağlar. Molekül yapıları bakımından büyük bir kısmı disazo ve poliazodur. Bu boyarmaddelerle pamuk ve rejenere selüloz elyafların boyanması ucuz ve basit bir şekilde yapılabilir. Suya karşı dayanıklılığı (yaş haslıkları) sınırlıdır.

Küp boyarmaddeler: Küp boyarmaddeleri karbonil grubu içeren ve suda çözünmeyen pigmentlerdir. Ancak kuvvetli bir indirgen madde kullanılarak suda

çözünür hale getirilirler ve bu halde iken elyafa çekilirler. Daha sonra oksidasyonla yeniden çözünmez hale getirilirler. İndirgeme aracı olarak sodyum ditiyonit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), oksidasyon için de havanın oksijeni kullanılır. Yapay ve selülozik elyafın boyanmasında kullanılırlar.

Mordan boyarmaddeler: Mordan boyarmaddeler asidik veya bazik fonksiyonel gruplar içerirler ve bitkisel ve hayvansal elyaf ile kararsız bileşikler oluştururlar. Bu nedenle, hem elyafa hem de boyarmaddeye karşı aynı kimyasal ilgiyi gösteren bir madde (mordan) önce elyafa yerleştirilir; daha sonra, elyaf ile boyarmadde suda çözünmeyen bir bileşik vermek üzere reaksiyona sokulur. Böylece boyarmaddenin elyaf üzerinde tutunması sağlanır. Mordan olarak suda çözünmeyen hidroksitler oluşturan Al, Sn, Fe ve Cr tuzları kullanılır. Bu tuzların katyonları ile boyarmadde molekülleri elyaf üzerinde suda çözünmeyen kompleksler oluşturur. Günümüzde yalnız krom tuzları yün boyamada önem taşımaktadır [Pekkuz, 2006].

Bazik (katyonik) boyarmaddeler: Organik bazların hidroklorürleri şeklinde olup, katyonik grubu renkli kısımda taşırlar. Pozitif yük taşıyıcı olarak N ve S atomu içerirler. Yapılarından dolayı bazik (proton alan) olarak etki ettiklerinden anyonik grup içeren liflere bağlanırlar. Başlıca poliakrilonitril, kısmen de yün ve pamuk elyafın boyanmasında kullanılırlar. Işık ve yıkama haslıkları düşüktür.

Dispers boyarmaddeler: Dispers boyarmaddeler günümüzde özellikle poliester ve karışımlarının boyanması için kullanılmaktadır. Bunlar sentetik lifler için en önemli boyarmadde sınıflarından birisini temsil etmektedir ve poliamit, akrilik, modakrilik ve poliolefin liflerinin boyanması için kullanılmaktadırlar.

Dispers boyarmaddeler katı halden gaz fazına geçme olarak adlandırılan süblimleşme özelliğine sahip tek boyarmadde sınıfıdır. Ortamın pH' ına karşı oldukça hassastırlar. pH nötrden alkaliye doğru kaymaya başladığında boyarmadde hidroliz olmaya başlar ve hidroliz olan dispers boyarmadde, poliester liflerine karşı farklı ilgi gösterdiğinden farklı tonda yer alır. Bu boyarmaddeler kimyasal yapılarına

bakılmaksızın, ışık ve ısı haslıklarına ve boyama özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

Fonksiyonel boyalar: Yüksek teknoloji ürünlerinde kullanılan boyalardır. Bu kapsamda lazer baskı ve fotokopi, termal baskı, ink-jet vb. görünür imaj boyaları; optik bilgi depolama, IR absorber vb. görünmez imaj boyaları; katot ışın tüpü, sıvı kristal, elektrokromik vb. gösterge boyaları; organik yarı iletkenler, güneş hücreleri, nonlineer optik ve lazer gibi elektronik sistem boyaları; floresan sensörler ve probalar, fotodinamik terapi gibi biyomedikal uygulama boyaları sayılabilir.

Boyarmaddelerin çözünürlüklerine 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 sağlanabilir.

Suda çözünmeyen boyarmaddeler: Suda çözünmeyen boyarmaddeleri çeşitli gruplara ayırmak mümkündür. Substratda çözünen boyarmaddeler, organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler, polikondensasyon boyarmaddeleri, pigmentler bu grupta yer alır.

Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması: Boyarmaddeleri yapısal olarak sınıflandırırken, molekülün temel yapısı esas alınabildiği gibi molekülün renk verici özellikteki kısmı da esas kabul edilebilir. Aşağıda boyarmaddelerin sentez ve pratik uygulamalarının göz önüne alındığı bir kimyasal sınıflandırma verilmiştir.

Nitro ve nitrozo boyarmaddeleri: Bu sınıf boyarmaddeler kimyasal yapılarında nitro veya nitrozo grubu ile birlikte elektrodonor grup (-OH, -NR₂) içerir. Nitrozo bileşikleri yalnız başlarına hiçbir boyarmadde özelliği taşımazlar; çoğu kez diğer boyarmaddelerin sentezinde kullanılırlar. Oldukça basit bir kromofor grup olan nitro

boyaları ticari açıdan çok önemli bir sınıf değildir. Nitro boyarmaddeleri zayıf haslık özelliklerine sahiptir.

İndigoid boyarmaddeler: İndigoid boyarmaddeler yün, pamuk ve doğal bir selülozik lif olan linen boyamasında kullanılmaktadır. Bu boyarmaddelerin en önemli üyesi indigodur. İndigo boyarmaddeleri suda çözünmezler. İndigoid boyarmaddeler ile yüksek yıkama haslıkları elde edilmektedir.

Metal kompleks boyarmaddeler: Metal kompleks boyarmaddeleri tekstil ürünlerinin renklendirilmesinde, derin renk sağlaması ve haslık özelliklerinin yüksek olmasından dolayı çok geniş uygulama alanı bulmuştur. Başlıca yün ve poliamit olmak üzere selülozik lifler, ipek, deri, kağıt, polipropilen gibi birçok malzeme metal kompleks boyarmaddeler ile boyanabilir ve baskı işlemi yapılabilir.

Aril karbonyum boyarmaddeler: Aril karbonyum boyarmaddeleri, tarihi olarak tekstil lifleri için ilk elde edilen sentetik boyarmaddelerdir. Aril karbonyum kromofor grubun önemi azalmakla birlikte özellikle bazik boyarmaddeler sınıfında kullanılmaktadır.

Polimetin boyarmaddeler: Polimetin boyarmaddelerinin en önemli kullanım alanı fotoğrafçılıktır. Bir amonyum grubu ile biten, konjuge karbon atomları zinciri içeren bir kromofor gruba karakterize edilirler. Buna ilave olarak; bir azot, kükürt ya da oksijen atomu içerirler.

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.

Ftalosiyanın boyarmaddeler: Ticari olarak kullanılan ftalosiyanınlar mavi ve yeşil renklerde önem kazanmıştır. Metal ftalosiyanınlar parlak ve keskin renk verme kabiliyetine sahiptirler. Güçlü renk verme kabiliyetleri ftalosiyanın kromoforları

ekonomik olarak cazip hale getirmektedir. En çok kullanılan metal atomları bakır, demir, kobalt, nikel ve çinkodur.

Aminoketon ve hidroksiketon boyarmaddeler: Aminoketon boyarmaddeler, küp ve dispers boyarmaddeleri içerir. 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.

Azo boyarmaddeler: Azo boyarmaddeleri, yapısı en geniş sentetik boyarmadde sınıfını oluşturur ve en geniş uygulama yöntemlerine sahiptir. 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. Azo boyarmaddeler endüstriyel olarak da en çok kullanılan boyarmaddelerdir. [Koca, 2005].

Azo boyarmaddelerin uygun ara ürünlerden elde edilebilme kolaylıkları onların her kullanımda tercih edilen bir grup olmalarını sağlamıştır. Azo boyarmaddelerinin yapılarında oksi- ya da amino- grupları bulunduğundan, asidik veya bazik özelliğe sahiptirler. Sülf- grup içeren azo boyarmaddeler Na tuzları şeklinde (çözünen boyalar) ve çözünmeyen Ba ve Ca tuzları şeklinde kullanılırlar. Yapılarında sülf- ($-SO_3$), karboksil ($-COO^-$) grupları gibi asidik ve amin ($-NH_2$, $-NH_xR_y$) gibi bazik karakterli grup varsa bu tür azo boyarmaddelerin tuzları suda çözünür. Çözünürlük, çözücü ve çözünen madde arasındaki ilişkiye bağlıdır.

Antrakinin boyarmaddeler: Azo boyalardan sonra en önemli ikinci kromofor grubu temsil etmektedir. 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 [Tutak, 2006]. Antrakinin boyarmaddeler sınıfı olarak “has boyarmaddeler” diye anılan küp, suda çözünmeyen mordan ve asit boyarmaddeleri içerirler [Koca, 2005].

3.2. Sıvı Kristal Göstergelerde Kullanılan Boyarmaddeler

Bu boyalar, optik absorpsiyon spektrumu moleküler yönlenmeye göre gün ışığının polarizasyonuna kuvvetli derecede bağımlı olan boyalardır. Dolayısıyla bu boyalar farklı şartlarda iki ya da daha fazla sayıda farklı renk sergileyebilen boyalardır.

LCD lerde sıvı kristal malzemeye boya ilavesi; malzemenin kimyasal ve fotokimyasal özellikleri ile termal kararlılık gibi bazı karakteristikleri üzerinde bozulmaya veya faz geçiş sıcaklıkları üzerinde sıvı kristal aralığını azaltıcı bir değişime sebep olmamalıdır. Ayrıca boyaların kullanılan sıvı kristal malzeme içerisinde yüksek çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir.

Sıvı kristal sistemlerde kullanılan bazı boyalar şunlardır:

1. Azometinler
2. İndigoid ve tiyoindigoid boyalar
3. Merosiyanin boyalar
4. 1,3-bis (disiyanometilen) indan boyalar
5. Azulenler
6. Kinofitalonik boyalar
7. Perilen boyalar
8. Ftaloperinler
9. Trifenodioksazinler
10. İndolo[2,3-B]kinokzalinler
11. İmidazol [1,2-B]-1,2,4-triazinler
12. Tetrazinler
13. L-tipi azo boyalar
14. T-tipi azo boyalar
15. L,T-tipi azo boyalar
16. I-tipi azo boyalar
17. Benzo- ve naftokinonlar
18. Antrakinin boyalar

- Aminoantrakinonlar
- Aminohidroksiantrakinonlar
- S-arilaminotioantrakinonlar
- S-arilaminohidroksiantrakinonlar
- T-tipi antrakinonlar
- Antraprimidinonlar
- Izotropik antrakinon boyalar

4. KARBON NANOTÜPLER

4.1. Nanoteknolojinin Gelişimi

Nanoteknoloji; maddenin nanometre ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) ölçeğinde yani atomsal, moleküler ve supramoleküler yapılar düzeyinde denetlenmesi yoluyla yeni malzeme, cihaz ve sistemlerin tasarlanması ve üretilmesini konu alan bir teknoloji dalıdır. Bu teknoloji dalında amaç nanometre ölçeğindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla, fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir.

Nanoteknoloji kelimesini ilk kez Kaliforniya'daki Foresight Enstitüsü başkanı Dr. Eric Drexler, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ndeki eğitimi sırasında ortaya çıkarmıştır. Maddeleri moleküler ya da nanometre düzeyinde ele alan bir mühendislik bilimi olan nanoteknoloji, daha güçlü ve daha hafif elektronik materyallerin kullanıldığı yeni bir çağ vaat ederek bilim adamlarının son yıllarda umutlarını arttırmaya devam etmektedir. Bu bilimdalı bilim insanlarını ve mühendisleri her gün daha küçük boyutlara inmeye, daha az yer kaplayan, daha az enerji harcayarak daha hızlı çalışabilen aygıtlar yapmaya zorlamıştır.

Nanoteknolojinin amaçları kısaca aşağıdaki gibi verilebilir:

- Nanometre ölçekli yapıların analizi,
- Nanometre boyutunda yapıların fiziksel özelliklerinin anlaşılması,
- Nanometre ölçekli yapıların imalatı,
- Nano hassasiyetli cihazların geliştirilmesi,
- Nano ölçekli cihazların geliştirilmesi,
- Uygun yöntemler bulunarak nanoskopik ve makroskopik dünya arasındaki bağın kurulması [www.e-drexler.com, 2006].

Nanoölçeklerdeki bir yapıya yeni eklenen her atomun fiziksel özelliklerde neden olduğu değişiklikler, bu atomun cinsine, nanoyapının türüne ve geometrisine bağlı olarak belirginleşmektedir. Nanoölçeklerde atomlar arası bağ yapısı da değişikliğe uğrayabilmekte; mekanik olarak malzeme güçlenirken ya da zayıflarken, elektronik olarak iletkenlik özelliği tümüyle değişebilmektedir. Örneğin, yarıiletken olarak bilinen ve çağımızın en önemli malzemesi olan silisyumdan yapılan bir telin çapı nanometreye yaklaşırken tel iletken bir karakter sergilemektedir. Diğer ilginç bir yapı da karbon elementidir. Karbon atomları karmaşık, uzun zincirli moleküller oluşturacak biçimde birbirlerine bağlanabilir ve bunu yaparken her bir karbon atomunun, kendisine başka atomların da bağlanmasına izin verecek şekilde boş yeri kalır. Bu özellik tüm elementler arasında karbona özgü karakteristik bir özelliktir. Karbon, üç boyutlu (3B), bilinen en sert ve yalıtkan malzeme olan elmas yapıdan; iki boyutlu (2B), yarı metalik, yumuşak ve iletken grafit; bir boyutlu (1B), çelikten çok daha yüksek bir çekme mukavemetine sahip olan ve normal koşullarda çok iyi bir iletken olan nanotüplere ve sıfır boyutlu (0B) nanotoplara kadar farklı kararlı yapılara ve birçok ilginç özelliğe sahip bir elementtir.

Nanoteknoloji ve nano bilim 1980'lerin ilk yıllarında iki büyük gelişimle başladı: önce taramalı tünelleme mikroskobunun, daha sonra ise atomik kuvvet mikroskobunun keşfi. Böylece yüzeyde bulunan atomların ve moleküllerin gözlenmesi ve atomsal düzeyde tepkimelerin izlenmesi mümkün oldu. Bu gelişme ile 20. yüzyılın son çeyreğinde, doğada bulunmayan yeni nanoyapıların atomsal düzeyde tasarlanarak sentezlenmesi devri başlamış oldu. 1986'da, 60 ya da daha fazla karbon atomunun birleştirilmesiyle oluşan futbol topu şeklindeki moleküller (fulleren) keşfedildi. Bu keşiften sonra birçok laboratuvar sıcak karbon buharını yoğunlaştırarak fullereni elde etmeye çalışmış; bu elde etme işleminden küçük değişikliklerle çeşitli şekil ve boyutlarda küreye benzer yapılar elde edilmiştir. İlk tüp şeklindeki molekülleri, 1991'de elektron mikroskobu uzmanı Sumia Iijima, fullerenlerin ark boşalımı sentezi sırasında katotta biriken malzemeyi incelerken gözlemlemiştir. Kısa bir süre sonra Thomas Ebbesen ve Pulickel Ajayan çeşitli ark boşalımı koşulları altında büyük miktarlarda nanotüp üretilbileceğini göstermişlerdir. Ama standart ark boşalımı metoduyla ancak çok katmanlı tüpler

(MWCNT) üretilmiştir. 1993’ de tek katmanlı nanotüplerin (SWCNT) elde edilmesi, karbon nanotüplerin gelişmesinde büyük bir aşama olmuştur. 1996’ da Rice Üniversitesi araştırma grubunun tek katmanlı nanotüp grupları oluşturmada daha etkin bir yöntem bulmasıyla, çok sayıda karbon nanotüp deneylerinin önü açılmıştır [Eser, 2006].

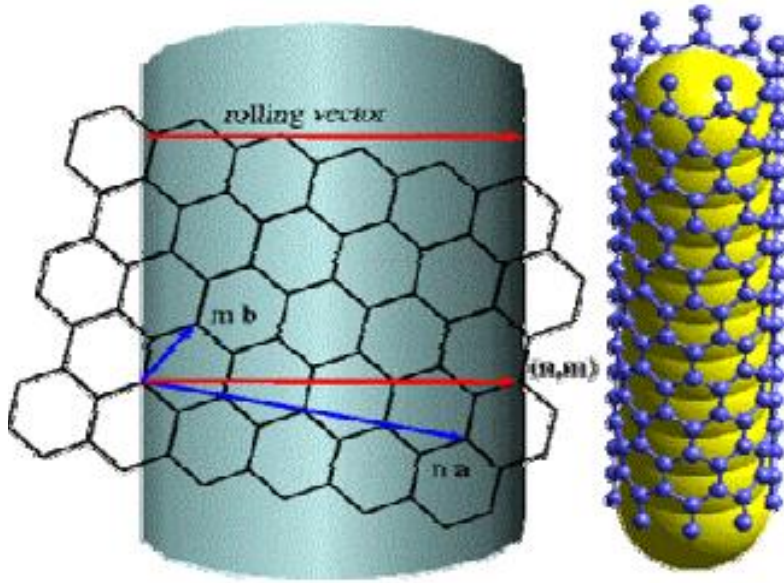
4.2. Karbon Nanotüplerin Yapısı ve Özellikleri

Nanoteknolojinin en önemli malzemelerinden biri olan karbon nanotüpler çelikten daha sert olup, plastik kadar esnektir. Çizelge 4.1’ de olağanüstü özelliklere sahip bu karbon allotropunun en önemli özellikleri görülmektedir.

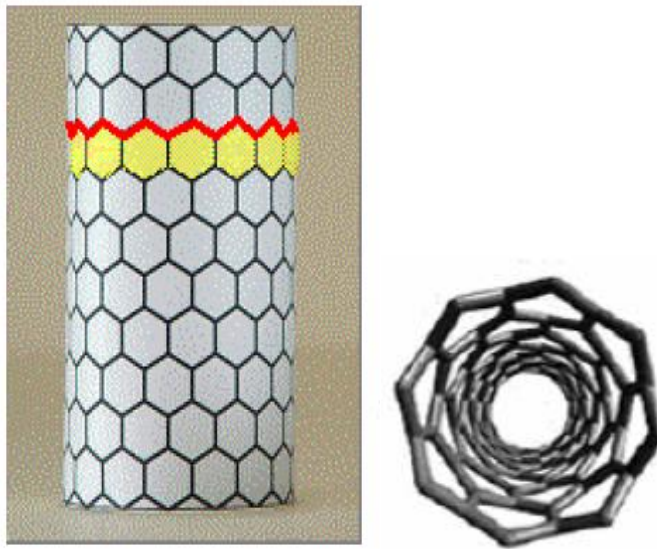
Çizelge 4.1. Karbon nanotüplerin bazı özellikleri [Burghard, 2005]

Özellik	Değerlendirme
Isıl iletkenlik: $\sim 6000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	> Elmas
Young modülü: $\sim 1 \text{ TPa}$	Diğer maddelerden daha katı
Çekme dayanımı: 150 GPa	$\sim$ Çelikten 100 kat daha sert
Desteklenen maksimum akım yoğunluğu: $>10^9 \text{ A/cm}^2$	$\sim$ Bakır telden 100 kat daha büyük
Taşıma kabiliyeti: $\sim 105 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ (oda sıcaklığında)	>Si içinde delik hareketliliği

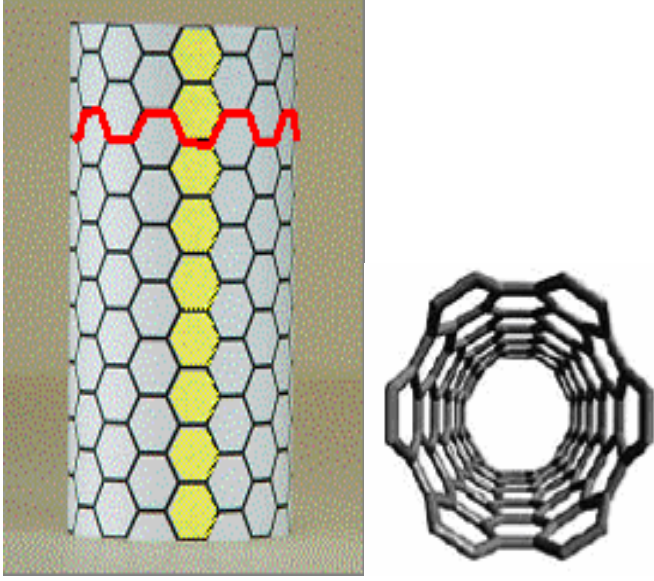
Karbon nanotüplerin yapısını anlamak için altıgen biçimindeki benzen halkalarından meydana gelen iki boyutlu bir grafit yaprağının bir eksen etrafında dönerek silindir şeklinde katlanması hayal etmek yardımcı olabilir (Şekil 4.1). Bu altıgen benzen halkalarının yerleşimini temel alarak da kendi içerisinde bir sınıflandırma yapmak mümkün olabilmektedir. Buna göre benzen halkalarının yerleşimi tüp eksenine paralel ise zigzag karbon nanotüp diye isimlendirilir ve nanotüp yarı iletken gibi davranır (Şekil 4.2). Yerleşim eksene dik olduğunda kiriş karbon nanotüp olarak adlandırılır ve nanotüp metal özellik gösterir (Şekil 4.3). Eğer iki sınır şart arasında ise kiral karbon nanotüptür ve yarı metal özellik sergiler (Şekil 4.4).



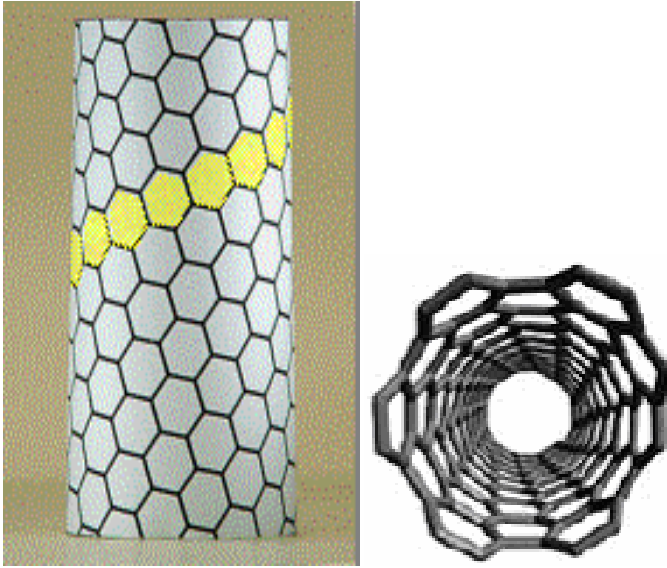
Şekil 4.1. Karbon nanotüpün biçimlenim şeması [Akar, 2006].



Şekil 4.2. Zigzag karbon nanotüp

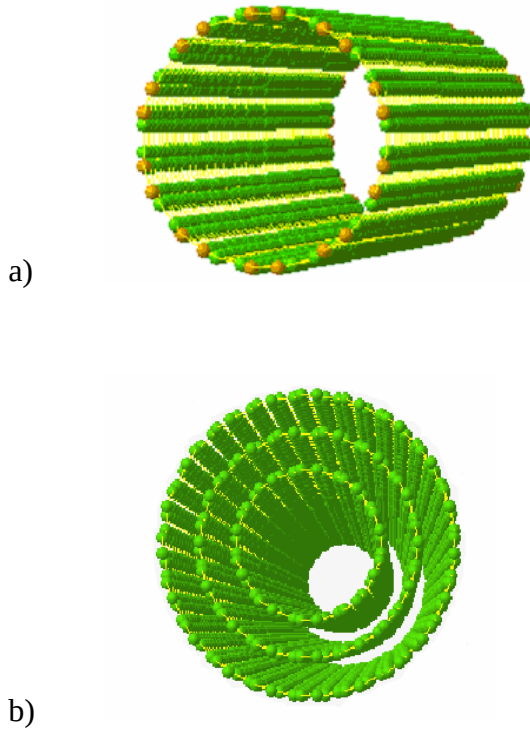


Şekil 4.3. Kiriş karbon nanotüp



Şekil 4.4. Kiral karbon nanotüp

Grafit yaprağının boyutlarına ve nasıl katlandığına bağlı olarak nanotüplerin birkaç çeşidi olabileceği gibi grafitin doğası gereği tek veya çok katmanlı olmasına benzer şekilde nanotüpler tek veya çok duvarlı (SWCNT veya MWCNT) (Şekil 4.5-a, b) olarak da sınıflandırılabilir [Eser, 2006].



Şekil 4.5. Karbon nanotüpler
a) Tek duvar b) Çok duvar

Tek duvarlı karbon nanotüpler fiziksel eğme ve bükmeye inanılmaz derecede dayanıklıdır. 120 derecelik açıyla eğilmekte, sonra hasarsız olarak eski durumuna gelmektedirler. Araştırmacılar 4 mikron uzunluğunda hatasız nanotüpler üretmişlerdir. Bazı küçük kusurları olan nanotüplerin uzunluğu 120 mikrona çıkabilmektedir. Tek duvarlı nanotüpler üzerinde fiziksel ölçüm yapmanın zorluğu nedeniyle, tüpsel demetler üzerinde yapılmış birkaç çalışma bulunmaktadır. Teorik çalışmalar karbon nanotüplerin fiziki özelliklerinin büyük oranda tüpsel çapa bağlı olduğunu göstermiştir.

Çok duvarlı nanotüplerde iki tüp arasındaki uzaklık, genellikle tüpü oluşturan karbon atomları arasındaki bağ uzaklığından büyüktür. Eğer iç içe geçmiş tüplerde, tüplerin duvarları arasındaki uzaklık, karbon atomlarının bağ yapmalarına olanak verecek kadar azsa (0,15 nm), her karbon atomunun bağlı dört komşusu bulunur. Bu durumda oluşan çok duvarlı tüp yapısına “karbon nanoçubuk” denir. Çubuklar içi tamamen

boş veya içi kısmen dolu tüp yapılardan oluşmaktadır. Bu yapıların esnekliği tüplere göre daha az olmakla birlikte; tek duvarlı nanotüplerden farklı mekanik ve elektronik özellikler göstermektedirler [Cenger, 2006]. 1990'ların başlarında, onlu grafit tabakalardan oluşan çok duvarlı karbon nanotüpler ile ilgili nanotüp araştırmalarının ilk aşamasının ardından ilgi tek duvarlı karbon nanotüplere (SWCNTs) kaymıştır. En son aktiviteler ise iki kabuklu yapılardan oluşan tüplere odaklanmıştır. Sahip oldukları çok yüksek yüzey-hacim oranı karbon nanotüpleri, gaz adsorpsiyonu araştırmaları için uygun hale getirmiştir. İç bölümleri, mikro gözenekli malzemeler için iyi bir örnek teşkil ettiğinden fiziksel adsorpsiyon için derin bir olanak sunmaktadır [Burghard, 2005].

4.3. Karbon Nanotüplerin Sıvı Kristallerde Yönlenimi

Karbon nanotüpler sıra dışı mekanik, kimyasal, termal, elektriksel ve optik özellikleri sebebiyle sıvı kristaller üzerine son yıllarda yapılan araştırmalarda ilgi odağı olmuştur. Özellikle karbon nanotüp katkılı sıvı kristaller pratik uygulamalarda yaygın kullanılmaktadır. Çünkü nanotüp ilavesi nematik yapının fotoiletkenliğini değiştirmekte ve bu yolla sıvı kristallerin lineer olmayan özelliklerini iyileştirmektedir [Köysal ve San, 2008].

Tüp eksenleri boyunca düzenli sıralanmış olan nanotüpler ile sıvı kristal molekülleri arasındaki elastik etkileşimler sebebiyle, karbon nanotüpler uygulanan elektrik alanla sıvı kristal moleküllerin baskın yönlenme doğrultusu boyunca daha iyi yönlenmelerini sağlamaktadırlar. Sıvı kristal-nanotüp karışımları, günümüzde nanoelektronikten biyokimyasal sensörlere kadar pek çok alanda kullanılabilmektedir [Dierking ve San, 2005].

Nematik sıvı kristaller uzun moleküler eksenleri boyunca yönelimsel düzen sergilemektedirler. Moleküllerin istatistiksel yönlenme doğrultusu “direktör” olarak isimlendirilmektedir. Sıvı kristaller gerek teknolojik uygulamalarında gerekse bilimsel araştırmalarda iletken ve geçirgen olan İndiyum Tin Oksit (ITO) kaplanmış cam elektrotların arasına sıkıştırılmakta; böylelikle moleküllere hem elektrik alan

uygulanabilmekte, hem de moleküllerin ışıkla yani optik alanla etkileşmesi sağlanabilmektedir. Sıvı kristal hücrelerde iki temel yönelim söz konusudur. Birinde moleküller hücre çeperlerine paralel olmaktadır. Bu geometri “planar” olarak isimlendirilmektedir. Moleküllerin hücre çeperlerine dik olduğu yönelim geometrisi ise “homeotropik” yönelim olarak bilinmektedir [Akar, 2006]. SK-Karbon nanotüp karışımlarında, karbon nanotüpler de sıvı kristalin doğrultu eksenine boyunca yönelmekte, dolayısıyla düzenli bir yönelim sergilemektedir. SK indüklemeli karbon nanotüp yönelimini gözlemlemek için polarize mikroskop veya elektriksel ölçümler kullanılabilir. Elektrik alan altında gerçekleştirilen iletkenlik ölçümleri vasıtasıyla sıvı kristallerin sadece kendilerini değil; karbon nanotüpleri de yönlendirdikleri gözlemlenmiştir. Planar yönelimde (moleküllerin hücre çeperlerine paralel olduğu geometri) ilk beklenti nanotüplerin de sıvı kristaller gibi hücre çeperlerine paralel olarak yönleneceği ve tüp eksenine dik doğrultuda nanotüplerin iletken olmayacağı yönündedir. Çeperlerden moleküllere elektrik alan uygulanmasını takiben belli bir eşik voltajının sonrasında (Freedericksz etkisi), sıvı kristaller hücre çeperlerine dik olacak şekilde yönelmektedir. Elastik etkileşmeler vasıtasıyla karbon nanotüpler de sıvı kristalin uzun moleküler eksenine boyunca yönlenecek şekilde zorlanmakta ve numunenin iletkenliğinde kayda değer bir artışı beraberinde getirmektedir. Çünkü artık moleküller çeperlere diktir ve karbon nanotüpler boyunca iletkenlik yüksektir. Yani SK-karbon nanotüp karışımların, belirli bir eşik voltaj aşıldığı zaman düzlemsel (planar) durumdan dikey (homeotropik) duruma geçen moleküller sebebiyle iletkenlik değerleri artar [Eser, 2006].

Literatür incelendiğinde tek duvarlı karbon nanotüp kullanılarak yapılan çalışmalarda genellikle %0,05 oranında nanotüp ilavesi gerçekleştirilmiş ve ilave edilen nanotüplerin, düşük konsantrasyonlarda birbirlerine göre paralel sıralandığı gözlemlenmiştir [Russell ve ark., 2006; Köysal ve ark., 2008].

5. KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ

5.1. Boyarmaddenin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüğü

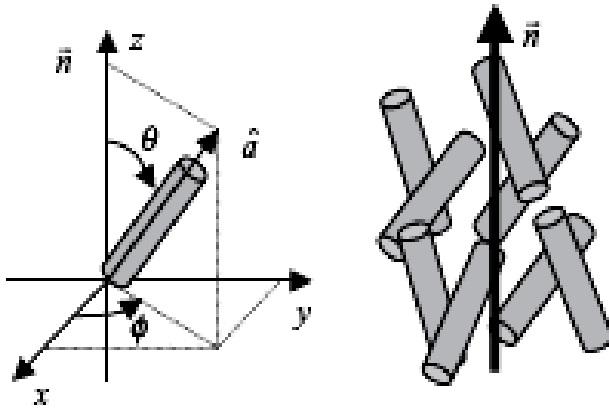
Boyarmaddenin düşük ve yüksek sıcaklıklar dahil geniş bir sıcaklık aralığında sıvı kristal içerisinde yüksek çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir. Bu aralıkta boyarmaddelerin sıvı kristal içerisinde çözünürlüklerini korumaları ve kristalize olmamaları önemlidir.

Sıvı kristalin yapısına ve boyarmaddedeki uç bileşenlerin türü, sayısı ve konumuna bağlı olarak çözünürlük değerleri değişmekte olup, Y-H tipi sıvı kristal göstergelerin performansları da kullanılan boyarmaddelerin çözünürlüğüne ve çözünürlükteki kararlılığına bağlı olarak değişim göstermektedir [Ivashchenko, 1994].

5.2. Dikroik Boyanın Düzenlilik Parametresi

Nematik sıvı kristaller genellikle rijid çubuklar olarak kabul edilen moleküllerden oluşmaktadır. SK halinin ayırt edici karakteristiği, “doğrultu” adı verilen bir ortak eksen boyunca moleküllerin yönelme eğiliminde olmasıdır. Bir nematik sıvı kristali kristal yapıları katıdan veya izotropik bir sıvıdan ayırt edebilmek için ortamdaki moleküllerin bu uzun erişimli yönelim düzenleri kullanılmıştır. Bu düzen, S ile temsil edilen düzen parametresi ile tanımlanmıştır. Sırasıyla katı ve sıvı hale karşılık gelen tam düzenli $S=1$ ve tam düzensiz $S=0$ durumları, SK fazda sıcaklığa bağımlı olarak 1 ve 0 arasında değişmektedir.

Çubuksu yapıları moleküllerin bu uzun erişimli düzenlenme derecelerini tanımlayan S niceliğini bir bağıntı ile verebilmek için, Şekil 5.1’ deki gibi moleküler düzen göz önüne alınabilir.



Şekil 5.1. Düzen parametresini tanımlamak için kullanılan geometri [Yang ve Wu, 2006].

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 de 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 deyimle düzenlilik parametresidir. Bu parametre (S), DB'nın sıvı kristal içindeki çözeltisinin elektron polarizasyon spektrumundan aşağıdaki formül kullanılarak kolaylıkla bulunabilir [Ivashchenko, 1994]:

$$S = (D_{\parallel} - D_{\perp}) / (D_{\parallel} + 2D_{\perp}) \quad (5.1)$$

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

DB etkinliğini karakterize etmek için sıkça dikroik oran ($R = D_{\parallel} / D_{\perp}$) kullanılır ki R'nin S ile ilişkisi şu şekildedir:

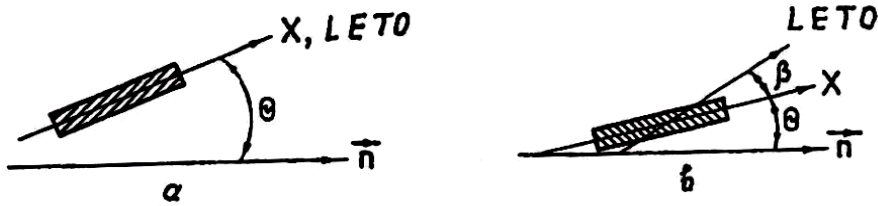
$$S = (R - 1) / (R + 2) \quad (5.2)$$

LETO, dikroik boya molekülünün uzun geometrik eksenini x ile çakışır (Şekil 5.2-a), S 'in değeri sıvı kristaldeki DB uzun molekül eksenlerinin geometrik düzenlenme derecesine (S^G) eşittir ve sıvı kristalin düzenlilik parametresi Eş. 5.3 yardımıyla bulunabilir:

$$S = S^G = \frac{1}{2} (3\cos^2\theta - 1) \quad (5.3)$$

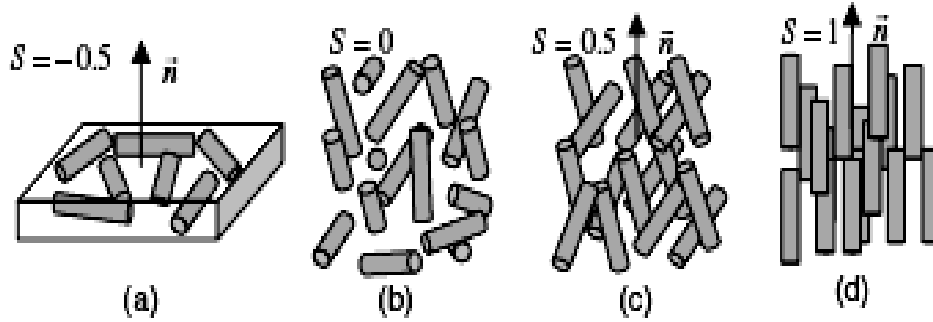
DB moleküllerinin çoğunluğunun çakışmaması durumunda DB LETO'su x eksenine göre β açısıyla polarize edilir (Şekil 5.2-b) ve bu nedenle S ile S^G arasındaki ilişki şöyle verilebilir:

$$S = S^G (1 - \frac{3}{2} \sin^2\beta)^{-1} \quad (5.4)$$



Şekil 5.2. Dikroik boya tipleri : a) x ile LETO çakışık, b) x ile LETO çakışmaz

β açısının 0-54 derece aralığındaki değerleri için $S > 0$ 'dır. $S > 0$ olan boyalar pozitif dikroik boyalar veya L boyalar (L : Longitudinal yani boyuna) olarak bilinir. β açısının 54-90 derece aralığında ise $S < 0$ 'dır ki bu boyalar negatif dikroik veya T boyalar (T : Transverse yani enine) diye adlandırılır. $S = 0$ olan ($D_{\parallel} = D_{\perp}$) boyalara ise izotropik boyalar veya I boyalar denilir. Genelde S 'in -0,05 ile +0,10 arası değerlere sahip olduğu boyalar I boyalar olarak verilir [Ivashchenko, 1994]. Dolayısıyla düzen parametresi pozitif ya da negatif değerler alabilmektedir. Sayısal olarak aynı değere sahip fakat işaretleri farklı iki düzen parametresi, iki farklı moleküler yönlenmeyi ifade etmektedir. Şekil 5.3' te bu duruma örnek olarak $S = +0,5$ ve $S = -0,5$ için moleküler yönlenim gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Farklı düzen parametre değerleri (S) için moleküler yönlenme [Yang ve Wu, 2006].

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

$$S = (A_{\parallel} - A_{\perp}) / (A_{\parallel} + 2 A_{\perp}) \quad (5.5)$$

şeklinde yazmak da mümkündür. Burada $A_{\parallel}$; gün ışığının elektrik vektörü moleküler yöne paralel olduğu zaman kristaldeki boya için maksimum dalga boyunda ölçülen absorbans, $A_{\perp}$ ise dik durumdaki absorbansdır. Bu absorbans ölçümlerinde kör çözelti olarak boya çözünmemiş sıvı kristal kullanılmaktadır [Pellatt ve Roe, 1980; Ghanadzadeh ve Beevers, 2001].

Literatürdeki değerlendirmeler ışığında düzenlilik parametresi gösterge hücresinin etkinliğini belirleme açısından oldukça büyük öneme sahiptir.

5.2.1. Düzenlilik parametresinin boyarmaddenin kimyasal yapısına bağlılığı

Nematik sıvı kristal moleküller çoğunlukla çubuğumsu yapıdadır. Boya molekülü sıvı kristal içinde çözündüğü zaman bu yapıya benzer şekilde düzenlenmesi beklenir. Dikroik boya olarak birçok boyarmadde, özellikle antrakınon ve azo yapıları kullanılmıştır. Boyaların düzenlenme derecesi; boyanın yapısına ve özellikle geometrik anizotropi gibi özelliklerine, molekülün ana kısmının uzunluğuna,

sübstitüentlerin tabiatı ve konumuna kuvvetli derecede bağlıdır.

DB lar sadece pozitif dikroik boya açısından etkin olarak bilinir. Boya analizcileri, bu yaklaşımla negatif dikroik boya elde etmenin imkânsız veya çok zor olduğunu gördüler. Nitekim 1990'ların başında negatif dikroizm sergileyen bir absorpsiyon bandına sahip sadece birkaç seri boya bilinmektedir.

Bu yıllarda boya üretimi için yeni bir yaklaşım önerilmiş; kompleks yapıdaki bir boyanın dizaynının bir seri blok şeklinde gerçekleştirilebileceği düşünülmüştür. Her bir blok belli bir fonksiyonu icra edecek ve hepsi beraber boyanın istenen tüm özelliklerini karşılayacak denmiştir.

Sıvı kristalde 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 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 yakinen sarılmasına izin vermemesi, ancak sıvı kristalin DB molekülü içine yerleştirilmesidir [Ivashchenko, 1994] .

5.2.2. Düzenlilik parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi

Düzen parametresi moleküllerin hareketlerinin bir sonucu olarak ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir. Düzen parametresinin (S) nümerik değeri katı halden izotropik faza yaklaştıkça azalmakta, izotropik faza geçiş sıcaklığında süreksiz bir şekilde kaybolmakta ve izotropik fazda sıfıra eşit olmaktadır. Bu da berraklaşma sıcaklığı olarak da bilinen nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığına (T_{NI}) karşılık gelmektedir [Emek, 2007].

5.3. Polarize Mikroskopik Teknikler

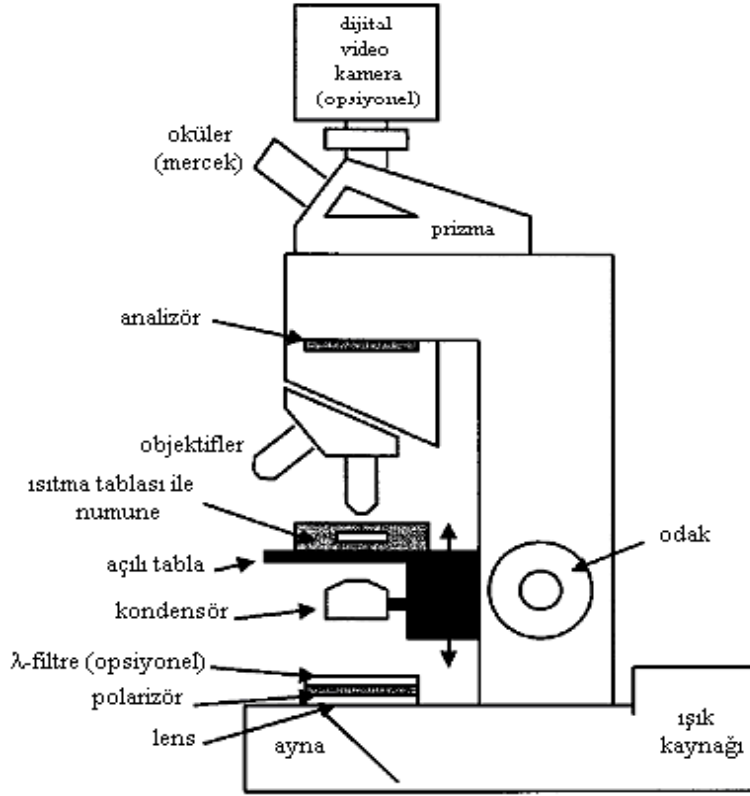
Polarize mikroskopi, DSC ile birlikte yeni sentezlenen mesojenik maddelerin karakterizasyonu için kullanılan en yaygın metotlardan bir tanesidir. Polarize mikroskopi hem faz geçiş sıcaklıklarının, hem de faz tipinin tayinine olanak sağlayabilmektedir. Bu, çapraz polarizörlerin arasında sıcaklığa bağlı tekstür incelemeleri ile elde edilir. Karakteristik tekstürler, gözlemlenen fazın açığa çıkmasına neden olurlar. Bu tekstürler bir faz geçişi sırasında değişime uğrarlar. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), optik polarize mikroskobun tamamlayıcısı olarak kullanılır ve faz geçişinde görülen entalpi değişimiyle sıvı kristal faz ve mezofazların varlığını gösterir. DSC analizleri ile faz geçiş sıcaklıkları ve geçişlerin derecesi hakkında bilgi temin edilebilmektedir. Ancak bu teknik sıvı kristal faz tipini belirleyemez. Mezofazların (arafaz) belirlenmesi ve sınıflandırılması gibi gerçek yapısal değerlendirme için kullanılan esas teknik X-ışını analizidir. Bir kristalin X-ışını analizi ile mezofaz içindeki moleküllerin pozisyonlarını ayrıntılı olarak belirlemek mümkündür.

Polarize mikroskop, üretici tarafından sağlanan karakteristik dalga boyunda beyaz ışık yayan, genellikle halojen ampul biçimindeki ışık kaynağını içerir. Bu ışık bir lens içerisinden geçerek bir ayna vasıtasıyla yukarı yansıtılır ve levha polarizör aracılığıyla doğrusal olarak polarize hale geçer. Buradaki polarizör 360° döndürülebilmektedir.

Işık daha sonra kondensöre girer. Bu bölüm, örneğin en uygun görüntüsü için önemli olmasına rağmen muhtemelen polarize mikroskopta en fazla ihmal edilen bölümdür. Kondensör ışık kaynağından ışığı toplar ve numunenin düzgün olarak aydınlanmasını sağlar. Bu nedenle iris açıklığı doğru ayarlanmalıdır.

Optik polarize mikroskopla mezofazların belirlenmesi, mikroskobun camlarının arasına yerleştirilen mesojenik maddenin ince örneğinin büyütülmüş görünüşü ile mümkün olmaktadır. İyi yönlendirilmiş homojen bir yapı eldesi için cihaza bağlı ısıtma ve soğutma ünitelerinin yardımıyla numune izotropik sıcaklığa kadar ısıtılıp tekrar

oda sıcaklığına kadar soğutularak, tekstür çalışmaları gerçekleştirilebilmekte ve nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları belirlenebilmektedir. Şekil 5.4' de polarize mikroskobun şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 5.4. Polarize mikroskobun şematik gösterimi

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. Objektiften geçen ışık daha sonra analizörden geçer. Tekstür çalışmalarında analizör, polarizöre doğru açılarla yönelir.

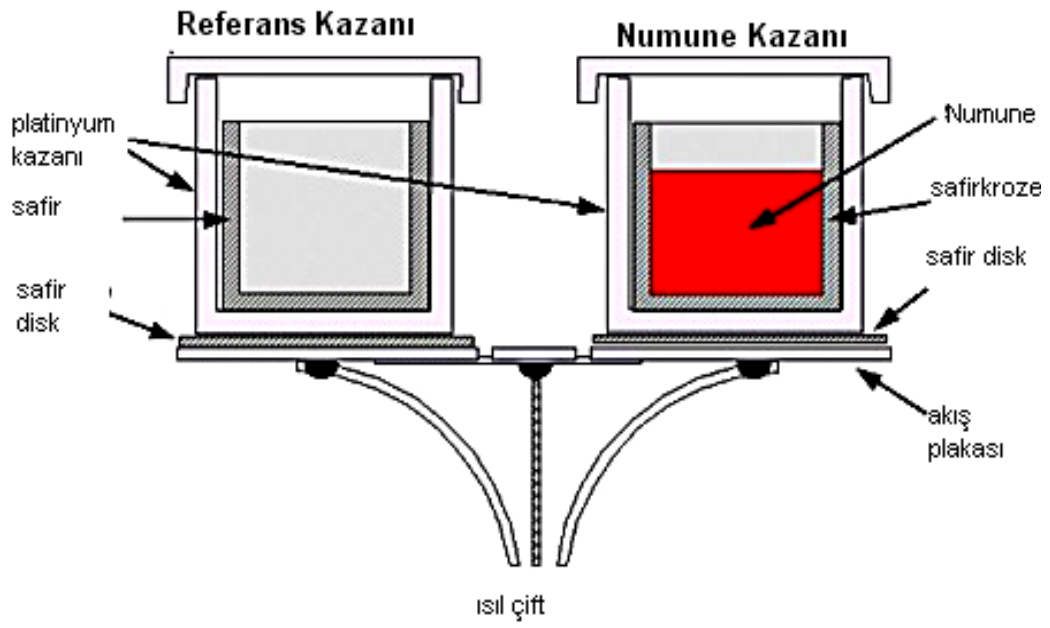
5.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile Yapılan Tayinler

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), mezofazların belirlenmesinde önemli bir araçtır. DSC, her faz geçişinin habercisi olan entalpi değişiminin belirlenmesiyle bir maddede faz geçişlerinin olup olmadığını gösterir. Fazların tam benzerleri elde edilemeyebilir, fakat karışık faz geçişlerindeki entalpi değişim seviyesi faz tiplerinin bazı işaretlerini verir. DSC, mezofaz tipinin belirlenmesinde optik polarize mikroskop ile bağlantılı kullanılır.

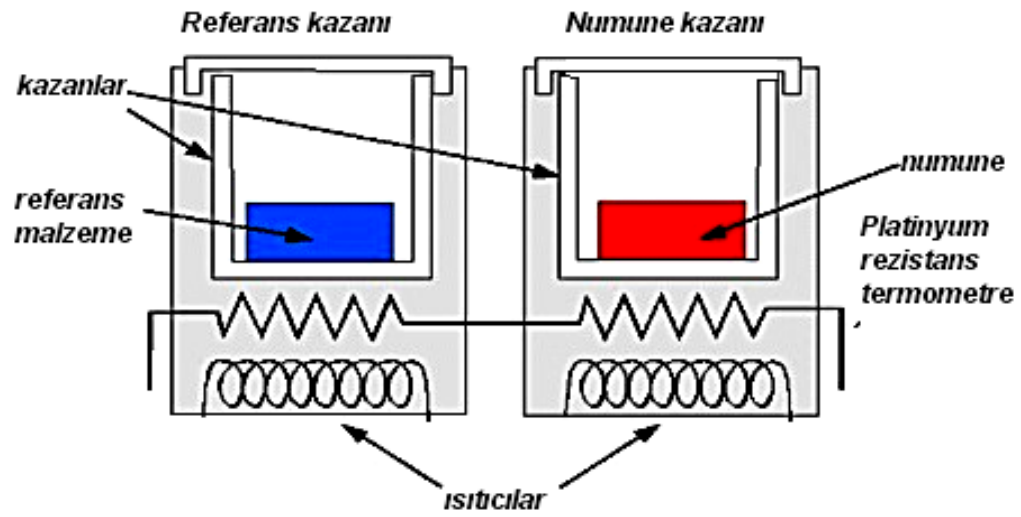
Madde eridiğinde katıdan sıvıya bir hal değişimi meydana gelir ve bu erime olayı çevreden enerjiye ihtiyaç duyar. Bir örnek ısıtıldığı ya da soğutulduğu zaman DSC cihazı bu örnek tarafından soğurulan veya yayılan enerjiyi ölçer. Sıvı kristal faz geçişlerinde karmaşık yapısal değişiklikler küçük entalpi değişimleriyle gösterilir.

DSC cihazında iki fırın vardır. Biri araştırılacak örneği, diğeri referans olan (genellikle altın) maddeyi ısıtmak içindir. Kristal bir katıdan S_A fazına bir örnek erirse, örnek ve referans arasındaki sıcaklık dengesizliğini önlemek için enerji sağlanmalıdır. Örnek ve referans maddeye aynı anda sıcaklık programı uygulanırken örnekte bir değişiklik olması halinde örneğe ve referansa bir elektrik devre yardımı ile dışarıdan ısı aktarılarak her ikisinin de aynı sıcaklıkta kalması sağlanır. Belirli sıcaklıkta tutmak için gerekli olan bu enerji bir pik olarak cihazla ölçülür ve kaydedilir. DSC eğrileri eklenen ısının sıcaklığa karşı çizilen grafikleridir. ΔH pozitif ise (endotermik tepkime) örnek ısıtıcısına ısı aktarılır ve pozitif sinyal elde edilir. ΔH negatif ise referans ısıtıcısına ısı aktarılır ve negatif sinyal elde edilir. Cihaz, geçiş entalpisi bilinen bir örnekle kalibre edilir. Örnek genellikle 5-10 mg arasında küçük alüminyum panlarda (kefe) tartılır, yerine yerleştirilir ve sıvı azotla soğutulur (Şekil 5.5). Şekil 5.6' de ise çalışır haldeki DSC cihazı görülmektedir.

Bir kristal katıdan, sıvı kristal faza ya da izotropik sıvı faza geçiş hali 30-50 kJ/mol arasında bir entalpi değişimi meydana getirir. Sıvı kristal-izotropik sıvı geçişleri ise çok küçük entalpi değişimleriyle karakterize edilir [Eser, 2006].



Şekil 5.5. Diferansiyel taramalı kalorimetre



Şekil 5.6. DSC' nin çalışır halı

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Konu içinde atıf yapılan literatüre ilave olarak aşağıdaki çalışmalardan bahsedilebilir. Detay izahı verilmeyen bazı çalışmalar ise Kaynaklar bölümüne eklenmiştir.

Iwanaga ve arkadaşları (1998), kumarin boyalarda oksijen atomunun yerine sülfür atomunun gelmesi ile moleküler yapıda heteroatomun yer değiştirmesi sonucu dikroik boyaların çözünürlüğünde etkili bir artış gözleendiği ayrıca antrakinin ve kumarin karışımından oluşan boyaların daha yüksek çözünürlüğe ve daha yüksek absorpsiyon katsayısına sahip olmaları sebebiyle bu ikili boya karışımının yolcu-hancı tipi sıvı kristal göstergelerde (GH-LCD) daha kullanışlı olduğu sonucuna varmıştır.

Iwanaga ve Naito (1998), $-CF_3$ grubu içeren antrakinin boyaların flor katkılı sıvı kristallerde düşük sıcaklıklarda bile yüksek çözünürlüğe sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Ghanadzadeh ve arkadaşları (2000), hancı olarak ticari olarak temin ettikleri negatif dielektrik anizotropiye sahip 4-metoksibenzilidin-4-n-bütilanilin (MBBA) nematik sıvı kristali ile pozitif dielektrik anizotropiye sahip siyanobifenil ve terfenilin ötektik nematik karışımı (E7), yolcu olarak da yine ticari olarak temin ettikleri beş farklı yapıda Sudan boyası kullanarak, çalışılan boyaların Y-H tipi sıvı kristal göstergelerde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Nematik çözücüler içerisinde, beş farklı yapıda fenolik ve azo boyarmaddelerin yer aldığı karışımların dikroik oran ($R=3,2-5,8$) ve düzenlilik parametre değerleri ($S=0,42-0,62$), görünür bölgede gerçekleştirilen absorpsiyon ölçümleri ile belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki, çözücünün yapısına, boya molekülünün şekline, büyüklüğüne, polaritesine ve yapısındaki uç bileşenlerin sebep olduğu sterik etkiye göre düzenlilik parametre değerleri değişim göstermektedir. Çalışılan boyarmaddelerden fenolik yapıda olanların çözünürlükleri yüksek olsa bile elektrokimyasal ve fotokimyasal kararlılıklarının düşük olması sebebiyle ticari uygulamalarda (LCD)

kullanılamayacağı, azo yapıda olanın ise yüksek çözünürlüğe, dikroik orana ve düzenlilik parametresine ve ayrıca yüksek kararlılığa sahip olması sebebiyle LCD ekranlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu boya diğer dört farklı yapıdaki Sudan boyası ile kıyaslandığında, moleküler yapıda yan dalların az oluşu ve uzun moleküler bir yapıya sahip oluşu sebebiyle daha yüksek düzenlilik parametre değerine sahip olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Diğer boyalarda ise moleküler yapıda, hacimce büyük radikal grupların varlığı sterik etkiye sebep olmakta ve boyanın düzen parametresini düşürmektedir.

Wang ve Carlisle (2002), ticari olarak temin ettikleri E7 sıvı kristali içerisinde dispers kırmızı 1 (DR1) azo boyarmaddeyi %0,3-1 arasında değişen farklı konsantrasyonlarda çözerek, optik özelliklerdeki değişimi belirlemişlerdir. Polarize absorpsiyon ölçümleri ile düzenlilik parametre değeri $S = 0,569$ bulunmuş ve bu sonuç boya moleküllerinin, sıvı kristalin uzun moleküler ekseninin baskın yönlenme doğrultusu (n) boyunca iyi sıralandığını göstermiştir. Birinci dereceden difraksiyon veriminin boya konsantrasyonuna bağlı olarak lineer değişim gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. DR1 moleküllerinin trans-cis fotoizomerizasyon etkisinin sıvı kristal fazın yeniden yönlenmesi üzerine etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Ghosh ve Carlisle (2005), ticari olarak temin ettikleri E7 sıvı kristali içerisine metil kırmızısı azo boyarmaddeyi %0,4-0,8 arasında değişen farklı konsantrasyonlarda ilave ederek ve 300-1000 nm uzunluğunda ve $\sim 1-1,5$ nm çapında %0,002 oranında tek duvarlı karbon nanotüp ile karıştırarak optik özelliklerdeki değişimi belirlemişlerdir. Polarize absorpsiyon ölçümleri ile düzenlilik parametre değeri $S = 0,605$ bulunmuş ve bu sonuç boya moleküllerinin, sıvı kristalin uzun moleküler ekseninin baskın yönlenme doğrultusu (n) boyunca çok iyi sıralandığını göstermiştir. Difraksiyon veriminin boya konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı belirlenmiş ve karbon nanotüp ilaveli hücrelerde maksimum difraksiyon verimi %5,8 iken, karbon nanotüp içermeyen hücrelerde bu değer %3,2 olmuştur. Bu sonuçlar karbon nanotüpün varlığında difraksiyon veriminin 1,8 kat arttığını göstermektedir. Metil kırmızısı moleküllerinin trans-cis fotoizomerizasyon etkisinin sıvı kristal fazın yeniden yönlenmesi üzerine etkilerinin olduğu da belirlenmiştir.

Lebovka ve arkadaşları (2008), çok duvarlı karbon nanotüp (MWNT) katkılı p-etoksibenzilidin-p'-bütilanilin (EBBA) sıvı kristali ile çalışarak, katkılı nematik sıvı kristal yapının faz geçişleri, moleküller arası etkileşimleri ve elektriksel iletkenlik gibi davranışlarını incelemişlerdir. Nanotüp konsantrasyonunun %0,05-1 arasında ve sıcaklığın 273-363 K arasında değiştiği deneysel şartlarda çalışılarak, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve Fourier dönüşümlü infrared spektrometresi (FTIR) kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar yardımıyla çok duvarlı karbon nanotüp/EBBA karışımından oluşan nanokompozitdeki moleküller arası etkileşimler ve faz geçiş sıcaklıkları tespit edilmiştir. FTIR ile yapılan deneysel çalışmalarda kompozit yapıda çok duvarlı karbon nanotüp konsantrasyonunun artmasıyla (%0,05-0,5) EBBA ve MWNT arasında kuvvetli bağlanma etkileşimlerinin arttığı ve bunun da elektriksel iletkenliğe fark edilir şekilde etki ettiğini, ayrıca aktivasyon enerjisini düşürdüğünü belirlemişlerdir. Nematik sıvı kristal ile nanotüp arasındaki bu kuvvetli etkileşim van der Waals etkileşiminden daha kuvvetli olup, sıvı kristal molekülden karbon nanotüpe elektrostatik yük transferinin gerçekleşmesi ile oluşmaktadır. Çalışmada saf EBBA ve MWNT/EBBA nanokompozitleri (kütlece %0,05 ve 0,5 MWNT içeren nematik karışım) için verilen DSC termogramlarından görülmektedir ki, saf sıvı kristalin katı-nematik ve nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları sırasıyla 308,9 ve 351,7 K iken kütlece %0,05 MWNT katkılı sıvı kristalde faz geçiş sıcaklıkları 309,7 ve 352,7 K olmaktadır. Nanotüp konsantrasyonunun %0,05-1 arasında değiştiği diğer numunelerle yapılan çalışmalar sonucu elde edilen deneysel veriler göstermektedir ki, nanotüp miktarına bağlı olarak (%0,05-0,5) izotropik-nematik faz geçiş sıcaklıkları 0,5-1 K, nematik-katı faz geçiş sıcaklıkları ise 1,5-3 K artış göstermektedir. Ancak yapılan çalışmalarda kütlece %0,5' den daha yüksek miktarlarda MWNT içeren numunelerde nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıklarında az da olsa düşüş (~0,5 K) gözlenmiştir.

Yılmaz (2008), 4'-(oktiloksi)-4-bifenilkarbonitril ($C_{21}H_{25}NO$) ve 4'-izotiosianatofenil-4-pentilbisiklo[2.2.2]oktan-1-karboksilat ($C_{21}H_{27}NO_2S$) sıvı kristallerinin farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen altı tane karışık nematik sıvı kristalin (MNLCs) uygulanan DC (doğru akım) elektrik alan altında optik geçirgenliklerinin sıcaklığa ve polarizörün dönme açısına bağlı olarak değişimini

elektrooptik yöntemlerle incelemiştir. Optik geçirgenlikler nematik fazda ve faz geçiş bölgesinde belirlenmiş, elde edilen ölçüm sonuçlarına göre nematik fazda optik geçirgenlik düşük seviyede iken nematik-izotropik faz geçişi sırasında yüksek mertebelere ulaştığı gözlemlenmiştir. Uygulanılan elektrik alan altında sıvı kristal karışımların yapıları sıcaklık değiştikçe farklılıklar göstermiştir. Saf sıvı kristale göre karışık nematik sıvı kristallerde nematik fazdan izotropik faza geçiş sıcaklıkları değişerek, daha geniş bir sıcaklık aralığında faz geçişleri gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada sıvı kristal malzemelere DC elektrik alan uygulandığında moleküler yönelimdeki değişimler ile elektrooptik etkilerin varlığında malzemenin anizotropisinin değiştiği ve optik cihazlarda kullanımının etkilendiği belirlenmiştir.

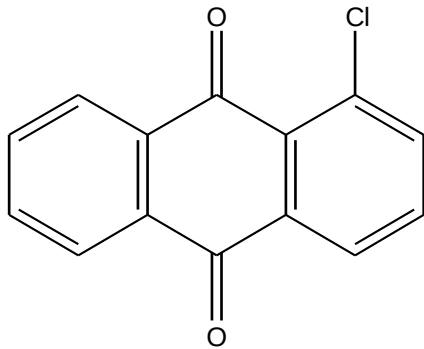
Akkurt ve arkadaşları (2009), deneysel çalışmaların ilk aşamasında Y-H sistemlerinde kullanılmak üzere kütlece % 1 oranında üç farklı tekstil boyası (dispers turuncu 11, 13 ve 37) ile katkılandıkları E7 nematik sıvı kristali ile çalışmışlardır. İkinci aşamada nematik karışımlara az miktarda (kütlece % 0,05) tek duvarlı karbon nanotüp ve fulleren (C_{60}) ilave etmişler ve hazırlanan tüm nematik karışımların düzen parametre ve eşik voltaj değerlerini tespit etmişlerdir. Polarize mikroskop ve DSC kullanılarak, karışımların nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları (berraklaşma sıcaklığı) ve tekstürleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, nematik sıvı kristale boya ile nanotüpün ya da fullerenin birlikte katkılandırılması ile düzen parametresinde belirgin bir artış olduğunu göstermektedir. Bu sonuç sıvı kristal ile boya molekülleri arasında oluşması muhtemel etkileşimlerin ilave edilen nanopartiküllerle daha da kuvvetlenmesi ve nanotüp/fulleren köprüleriyle konjuge yapının sürekliliğinin sağlanması ile açıklanmıştır. Elde edilen yüksek düzen parametre değerleri de ilave edilen boya ve nanopartikülün sıvı kristalin doğrultu eksenini boyunca iyi yönlendiğini göstermektedir. Saf sıvı kristale ilave edilen tüm katkılar (boya, nanotüp, fulleren), sıvı kristallerin tekstürlerinde fark edilir bir değişikliğe sebep olmamış ve sıvı kristallerin faz geçiş sıcaklıklarında meydana getirdikleri belli belirsiz değişimler limit değerler arasında kalmıştır.

7. MATERYAL VE METOT

7.1. Araç ve Gereçler

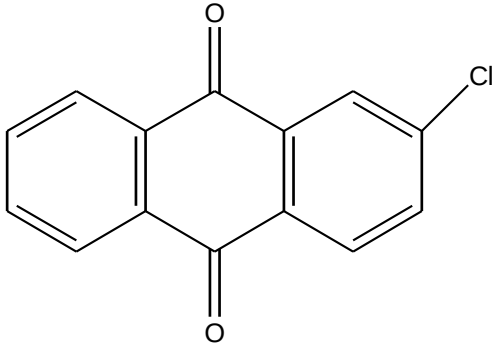
7.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler

Bu çalışmada antrakinon yapıları dört tane boyarmadde kullanılmıştır. Kullanılan tüm boyarmaddeler ve tek duvarlı karbon nanotüp Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır. Sıvı kristal olarak Merck firmasından temin edilen E7 ve ZLI-1132 kullanılmıştır. Bunun yanı sıra çözünürlük tayininde kullanılan aseton da Merck firmasından satın alınmıştır. Düzen parametresinin tayin edildiği planar yönelime sahip hücreler ForeSea Technologies firmasınca hazırlanmıştır. Boyarmaddelerin yapıları Şekil 7.1’ de, iki sıvı kristalin (E7 ve ZLI-1132) bileşimi ise Şekil 7.2’ de görülmektedir.

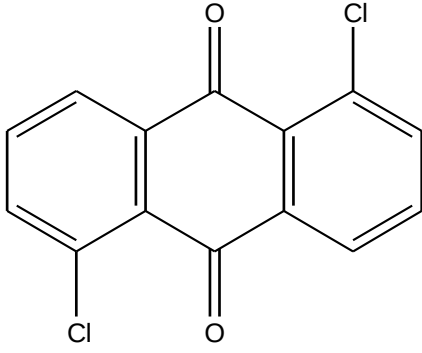


Klorantrakinon (1CA)

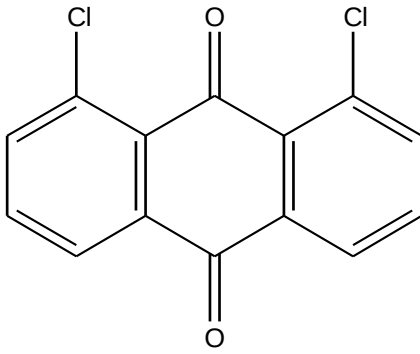
Şekil 7.1. Kullanılan boyarmaddelerin moleküler yapıları



2- Klorantrakinon (2CA)

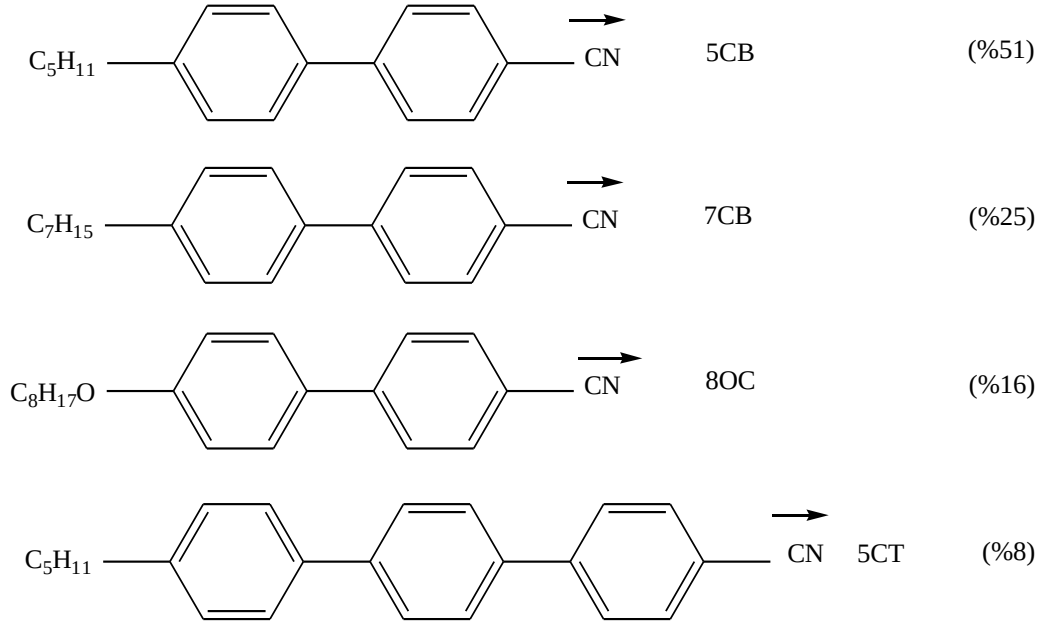


1,5- Diklorantrakinon (1,5DCA)

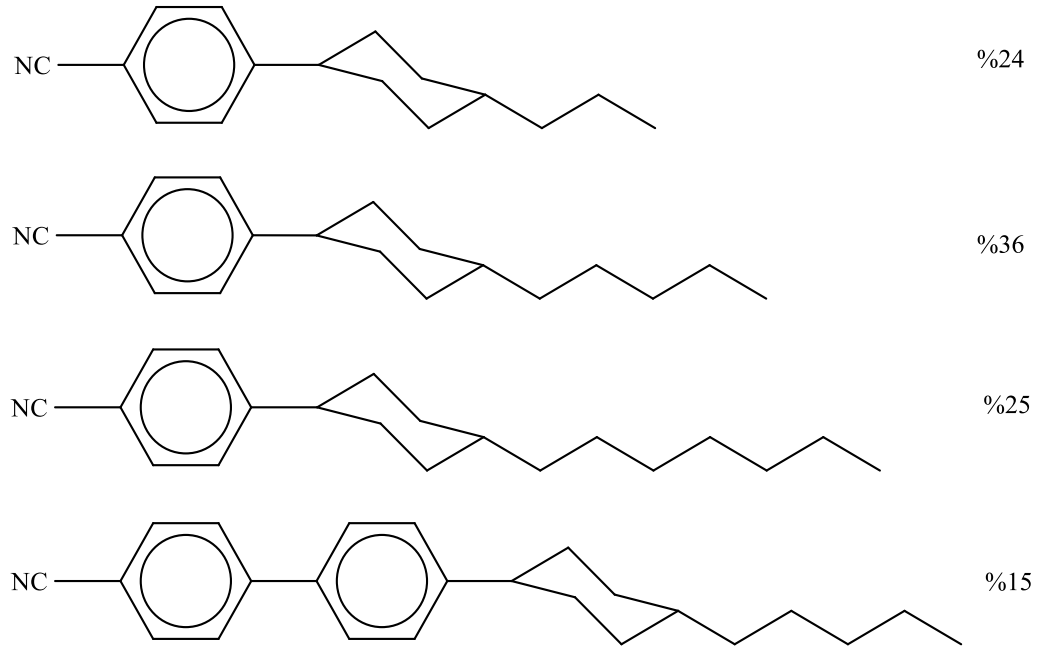


1,8- Diklorantrakinon (1,8DCA)

Şekil 7.1. (Devam) Kullanılan boyarmaddelerin moleküler yapıları



a) E7 nematik sıvı kristali



b) ZLI-1132 nematik sıvı kristali

Şekil 7.2. Kullanılan nematik sıvı kristallerin bileşimleri

a) E7 b) ZLI-1132

7.1.2. Kullanılan cihazlar

- Boyarmaddelerin çözünürlük tayinlerine dayalı absorpsiyon spektrumları ile düzenlilik parametresinin belirlendiği absorbans ölçümleri Perkin Elmer Lambda 900 UV-VIS-NIR cihazı ile tayin edildi.
- Numunelerin çalkalama ve termostat işlemi Selecta marka su banyosu ile gerçekleştirildi.
- Çözünürlük tayininde gerçekleştirilen ayırma işlemleri için Eppendorf marka yüksek devirli santrifüj cihazı kullanıldı.
- Termal özellikler Perkin Elmer marka DSC cihazı ile belirlendi.
- Numunelere ait tekstürler Linkam marka ısıtma-soğutma tablasına sahip Leica (DFC 280) marka polarize mikroskop ile elde edildi.

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

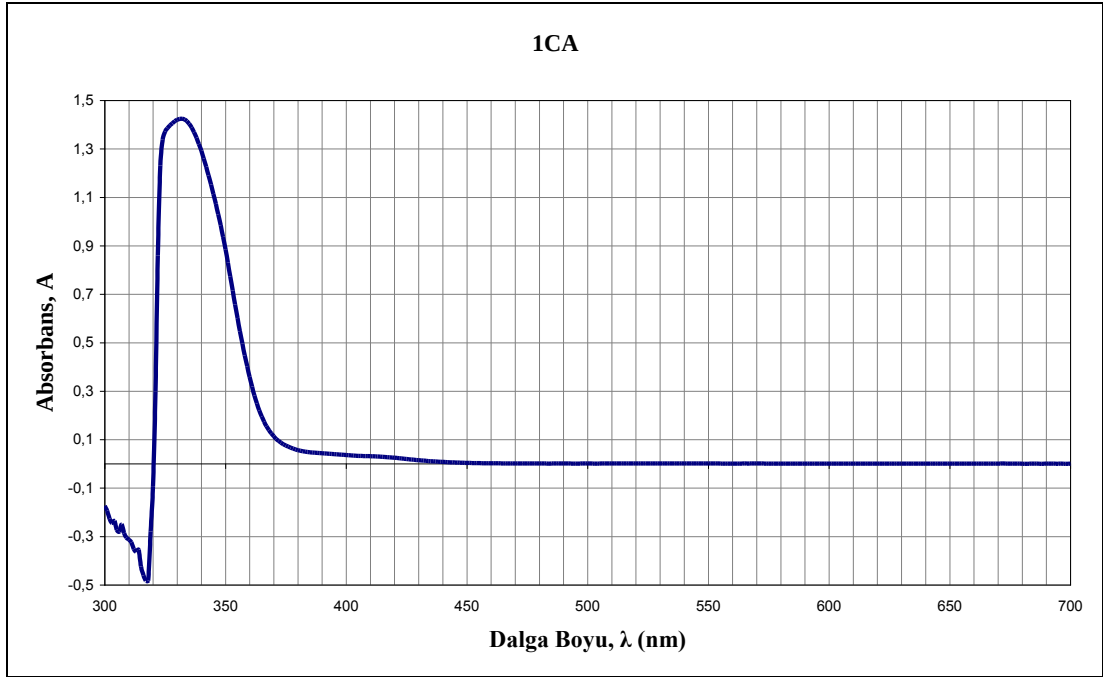
8.1. Boyarmaddelerin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüklerinin Belirlenmesi

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kloro antrakinon yapılı dört farklı boyarmadde kullanılarak, farklı sıvı kristaller içerisindeki çözünürlüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

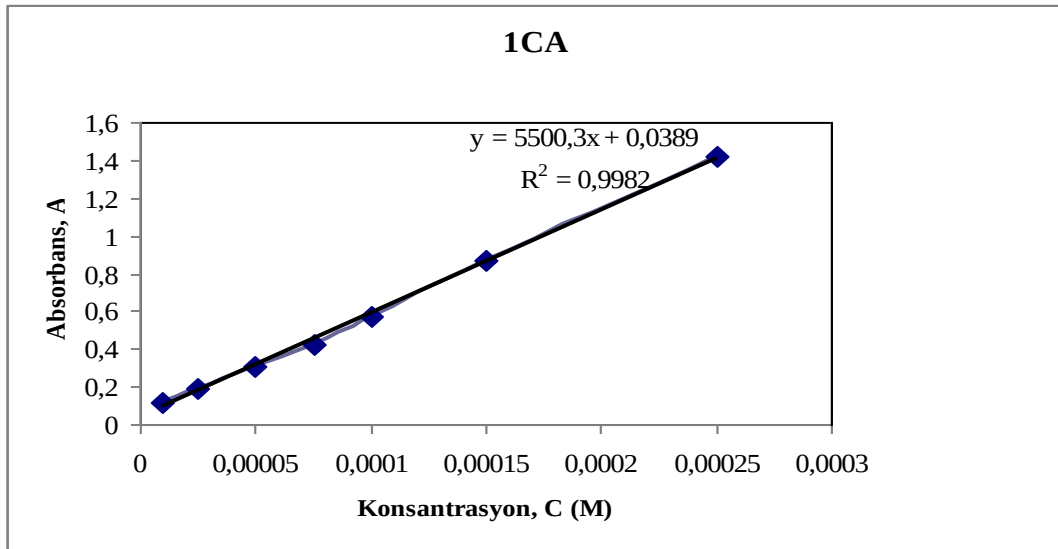
Öncelikle her bir boyarmadde için 10^{-3} – 10^{-6} M arasında değişen farklı konsantrasyonlarda standart çözeltiler hazırlanmıştır. Bu standart çözeltilerin hazırlanması sırasında kullanılan çözücü olarak aseton kullanılmıştır.

Hazırlanan çözeltiler kullanılarak, UV-Visible-NIR spektrofotometre cihazı ile 300-700 nm arasında 1 nm' lik dalga boyu aralıklarıyla tarama yapıp absorbansları ölçülmüş ve her bir boyarmadde için maksimum absorpsiyonun gerçekleştiği dalga boyu belirlenmiştir. Şekil 8.1' de aseton içerisinde çözünmüş 1CA boyarmaddesine ait absorbans (A) - dalga boyu (λ) grafiği verilmiş olup, diğer boyarmaddelere ait grafikler Ek-1' de yer almaktadır.

Her bir boyarmadde için belirlenen bu dalga boyunda çalışarak, konsantrasyonu bilinen standart çözeltilerin absorbans değerleri ölçülmüştür. Konsantrasyon değerine karşılık okunan bu absorbans değerleri kullanılarak, her bir boyarmadde için kalibrasyon grafikleri hazırlanmıştır. Şekil 8.2' de 1CA boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği verilmiş olup, diğer boyarmaddelere ait kalibrasyon grafikleri Ek-2' de yer almaktadır.



Şekil 8.1. Aseton içinde çözülmüş 1CA boyarmaddesine ait A-λ grafiği



Şekil 8.2. Aseton içinde çözülmüş 1CA boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği

Kalibrasyon grafikleri oluşturulduktan sonra boyarmaddelerin sıvı kristal içerisindeki çözünürlüklerinin belirlenmesine geçilmiştir. Sıvı kristal olarak; yüksek ve pozitif dielektrik anizotropiye sahip, farklı oranlarda siyanobifenil ve siyanoterfenil bileşenlerinin ötektik karışımından oluşan E7 ile esas itibariyle siyano-fenil-sikloheksan bileşenlerinden oluşan, alkilsikloheksilsiyanobenzen ve

alkilsiklohekzilsiyano-bifenilin ötektik karışımı olan pozitif dielektrik anizotropiye sahip ZLI-1132 [Wu, 1986; Celebre ve ark., 2000; Celebre ve De Luca, 2003] kullanılmıştır.

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 Selecta marka su banyosunda 18 saat süre ile çalkalama işlemine tabii tutulmuş ve boyarmaddenin sıvı kristal içerisinde çözünmesi sağlanmıştır. 18 saat sonunda karışım içerisinde çözünmeden kalan boyarmadde 14000 devir/dakika' da 15 dakika santrifüjlenerek ayrılmıştır. Sıvı kristal içerisinde çözünmeden kalan kısım, her bir boyarmadde için kalibrasyon grafiği oluşturulurken kullanılan organik çözücülerde (aseton) çözülmüş ve UV-Visible-NIR spektrofotometre cihazı ile çözeltilerin absorpsanları, uygun seyreltmeler yapılarak önceden belirlenen dalga boylarında (λ_{max}) ölçülmüştür. Bu absorpsan değerine karşı gelen konsantrasyon miktarı kalibrasyon doğrusundan bulunmuş ve 20 °C' de her bir boyarmaddenin dört farklı sıvı kristal içerisindeki çözünürlük yüzdeleri hesaplanmıştır [Iwanaga ve ark., 2000; Thote ve Gupta, 2004].

8.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerlerinin Belirlenmesi

Çalışmaların devamında boya etkinliğini değerlendirmede ana kriterlerden biri olan düzenlilik parametresi (S) her bir boyarmadde ve ikili karışım için polarizör donanımlı UV spektrofotometre cihazı yardımıyla belirlenmiştir [Martynski ve ark., 1994; Bauman ve Moryson, 1997].

Bu kapsamda sıvı kristal-boyarmadde ve sıvı kristal-boyarmadde-karbon nanotüp ihtiva eden numuneler ayrı ayrı hazırlanmıştır. İlk olarak boyarmaddelerin ticari olarak temin edilen sıvı kristaller içerisindeki çözünürlük yüzdeleri dikkate alınarak; yüksek çözünürlüğe sahip boyarmaddeler için kütlece %1' lik, düşük çözünürlüğe sahip boyarmaddeler için doymuş çözeltileri hazırlanmış ve hazırlanan bu sıvı kristal-

boyarmadde karışımları çalkalamalı banyoda 20 °C’ de 18 saat süre ile çalkalanmıştır. Hazırlanan bu sıvı kristal-boyarmadde karışımlarına kütlece %0,05 oranında tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT) ilave edilerek, nanotüp içeren karışımlar hazırlanmıştır. Karbon nanotüp katkılı bu sıvı kristal karışımlar hazırlanırken, öncelikle sıvı kristal+boyarmadde içeren karışımlar 17 saat süre ile çalkalamalı banyoda tutulmuştur. Bu işlemin ardından karbon nanotüp ilavesi yapılmış, nanotüplerin sıvı kristal içerisinde topaklaşmasını engellemek ve dağılımını homojenize etmek için 1 saat daha çalkalamalı banyoda bekletilmiştir. Böylece karbon nanotüplerin yapısını bozmadan, homojen bir karışım elde edilmeye çalışılmıştır [Dierking ve ark., 2005].

Hazırlanan katkılı sıvı kristal karışımlar ile katkısız sıvı kristaller, ticari olarak temin edilen planar yönlenime sahip sıvı kristal hücrelere kapiler yöntem tekniği ile ve kılcal pipet yardımıyla ayrı ayrı doldurulmuştur. Hücreler 1cmx1cm aktif alana sahip, 15 µm kalınlığındadır. Katkılı hücreler spektrofotometrenin numune kısmına yerleştirilirken, referans kısmına saf sıvı kristal doldurulmuş hücre konulmuştur. Polarizörün radyal konumu hücrelere paralel olacak şekilde ayarlanarak maksimum absorbans yakalanmaya çalışılmıştır. Yapılan absorbans ölçümleri kayıt edildikten sonra polarizör bir önceki konumuna göre dik duruma getirilerek ikinci ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu iki ölçümden düzenlilik parametre değerleri hesaplanmıştır.

8.3. Numunelere Ait Tekstürlerin Eldesi

DeneySEL çalışmaların bu kısmında Linkam marka ısıtma-soğutma tablalı Leica marka polarize mikroskop kullanılarak, katkısız sıvı kristal ile boya ve nanotüp katkılı sıvı kristal malzemelerin ısınma ve soğuma işlemleri sırasındaki nematik-izotropik faz geçişlerinin gözlendiği sıcaklıklar belirlenmiş ve bu sıvı kristal sıcaklık aralığında görüntüler (tekstürler) elde edilmiştir. Elde edilen tekstürlerde faz dönüşümlerinin gerçekleştiği anda domain yapıların oluşumu ve sıcaklıkla birlikte bu yapıların gözden kaybolarak, yapının saydam hale gelişi görüntülenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında polarize mikroskopta öncelikle -45/100 °C sıcaklık aralığında çalışılarak, ısıtma-soğutma işlemi sırasında katkısız sıvı kristallerin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları ve tekstürleri elde edilmiştir. Daha sonra boya ve nanotüp katkılı her bir numunede 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 açılmıştır. Numuneler tekrar oda sıcaklığına kadar soğurken meydana gelen değişiklikler yine monitörden 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 gözlemlendiği 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 olduğu sıcaklık değerleri bulunmuştur.

8.4. Numunelerin Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneysel çalışmaların bu kısmında katkısız sıvı kristaller ile ikili boya karışımlarını ihtiva eden sıvı kristal numunelerin ısııl özelliklerinin belirlenmesi amacıyla DSC analizleri gerçekleştirilmiştir. 20-100°C sıcaklık aralığında 10°C/dakika ısıtma hızı ile gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen termogramlardan, çalışılan numunelere ait nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları, bu sıcaklık değerlerinin polarize mikroskop ile belirlenen sonuçlarla tutarlılığı ve nanotübün sıvı kristalin faz geçiş sıcaklığını etkileyip etkilemediği ve faz geçişi sırasında meydana gelen entalpi değişimleri belirlenmiştir.

9. BULGULAR VE TARTIŞMA

9.1. Boyarmaddelerin Çözünürlükleri

Çözünürlük tayinleri literatüre benzer tarzda gerçekleştirilmiştir [Basturk ve ark., 1983; Iwanaga ve ark., 2000]. Literatürde en fazla 10000 devir/dakika'lık santrifüj hızı gözlenirken, deneylerde 14000 devir/dakika hız ile santrifüj işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözünürlük değerleri ise literatürde olduğu gibi sıvı kristal içerisinde çözünmeden kalan boyarmadde miktarı üzerinden hesaplanmıştır.

Örnek olarak; 1-kloro antrakınon (1CA) için belirtilen çalışma şartlarında, iki farklı sıvı kristal içerisindeki çözünürlük değerleri ve bu değerlerin belirlenebilmesi için kullanılan deneysel veriler Çizelge 9.1' de görülmektedir.

Çalışma şartları:

$\lambda_{\max.} = 324 \text{ nm}$

Çözücü: Aseton

Çözücü miktarı: 100 mL

T= 22 °C

Çizelge 9.1. 1CA için deneysel veriler ve çözünürlük değerleri

SK	Seyr. Oranı	Çözücü Miktarı (mL)	Başlangıçtaki Boyarmadde Miktarı (g)	Seyreltik Çözelti İçin Absorbans	Çözünen Boyarmadde Miktarı (g)	Çözünürlük (%)
E7	1/40	100	0,0386	0,1043	0,02706	3,39
ZLI-1132	1/40	100	0,0418	0,2437	0,00569	0,68

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu diğer boyarmaddeler için elde edilen ayrıntılı deney verileri, çalışma şartları ve örnek hesaplama Ek-3' de verilmiştir. Çizelge 9.2' de ise çalışılan her bir boyarmaddenin hesaplanan çözünürlük değerleri görülmektedir.

Çizelge 9.2. Boyarmaddelerin çözünürlük değerleri (% m/m)

	E7	ZLI-1132
1CA	3,39	0,68
2CA	1,41	0,59
1,5DCA	0,54	0,13
1,8DCA	0,73	0,14

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 antrakınon boyalar kullanılmaktadır [Bahadur, 1992; Iwanaga ve ark., 2000]. Bu bilgilerin ışığında deneysel çalışmalarda kullanılacak olan boyarmaddelerin tamamı antrakınon yapıda seçilmiş; aynı fonksiyonel grubun farklı konumlardaki etkisini tartışmak için kloro türevleri çalışılmıştır.

Y-H sistemlerinin performansı, sıvı kristal ortamdaki dikroik boyanın kararlılığı, 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].

Boy/en oranının çözünürlük üzerine etkilerinin olduğu bilinmektedir. Literatürde, boya molekülünde uzunluk arttıkça çözünürlüğün azalacağı belirtilmektedir [Bahadur, 1992].

Diğer taraftan boya molekülünün yapısındaki fonksiyonel gruplar ile bu grupların sayılarının ve pozisyonlarının değişmesi ile boyanın moleküler özellikleri değişmekte, bu da sıvı kristal içerisindeki çözünürlüklerini etkilemektedir [Iwanaga ve Naito, 1998; Iwanaga ve ark., 1998; Grabchev ve ark., 2000]. Deneysel sonuçlardan görüldüğü gibi boyalarda moleküler yapı değiştikçe çözünürlük değerleri de değişmektedir.

Çözünürlüğü etkileyen bir diğer faktör de moleküllerin polaritesidir. Çünkü polarite arttıkça dipol moment artmakta, böylece boyaların bazı sıvı kristaller içerisindeki çözünürlükleri artmaktadır. Örneğin siyanobifenil tipi sıvı kristallerin dipol moment, bazı sıvı kristallerden daha büyük olduğu için polar yapıdaki boyaların bu tip sıvı kristaller içerisindeki çözünürlüğü diğerlerine göre daha fazladır [Iwanaga ve ark., 2000]. ZLI 1132 'de dipol momente etkileyen yalnız $-CN$ grubu iken, E7'de $-CN$ ve $-OC_nH_{2n+1}$ olmak üzere iki tane polar grup bulunmaktadır. Ancak bu iki grup arasında dipol moment daha çok etkileyen grup alkoksi ($-OC_nH_{2n+1}$) grubudur. [Ghanadzadeh ve Beevers, 2001]. Dolayısıyla çalışılan boyarmaddeler için E7 sıvı kristali içerisinde gözlemlenen yüksek çözünürlük değerleri bunun bir göstergesi olarak düşünülebilir.

Çalışılan boyarmaddeler ile sıvı kristaller arasında hidrojen bağı yapma ihtimali olmamakla birlikte, boya moleküllerinin polariteleri, yapılarındaki $-Cl$ gruplarının sayısı ve pozisyonu göz önünde tutularak çözünürlük değerleri incelendiğinde, değişken sonuçların elde edilmesi sürpriz olmayacaktır. Çözünürlüğü düşük olan boyarmaddeler Y-H tipi göstergeler için uygun olmasa da, literatürde yapılan çalışmalar ışığında [Kayacan ve ark., 2007; Köysal ve ark., 2007 ve 2009; San ve ark., 2004, 2005 ve 2008], bu boyarmaddelerin holografik ve benzeri bazı çalışmalarda kullanılabileceği söylenebilir.

9.2. Numunelerin Düzen Parametre Değerleri

Literatür araştırmalarında, sıvı kristalde kütlece % 0,2-1 arasında değişen farklı oranlarda boyarmadde çözülerek düzen parametre değerleri belirlenmiştir [Jones ve Reeve, 1980; Ivashchenko ve ark., 1985; Haase ve ark., 1987; Martynski ve ark., 1994; Bauman ve Moryson, 1997; Grabchev ve ark., 2000, 2001 ve 2003; Wang ve Carlisle, 2002; Ghosh ve Carlisle, 2005; Jafari ve ark., 2006; Ghanadzadeh ve ark., 2007; Suleiman ve ark., 2008]. Bu aşama ve sonraki deneylerde boyaların sıvı kristallerdeki doygun çözeltileri kullanılmıştır. Sadece E7' de 1CA ve 2CA çözünürlükleri yüksek olduğu için kütlece %1 oranında çözülmüşlerdir. Hazırlanan karışımlara ikinci aşamada kütlece % 0,05 oranında tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT) ilave edilerek, literatüre benzer oranda boya+nanotüp ihtiva eden sıvı kristal karışımlar elde edilmiştir [Köysal ve ark., 2008; Lebovka ve ark., 2008; Suleiman ve ark., 2008]. Bu karışımlar ultrasonik banyoda belirli sürelerde bekletilmiştir. Böylece hem boyarmaddelerin sıvı kristal içerisindeki çözünürlükleri, hem de nanotüplerin dağılımları iyileştirilmiştir. Özellikle ultrasonik etki, kümeleşmiş haldeki nanotüplerin homojen şekilde dağıtılması için yaygın biçimde kullanılan bir yöntemdir [Park ve ark., 2002; Dierking ve ark., 2005].

Yapılan çalışmada, boya etkinliğini değerlendirmede ana kriterlerden biri olan düzenlilik parametresi (S) her bir boyarmadde ve boya+nanotüp karışımları için polarizör donanımlı UV spektrofotometre cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Sıvı kristal ve dikroik boya içeren bir karışımda, sıvı kristal moleküllerinin yönlenmesi boya moleküllerini de etkilemekte ve ortaklaşa yönlenim söz konusu olmaktadır. Böylece ortamda dikroik boyanın varlığı, sıvı kristalin refraktif indis 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 düzenlilik parametre değeri 0,3 ile 0,9 arasında değişen değerler alabilmektedir. İyi bir kontrast elde edebilmek için S değerinin mümkün olduğunca

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

Düzen parametresi belirlenirken, elektronik geçişlerin boyaların uzun moleküler eksenlerine paralel olmadığı durumlar için Eş. 9.1 kullanılır [Grabchev ve ark., 2001].

$$S = \frac{(A_{\parallel} - A_{\perp})}{(A_{\parallel} + 2A_{\perp})} \left[1 - \frac{3}{2} \sin^2 \beta \right]^{-1} \quad (9.1)$$

$\beta = 0^\circ$ için Eş. 9.1, Eş. 9.2' ye indirgenebilmektedir.

$$S = (A_{\parallel} - A_{\perp}) / (A_{\parallel} + 2A_{\perp}) \quad (9.2)$$

Burada $A_{\parallel}$; gün ışığının elektrik vektörü moleküler yöne paralel olduğu zaman sıvı kristal içerisinde çözünmüş boya için maksimum dalga boyunda ölçülen absorbans, $A_{\perp}$ ise dik durumdaki absorbansdır. Bu absorbans ölçümlerinde kör çözelti olarak boya çözünmemiş (katkısız) sıvı kristal kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarda elektronik geçişlerin boyaların uzun moleküler eksenlerine paralel olduğu kabulü yapılarak Eş. 9.2 yardımıyla düzen parametre değerleri hesaplanmıştır [Pellatt ve Roe, 1980; Ghanadzadeh ve Beevers, 2001]. Zaten antrakinon molekülüne alkil veya aril veya halojen gruplarının girmesiyle onların elektron spektrumu üzerine çok az etki yaptığı bilinmektedir [Ivashchenko, 1994]. Çizelge 9.3' de sıvı kristal+boyarmadde karışımlarına ait, bu tez çalışmasında elde edilen düzen parametre değerleri görülmektedir.

Çizelge 9.3. Çalışılan boyarmaddelere ait düzen parametre değerleri

	E7	ZLI-1132
1CA	0,12	0,45
2CA	0,13	0,71
1,5DCA	0,24	0,60
1,8DCA	0,09	0,52

En yüksek düzen parametre değerine ($S=0,71$), ZLI-1132 nematik sıvı kristalinde çözünmüş 2CA boyarmaddesinde ulaşılmıştır. En düşük değer ise ($S=0,09$) E7 nematik sıvı kristalinde çözünmüş 1,8DCA boyarmaddesinde gözlenmiştir. Literatürde çok çeşitli sınıftaki boyarmaddeler sıvı kristale katkı olarak kullanılmakla beraber azo ve antrakinon boyalar bu açıdan özel bir yere sahiptir. Azo boyalar genellikle yüksek çözünürlük ve düzen parametre değerleri ile ön plana çıkarken; yüksek kimyasal, foto ve elektro-kimyasal kararlılıkları antrakinon boyaları ilgi çekici duruma getirmektedir [Ivashchenko, 1994].

Sıvı kristal içerisinde dikroik boya çözüldüğünde, boya molekülleri sıvı kristal moleküllerinin uzun moleküler eksenleri boyunca yeniden yönlendirilmektedirler. Bazı optik özelliklere sahip ve belirli dalga boyu aralığında absorpsiyon yapan bu boyaların molekül yapısı değiştikçe, sıvı kristal ile aralarındaki etkileşimler de değişmekte; bu değişim her bir boyanın düzen parametre değerini birbirinden farklı kılmaktadır [Grabchev ve ark., 2003; Marjanska ve ark., 2003; Thote ve Gupta, 2004; Ghanadzadeh ve ark., 2007]. Elde edilen deneysel sonuçlar da Y-H sistemlerinin düzen parametre değerlerinin boyanın moleküler yapısından etkilendiğini göstermektedir.

Özellikle boyarmaddelerin molekül uzunluğu ve genişliği düzen parametresini etkileyen temel faktördür. Farklı boy/en oranına sahip boyarmaddeler aynı sıvı kristal matris içerisinde farklı düzen parametre değerlerine sahiptirler. Yapılan çalışmaların bazıları boya molekülünün uzunluğu arttıkça yani boy/en oranı arttıkça, düzen parametre değerinin de arttığını göstermiştir [Bahadur, 1992].

Düzen parametresinin moleküler yapıya bağlılığı, boyarmaddenin içerdiği farklı uç bileşenlerle de ilgilidir. Örneğin, moleküler yapıya –Cl atomu gibi elektron çeken atom ya da atomların eklenmesi, düzenlilik parametresinde değişime sebep olabilmektedir [Grabchev ve ark., 2000].

Sonuç itibariyle sıvı kristal karışımların düzen parametre değerleri, boyarmaddelerin moleküler yapısına; sıvı kristal ile boyarmadde arasında oluşması muhtemel hidrojen bağı sayısına ve bu bağı kararlılığına; boya molekülünün boy/en oranına; boyarmaddenin yapısındaki uç bileşenlerin türü, sayısı ve pozisyonuna; nematik sıvı kristaldeki alkil ve/veya alkoksi gruplarının oranına; nematik yapı ile boyarmadde arasındaki yapısal benzerliğe; moleküller arası etkileşimlerle konjuge yapının sürekliliğinin sağlanmasına veya boyarmaddelerde gerçekleşebilecek molekül içi etkileşimlere bağlı olarak farklı değerler alabilmektedir. O nedenle bir boyarmaddenin düşük ya da yüksek çıkan düzen parametre değeri irdelenirken, tüm bu etkenlerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bulunan sonucu tek bir nedene dayandırmanın hata getireceği unutulmamalıdır.

Katkılı sıvı kristal sistemler, teknolojik uygulamalara imkân vermeleri sebebiyle son zamanlarda en çok araştırılan konulardan biri olmuştur. Karbon nano parçacıkların katılmasıyla sıvı kristallerin fotorefraktif, holografik, elektro-optik ve yeniden yönlendirme gibi lineer olmayan özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır [Köysal ve San, 2008]. Özellikle karbon nanotüpler mekanik ve elektriksel özellikleri sebebiyle yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Dayanımları, iletkenlikleri, esnek bir yapıya ve kendilerine özgü elektriksel karakteristiklere sahip olmaları sebebiyle karbon nanotüpler sıvı kristallerde önemli bir katkı maddesi olmuştur. Nematik sıvı kristaller, optik alanla yönlendirici eksenlerinin yeniden yönlennemeleri sebebiyle çok büyük doğrusal olmayan optik davranışlar sergilemektedirler. Sıvı kristallerin bu yönlendirici uzun moleküler eksenlerinin yeniden yönlennemelerini arttırmak amacıyla boyalar kullanılmakta ve moleküllerin yönlennemeleri büyük oranda arttırılmaktadır. Dolayısıyla büyük çiftkırılım özelliğine sahip olan nematik sıvı kristaller, bu özellikleri sayesinde son yıllarda pek çok fotonik uygulamalarda kullanım alanı

bulmuştur. Özellikle karbon nanotüpler de sıvı kristallerin ışığın kırılma oranını ve dolayısıyla fotorefraktif verimini arttıran en iyi katkı maddelerinden biri olmuştur. Yapılan çalışmalar, karbon nanotüp içermeyen sıvı kristallerde yönlendirici eksenin yeniden yönlendirilebilmesi ve karbon nanotüp katkılı sıvı kristallerle aynı yönlenmeyi sağlayabilmek amacıyla üç katı kadar daha fazla elektrik alanda çalışılması gerektiğini göstermiştir [Kissinger, 2003]. Ancak bu sonuç karbon nanotüplerin sıvı kristal içerisinde tam olarak dağıldığı durum için geçerlidir. Dolayısıyla tek duvarlı karbon nanotüplerin dağılımı, çok duvarlı karbon nanotüplere kıyasla çok daha iyi olduğundan, çalışmalarda tek duvarlı karbon nanotüplerin kullanımı tercih edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar sıvı kristal karışımlardaki karbon nanotüp konsantrasyonunun da fotorefraktiviteyi etkilediğini göstermiştir. Karbon nanotüple aşırı doyurulmuş sıvı kristallerde ışığın kırılma oranının düşük çıkması bunun bir kanıtıdır. Bu nedenle sıvı kristal karışıma ilave edilecek olan karbon nanotüpler uygun bir konsantrasyon aralığında ve optimum bir değerde olmalıdır. Bu kapsamda hazırlanan katkılı sıvı kristal karışımlarda karbon nanotüp miktarı kütlece %0,05 olarak ayarlanmıştır. Bu numunelere ait dört farklı sıvı kristal içerisindeki düzen parametre değerleri Çizelge 9.4’ de verilmiş olup, nanaotüp katkılı sıvı kristallerde moleküllerin yönlenme mekanizmaları üzerine katkı maddesinin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 9.4. Karbon nanotüp katkılı numunelere ait düzen parametre değerleri

	E7	ZLI-1132
1CA	0,21	0,49
2CA	0,31	0,74
1,5DCA	0,26	0,76
1,8DCA	0,37	0,56

Deneyisel sonuçlar göstermektedir ki, çalışılan tüm boyarmaddeler için ilave edilen karbon nanotüp, sıvı kristal ve boyarmadde moleküllerinin aynı yöne yönelmesinde olumlu etki göstermiştir. Dolayısıyla katkısız hale göre S değerlerinde de yükselmeye sebep olmuştur. Planar nematik hücrede boya ile katkılanırılmış sıvı kristal içerisinde çok düşük miktarlarda karbon nanotüp bulunduğu durumda düzen

parametresinde gözlenen bu artış literatür ile uyumludur [Ghosh ve Carlisle, 2005; Dierking ve ark., 2004; Suleiman ve ark., 2008]. Bu sonuç şu şekilde açıklanabilir: sıvı kristal molekülden karbon nanotüpe elektrostatik yük transferi gerçekleşmekte ve sıvı kristal ile nanotüp arasında kuvvetli etkileşim meydana gelmektedir. Bu etkileşim van der Waals etkileşiminden daha kuvvetlidir. Dolayısıyla elektriksel iletkenliğe fark edilir şekilde etki ederek, aktivasyon enerjisini düşürür ve moleküllerin aynı yöne yönelimlerini iyileştirir [Dierking ve San, 2005; Lebovka ve ark., 2008].

Dört farklı boyarmadde, iki farklı sıvı kristal ve tek duvarlı karbon nanotüp kullanılarak yapılan ve S değerinde artış gözlenen boyarmadde çalışmalarında en yüksek düzen parametresi değerine ($S=0,76$), 1,5DCA katkılı ZLI-1132 nematik sıvı kristali içerisine karbon nanotüp ilave edildiği durumda erişilmiştir. Nanotüp katkılı numunelerde elde edilen yüksek düzen parametre değerleri, nanotüp/boya karışımlarının sıvı kristalin doğrultu eksenini boyunca iyi yönlendiğini yansıtmaktadır.

CNT ile SK molekülleri arasındaki elastik etkileşimlerle karbon nanotüp molekülleri sıvı kristalin uzun moleküler eksenini boyunca yeniden yönlenebilmekte ve düzen parametre değerinde artışa sebep olmaktadır [Dierking ve ark., 2004]. Bilindiği üzere sıvı kristal bileşikler π - π etkileşimleri ile istiflenmiş yapılar oluştururlar. Dolayısıyla sıvı kristal molekülleri ile CNT arasında meydana gelebilecek bu tarz bir etkileşim, SK moleküllerin CNT duvarına bağlanmasını sağlayacak ve birlikte ortaklaşa bir yönelim söz konusu olacaktır. Aromatik kısımlar içeren organik bileşikler arasında meydana gelen ve hidrojen bağları, van der Waals kuvvetleri, yük transfer etkileşimi ve dipol-dipol etkileşimi gibi nonkovalent etkileşimlerden daha kuvvetli olan bu π - π etkileşimleri (aromatik etkileşim) göstermektedir ki, karbon nanotübün π -elektron sistemi, çevresindeki sıvı kristal moleküllerinden etkilenmekte ve aralarında meydana gelen kuvvetli bağlanma ile karbon nanotüp moleküllerinin sıvı kristal ortamda tek başlarına değil de, sıvı kristal molekülleri ile birlikte yönelmelerini sağlamaktadır [Lebovka ve ark., 2008]. Böylece çalışılan tüm sıvı kristal

numunelerde nanotüp ilavesi ile moleküllerin daha iyi yönlenmeleri sağlanabilmektedir [Dierking ve San, 2005].

9.3. Numunelerin Tekstürlerinin İncelenmesi

Katı fazdan izotropik sıvıya geçiş birden bire olmamakta, bazı ara fazlardan geçerek izotropik sıvıya erişilmektedir. Bu ara fazlar smektik ve nematik sıvı kristal fazlardır. Dolayısıyla katı faz ile sıvı faz arasında yer alan sıvı kristaller farklı yapısal özelliklere sahip olan anizotropik mezofazlar sergilemektedirler. Bu mezofazlar arasında gerçekleşen faz geçişleriyle yapılarında, fiziksel özelliklerinde ve simetrilerinde değişim meydana gelmektedir. Düşük sıcaklıklarda $S=1$ olup, sistem hem yönelim hem de konum olarak düzenlidir ve bu durum bir kristal katıya karşılık gelmektedir. Sıcaklık arttıkça konum ve yönelim düzen parametrelerinin değeri küçülmektedir. Katı fazda moleküllerin ötelenmesi için gereken enerji, dönmesi için gerekli enerjiden daha küçük olduğundan önce konum düzen parametresi sıfır olmaktadır. Bu durumda sistem konumda düzensiz, yönelimde düzenli bir nematik sıvı kristale karşılık gelmektedir. Yani katı-nematik faz geçişi meydana gelmiştir. Sıcaklık arttırılmaya devam edilirse yönelim düzeni de gittikçe azalarak sıfır olacaktır. Bu durumda sistem hem konum hem de yönelimde düzensiz olmakta ve nematik-izotropik sıvı faz geçişi gerçekleşmektedir [Özgan ve Yazıcı, 2003].

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 esnasında fiziksel özelliklerdeki dalgalanmayı azaltmak için yüksek berraklaşma (durulanma) noktası (T_{NI}) (nematik halden izotropik hale geçiş noktası) gerekmektedir [Özgan ve Yazıcı, 2003].

Bu kapsamda 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 çalışmalara öncelikle $-50^{\circ}\text{C}/100^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında gerçekleştirilen ısıtma-soğutma işlemi ile katkısız sıvı kristallerin faz geçiş sıcaklıklarının belirlenmesi ve tekstürlerinin eldesiyle başlanmıştır. Katkısız sıvı kristallere ait tekstürler Ek-4’ de verilmektedir. E7 ve ZLI-1132 sıvı kristalleri için nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları sırasıyla $60,7$ ve $75,5$ $^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar literatürle uyumludur [Wu, 1986; Celebre ve ark., 2000; Ghanadzadeh ve Beevers, 2001; Marjanska ve ark., 2003]. Soğutma işlemi ile de nematik fazın kararlılığını koruduğu sıcaklık aralığı tespit edilmiştir. Bu deneylerde -40 $^{\circ}\text{C}$ ’ ye kadar yapının bozulmayıp, malzemenin sıvı kristal özellik gösterdiği belirlenmiştir. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda -10 $^{\circ}\text{C}$ ’ nin altındaki sıcaklıklara pek inilmediği görülmektedir [Ghanadzadeh ve Beevers, 2001].

Çalışmaların devamında hazırlanan sıvı kristal-boya ve sıvı kristal-boya-karbon nanotüp karışımları için deneyler tekrarlanmıştır. Polarize mikroskopta incelenen sıvı kristal maddeler, ilk izotropik sıvı damlacığının görüldüğü sıcaklıkta (T_N) nematik yapıyı kaybetmeye başlamakta ve bulanık görünümlü bir sıvıya dönüşmektedir. Sıcaklık biraz daha arttırıldığında ikinci bir faz geçiş noktasına ulaşılır ki bu geçiş noktasında son izotropik sıvı damlacığı ile nematik yapının tamamen kaybolduğu görülür. Bu sıcaklık berraklaşma (durulanma) sıcaklığı (T_I) olarak isimlendirilmektedir. (T_I-T_N) sıvı kristal fazın termodinamik olarak kararlı olduğu sıcaklık bölgesini tanımlar. ΔT_N ise katkılı sıvı kristalin T_N değerinin, katkısız sıvı kristalin T_N değerine göre değişimini ifade etmektedir. ΔT_I ; katkılı sıvı kristalin T_I değerinin, katkısız sıvı kristalin T_I değerine göre değişimini ifade eder. T_{NI} sıcaklığı ise katkılı sıvı kristal karışımları için ortalama berraklaşma (durulanma) sıcaklığını ya da ortalama nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığını belirtmektedir [$T_{NI}=(T_I+T_N)/2$]. ΔT_{NI} sıcaklığı da katkılı sıvı kristal karışımları için ortalama berraklaşma sıcaklığının, katkısız sıvı kristalin ortalama berraklaşma sıcaklığına göre değişimini vermektedir. Her bir boyarmadde için belirlenen bu ΔT_{NI} sıcaklığı dikkate alınarak, çalışılan boyarmaddelerin Y-H sistemleri için uygun olup olmadığına karar verilebilmektedir [Wolarz ve ark., 1992, Grabchev ve ark., 2003]. Örnek olarak Çizelge 9.5’ de boya katkılı E7 sıvı kristali, Çizelge 9.6’ da ise boya ve nanotüp

katkılı E7 sıvı kristali için polarize mikroskop ile belirlenen faz geçiş sıcaklıkları görülmekte olup, diğer karışımlara ait deneysel sonuçlar Ek-5' de verilmiştir.

Çizelge 9.5. Boya katkı E7 sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları (°C)

	T_N	T_I	$T_I - T_N$	ΔT_N	ΔT_I	T_{NI}	ΔT_{NI}
E7	58,7	60,7	2,0	-	-	59,70	-
E7+1CA	58,2	60,1	1,9	-0,5	-0,6	59,15	-0,55
E7+2CA	58,3	60,3	2,0	-0,4	-0,4	59,30	-0,40
E7+1,5DCA	57,8	60,1	2,3	-0,9	-0,6	58,95	-0,75
E7+1,8DCA	57,9	59,7	1,8	-0,8	-1,0	58,80	-0,90

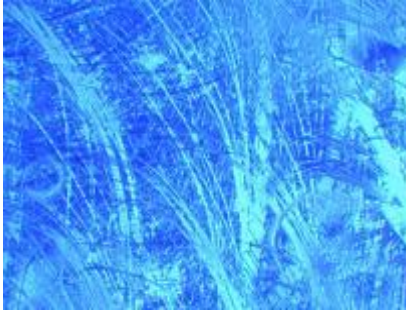
Çizelge 9.6. Boya ve karbon nanotüp katkı E7 sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları (°C)

	T_N	T_I	$T_I - T_N$	ΔT_N	ΔT_I	T_{NI}	ΔT_{NI}
E7	58,7	60,7	2,0	-	-	59,70	-
E7+1CA+CNT	58,2	60,3	2,1	-0,5	-0,40	59,25	-0,45
E7+2CA+CNT	58,3	60,3	2,0	-0,4	-0,40	59,30	-0,40
E7+1,5DCA+CNT	58,2	60,5	2,3	-0,5	-0,20	59,35	-0,35
E7+1,8DCA+CNT	57,8	59,9	2,1	-0,9	-0,80	58,85	-0,85

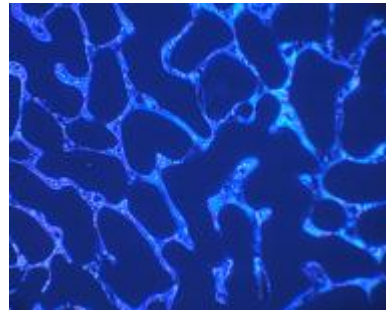
Elde edilen sonuçlardan nematik sıvı kristale boya ve nanotüp ilave etmenin mezofaz aralığını belirli ölçüde etkilediği ve saf sıvı kristalin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının artmasına ya da azalmasına sebep olduğu görülmüştür. Nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki değişimlerin; boya molekülünün şekline ve büyüklüğüne, sıvı kristal içerisindeki boya derişimine ve sıvı kristal ile boya molekülü arasındaki etkileşimlere bağlı olduğu bilinmektedir [Bauman ve Moryson, 1997]. Bu değişim negatif yönde olabileceği gibi pozitif yönde de olabilir. Yani ortalama nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki fark (ΔT_{NI}) artabilir veya azalabilir. $\Delta T_{NI} \geq -1,4$ °C olmak üzere kullanılacak tüm katkılar (boyarmadde,

nanotüp vb.) Y-H sistemleri için uygundur denilebilir [Martynski ve ark., 1994]. Bu yönüyle incelendiğinde kullanılan boyarmaddelerin tamamının ΔT_{NI} değerinin $-1,4^{\circ}\text{C}$ ' den daha küçük olmasından ötürü çok düşük aralıkta sebep oldukları bu değişimlerin nematik fazın kararlılığı üzerine olumsuz etkilerinin olmayacağı sonucuna varılmıştır [Grabchev ve ark., 2000, 2001 ve 2003].

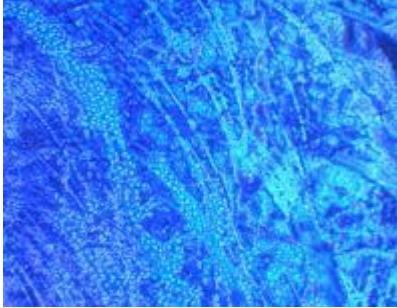
33 °C



59,3 °C



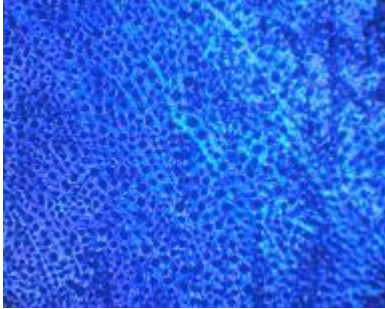
58,2 °C



60,1 °C



58,5 °C



40 °C



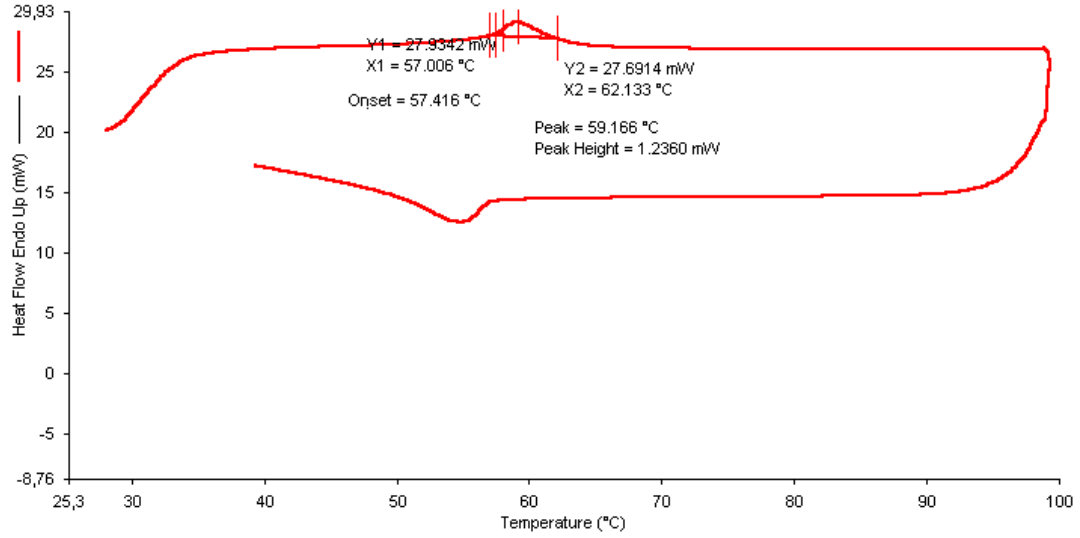
Resim 9.1. 1CA katkılı E7 sıvı kristaline ait farklı sıcaklıklardaki tekstürler

Polarize mikroskop ile yapılan tayinlerde faz geçiş sıcaklıklarının yanısıra tekstürler de elde edilmiştir. Nematik-izotropik faz geçişinin termal olarak tersinir olması sebebiyle katkılı ve katkısız tüm sıvı kristal karışımlar için polarize mikroskopta ısıtma ve soğutma işlemleri yapılarak, farklı sıcaklıklarda tekstürler elde edilmiştir [Duran ve ark., 2005]. Resim 9.1’ de sadece 1CA katkılı E7 sıvı kristaline ait farklı sıcaklıklarda alınan görüntüler verilmekte olup, diğer numunelere ait bazı tekstür örnekleri Ek-6’ da yer almaktadır. Bu görüntülerin tamamı incelendiğinde, tekstürlerin literatürdekiler ile benzer olduğu sonucuna ulaşılmıştır [Dierking, 2003].

9.4. Numunelerin Isıl Özellikleri

Hazırlanan boya/sıvı kristal ve boya/sıvı kristal/karbonnanotüp karışımlarının nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları polarize mikroskop ile belirlenmiştir. Ancak yapılan literatür araştırmalarından görölmektedir ki, numunelerin ısıl özelliklerinin belirlenmesi amacıyla DSC analizleri de yapılmaktadır [Duran ve ark., 2005; Lebovka ve ark., 2008]. Bu nedenle deneysel çalışmaların bu aşamasında katkısız ve katkılı sıvı kristallerin faz geçiş sıcaklıkları DSC cihazı ile belirlenerek, polarize mikroskop ile bulunan sonuçlarla tutarlılığı karşılaştırılmıştır.

Literatürde ısıl özelliklerin DSC ile belirlendiği çalışmalarda 10°C/dak [Hattori ve Uryu, 1999] ve 5°C/dak [Ghanadzadeh ve Beevers, 2001] gibi farklı tarama hızları göze çarpmaktadır. Yapılan çalışmada ise 30-100°C sıcaklık aralığında 10°C/dakika ısıtma hızı ile analizler gerçekleştirilmiştir. E7/1CA sıvı kristal karışımına ait DSC termogramı Şekil 9.1’ de verilmiş olup, diğer numunelere ve saf sıvı kristallere ait termogramlar Ek-7’ de yer almaktadır.



Şekil 9.1. 1CA katkılı E7 sıvı kristal karışımına ait DSC termogramı

Numunelere ait nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları (T_{NI}) ve ilave edilen boya karışımları ile nanotüpün sıvı kristalin faz geçiş sıcaklığını olumsuz etkileyip etkilemediği bu termogramlar üzerindeki pik değerlerinden belirlenmiştir. Çizelge 9.7’ de DSC analizlerinin sonuçları verilmektedir.

Çizelge 9.7 incelendiğinde, tüm numunelerde ilave edilen katkıların sıvı kristalin faz geçiş sıcaklığını çok az miktarda düşürdüğü, ancak bu değişim kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğundan önemli etkilerinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu yönüyle DSC ile bulunan sonuçların polarize mikroskop ile belirlenen sonuçlarla tutarlı olduğu görülmüştür.

Özellikle boya katkılı sıvı kristal karışımlara karbon nanotüp ilave etmenin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığında artışa sebep olduğu DSC verilerinin tamamına yakınından görülebilmektedir. Bu etki muhtemelen CNT ile SK molekülleri arasındaki kuvvetli etkileşimlerle ve nanotüp katkısız hale göre moleküler yönelim açısından daha düzenli bir yapının oluşması ile açıklanabilir [Lebovka ve ark., 2008].

Çizelge 9.7. Boyarmadde ve karbon nanotüp katkılı numunelerin DSC analiz sonuçları

	T_{NI} (°C)	ΔT_{NI} (°C)	ΔH (J/g)
E7	59,70	-	1,9609
ZLI-1132	73,75	-	2,9744
E7+1CA	59,15	-0,55	1,2487
E7+2CA	59,30	-0,40	1,5759
E7+1,5DCA	58,95	-0,75	1,2566
E7+1,8DCA	58,80	-0,90	1,9765
E7+(1CA+SWCNT)	59,25	-0,55	1,7862
E7+(2CA+SWCNT)	59,30	-0,40	2,1751
E7+(1,5DCA+SWCNT)	59,35	-0,35	2,3245
E7+(1,8DCA+SWCNT)	58,85	-0,85	2,7791
ZLI1132+1CA	73,40	-0,35	1,9122
ZLI1132+2CA	73,25	-0,50	2,7123
ZLI1132+1,5DCA	73,45	-0,30	2,7466
ZLI1132+1,8DCA	72,90	-0,85	3,9233
ZLI1132+(1CA+SWCNT)	73,45	-0,30	2,0311
ZLI1132+(2CA+SWCNT)	73,30	-0,45	2,2712
ZLI1132+(1,5DCA+SWCNT)	73,40	-0,35	3,1614
ZLI1132+(1,8DCA+SWCNT)	73,45	-0,30	3,0531

Ayrıca DSC analizleri ile nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıklarının dışında bu faz geçişi sırasında gerçekleşen entalpi değişimi de belirlenmiştir. Bu küçük entalpik değişimlerin, sıvı kristallerin yapısal özelliklerine (uç alkil zincirlerinin uzunluğu vb.) ve nematik fazdaki moleküler düzene bağlı olarak değişim gösterdiği söylenebilir [Galyametdinov ve ark., 2008].

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sıvı kristallerin ekran yapısında kullanımı sürekli geliştirilmekte olup, günümüzde kameralar, televizyonlar ve monitör ekranları gibi birçok sahada kullanım alanı bulmaktadır.

Boyarmadde ile sıvı kristali renklendirerek oluşturulan sistemler yolcu-hancı veya kısaca Y-H sistemleri diye bilinmekte ve pek çok avantaja sahip olmaları sebebiyle tercih edilmektedirler. Bu sistemlerde hancı nematik sıvı kristal olup, yolcu olarak boyarmadde bulunmaktadır. Kullanım alanları giderek artan Y-H tipi sistemlerde sıvı kristalin yanında bir veya daha fazla sayıda boyarmadde bulunmaktadır. Bu amaçla, çok farklı yapılardaki değişik boyarmaddeler çalışılmış ve çalışılmaktadır. 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. Pratikte uygulanabilirlik açısından Y-H sistemlerinde kullanılması düşünülen bir boyarmaddenin öncelikle yüksek düzenlilik parametresi, yüksek kararlılık ve çözünürlük, iyonik olmama gibi şartları sağlaması gerekmektedir.

Bu yüksek lisans tezi çalışması kapsamında bazı kloro antrakinin yapıları boyarmaddelerinin Y-H sistemlerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda, kullanılan boyarmaddelerin; sıvı kristal içerisinde çözündükten sonra yapıyı ve sıvı kristal sıcaklık aralığını değiştirip değiştirmediği, sıvı kristal içerisindeki çözünürlüklerinin iyi bir kontrast oranı için yeterli olup olmadığı, düzenlilik parametre değerinin yüksek olup olmadığı ve analiz sonuçları birlikte değerlendirilerek sıvı kristalleri renklendirmede kullanılıp kullanılamayacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca sıvı kristal-boya karışımlarının nanotüp ile katkılandırılması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında boyarmaddelerin iki farklı sıvı kristal içerisindeki çözünürlükleri spektrofotometrik yöntemle tayin edilmiştir. Bu aşamanın ardından

boyarmaddelerin düzen parametre değerleri (S) belirlenmiştir. Bu işlemler sıvı kristal numunelere tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT) eklenerek tekrar edilmiştir.

Çalışmaların devamında sıvı kristal/boya ve sıvı kristal/boya/nanotüp karışımlarının nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları polarize mikroskop ile belirlenmiş ve çalışılan sıcaklık aralığında numunelerin tekstürleri elde edilmiştir. Aynı numunelerin termal özellikleri DSC cihazı yardımı ile de belirlenmiştir. Bulunan sonuçların polarize mikroskop ile belirlenen sonuçlarla tutarlılığı tartışılmıştır.

Çözünürlük boyarmaddelerin yapısına, nematik yapıdaki alkil ya da alkoksi grubunun oranına ve konformasyonel değişimine, sıvı kristal ile boyarmadde arasındaki kimyasal yapı benzerliğine, moleküllerin polaritesine ve yapılarındaki fonksiyonel grupların türü, sayısı ve pozisyonuna bağlı olarak değişmektedir. Sonuç itibariyle etki eden tüm faktörler göz önünde tutularak çözünürlük değerleri incelendiğinde, çalışılan birçok boyarmaddenin Y-H sistemlerinde kullanılabilmesi için yeterli çözünürlüğe sahip olduğu görülmektedir. Düşük çözünürlüğe sahip olan boyarmaddeler ise Y-H tipi göstergeler için uygun olmasa da holografik ve benzeri bazı çalışmalarda kullanılabilir.

Y-H tipi sıvı kristal gösterge sistemlerinde, aygıtların kalite ve performans ölçütü olarak öncelikle düzen parametresi değerleri göz önüne alınmaktadır. Boyarmaddenin yapısına bağlı olarak ve sıvı kristal molekülü ile etkileşimine göre düzen parametre değerleri değişmektedir. Bu doğrultuda deneysel çalışmalar sonucu belirlenen düzen parametre değerleri incelenirken, sonuçlar tek bir nedene dayandırılarak yorumlanmamış; etki edebilecek pek çok faktör göz önünde bulundurulmuştur.

Katkılı sıvı kristal sistemler ise değişik teknolojik uygulamalara imkân vermeleri sebebiyle son zamanlarda en çok araştırılan konulardan biri olmuştur. Karbon nano parçacıkların katılmasıyla sıvı kristallerin fotorefraktif, holografik, elektro-optik ve yeniden yönlendirme gibi lineer olmayan özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Özellikle dayanımları, iletkenlikleri, esnek bir yapıya ve kendilerine özgü elektriksel

karakteristiklere sahip olmaları sebebiyle karbon nanotüpler sıvı kristallerde önemli bir katkı maddesi olmuştur. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmalarda ilave edilen karbon nanotüp moleküllerin aynı yöne yönelmesinde olumlu etki göstermiş olup, katkısız hale göre düzen parametre değerlerinde artışa sebep olmuştur.

Polarize mikroskop ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre nematik sıvı kristale boya ve nanotüp ilave etmenin mezofaz aralığını belirli ölçüde etkilediği ve katkısız sıvı kristalin nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının artmasına ya da azalmasına sebep olduğu görülmektedir. Nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığındaki değişimlerin; boya molekülünün şekline ve büyüklüğüne, sıvı kristal içerisindeki boya derişimine ve sıvı kristal ile boya molekülü arasındaki etkileşime bağlı olduğu bilinmektedir. Bu değişim negatif yönde olabileceği gibi pozitif yönde de olabilmektedir. Deneysel sonuçlar boyarmaddelerin tamamının çok düşük aralıkta sebep oldukları değişimler sebebiyle nematik fazın kararlılığı üzerine önemli boyutta olumsuz etki etmediklerini göstermiştir

Numunelerin ısı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla polarize mikroskop dışında DSC analizleri de yapılmış olup, elde edilen DSC termogramları, sonuçların polarize mikroskop verileri ile tutarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca DSC analizleri ile nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıklarının dışında bu faz geçişi sırasında gerçekleşen entalpi değişimleri de belirlenmiştir. Bu küçük entalpik değişimlerin, sıvı kristallerin yapısal özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiği literatürden bilindiği gibi deneysel sonuçlardan da görülmektedir.

Bu çalışmanın farklı kalınlıklardaki sıvı kristal hücrelerle tekrarlanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca farklı sıcaklıklarda çalışılarak düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi incelenebilir. Bunlara ek olarak bu boyarmaddeler negatif dielektrik anizotropiye sahip bir sıvı kristalde de çalışılabilir.

KAYNAKLAR

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).

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, 6-31 (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).

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

Bagheri, M., Entezami, A. and Ghanadzadeh, A., “Synthesis and Guest-Host interaction of liquid crystal like materials”, **Journal of Molecular Liquids**, 94(3): 249-259 (2001).

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

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

Basturk, N., Cognard, J. and Phan, T. H., “Ester-substituted anthraquinone dyes soluble in nematic liquid crystal”, **Mol. Cryst. Liq. Cryst**, 95: 71-89 (1983).

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).

Burghard M., “Electronic and vibrational properties of chemically modified single-wall carbon nanotubes”, **Surface Science Reports**, 58: 1-109 (2005).

Celebre, G. and De Luca, G., “The orientational behaviour of 1, 4-difluorobenzene and p-benzoquinone in ZLI-1132 and EBBA nematic solvents”, **Chemical Physics Letters**, 368: 359-364 (2003).

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).

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

Dierking, I. , Scalia, G. and Morales, P., “Liquid crystal - carbon nanotube dispersions”, **Journal of Applied Physics**, 97: 044309 (1-5) (2005).

Dierking, I. and San, S.E., “Magnetically steered liquid crystal-nanotube switch”, **Applied Physics Letters**, 87(23):233507 (1-3) (2005).

Dierking, I., Scalia, G., Morales, P. and LeClere, D., “Aligning and reorienting carbon nanotubes by nematic liquid crystals”, **Advanced Materials**, 16(11): 865-869 (2004).

Duran, H., Gazdecki, B., Yamashita, A. and Kyu, T., “Effect of carbon nanotubes on phase transitions of nematic liquid crystals”, **Liquid crystals**, 32(7): 815-821 (2005).

Emek, M., “Faz dönüşümlerinin nematik sıvı kristallerin elektrooptik 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, 3-67 (2006).

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

Galyametdinov, Y.G., Knyazev, A.A., Dzhabarov, V.I., Cardinaels, T., Driesen, K., Görller-Walrand, C. and Binnemans, K., “Polarized luminescence from aligned samples of nematogenic lanthanide complexes”, **Advanced Materials**, 20(2): 252-257 (2008).

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

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).

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).

Ghosh, S. and Carlisle, G. O., "Carbon nanotube enhanced diffraction efficiency in dye-doped liquid crystal", ***Journal of Materials Science: Materials in Electronics***, 16(11-12): 753-759 (2005).

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., 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., 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", ***Mol. Cryst. Liq. Cryst.***, 148: 15-27 (1987).

Hattori, H. and Uryu, T., "Synthesis and characterization of polymerizable photochromic liquid crystals containing a spiro-oxazine group", ***Liquid Crystals***, 26(7): 1085-1095 (1999).

Heilmeyer, G. H. and Zanoni, L. A., "Guest-host interactions in nematic liquid crystals. A new electro-optic effect", ***Applied Physics Letters***, 13(3): 91-92 (1968).

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

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

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

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).

Internet: Drexler "Advanced Productive Nanosystems"
<http://www.e-drexler.com> (2006).

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

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).

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).

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 2nd ed.", **John Wiley & Sons**, New Jersey, 1-62 (2007).

Kissinger, D.M., "Investigation of the photorefractivity of carbon nanotube doped nematic liquid crystal", **NSF EE REU Penn State Univ. Annual Research Journal**, 1:112-116 (2003).

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, 1-66 (2007).

Köysal, O., Okutan, M., San, S. E., Dabrowski, R. and Ecevit, F. N., “Molecular orientation and photorefractive effects in single-wall carbon nanotubes doped nitrile-ester mixture liquid crystals”, **Materials Chemistry and Physics**, 109(2-3): 253-256 (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).

Köysal, O. and San, S. E., “Effect on response time and diffraction efficiency of co-usage azo dye and carbon nanoparticle in nematic liquid crystal”, **Synthetic Metals**, 158: 527-531 (2008).

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

Lebovka, N., Dadakova, T., Lysetskiy, L., Melezhyk, O., Puchkovska, G., Gavrillo, T., Baran, J. and Drozd, M., “Phase transitions, intermolecular interactions and electrical conductivity behavior in carbon multiwalled nanotubes/nematic liquid crystal composites”, **Journal of Molecular Structure**, 887: 135-143 (2008).

Lee, W. and Shih, Y.C., “Effects of carbon-nanotube doping on the performance of a TN-LCD”, **Journal of the Society for Information Display**, 13(9): 743-747 (2005).

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

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).

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

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

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

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

Park, C., Ounaies, Z., Watson, K. A., Crooks, R. E., Smith, J., Lowther, S. E., Connell, J. W., Siochi, E. J., Harrison, J. S. and Clair, T. L., “Dispersion of single wall carbon nanotubes by in situ polymerization under sonication”, **Chem.Phys.Lett.**, 364(3-4): 303-308 (2002).

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”, **Mol. Cryst. Liq. Cryst.**, 59: 299-316 (1980).

Russell, J. M., Oh, S., Larue, I., Zhou, O. and Samulski, E. T., “Alignment of nematic liquid crystals using carbon nanotube films”, **Thin Solid Films**, 509: 53-57 (2006).

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., Köysal, O. and Okutan, M., “Molecular reorientation based diffraction in dihydropyridin doped nematic liquid crystal film”, **Dyes and Pigments**, 63(3): 239-242 (2004).

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

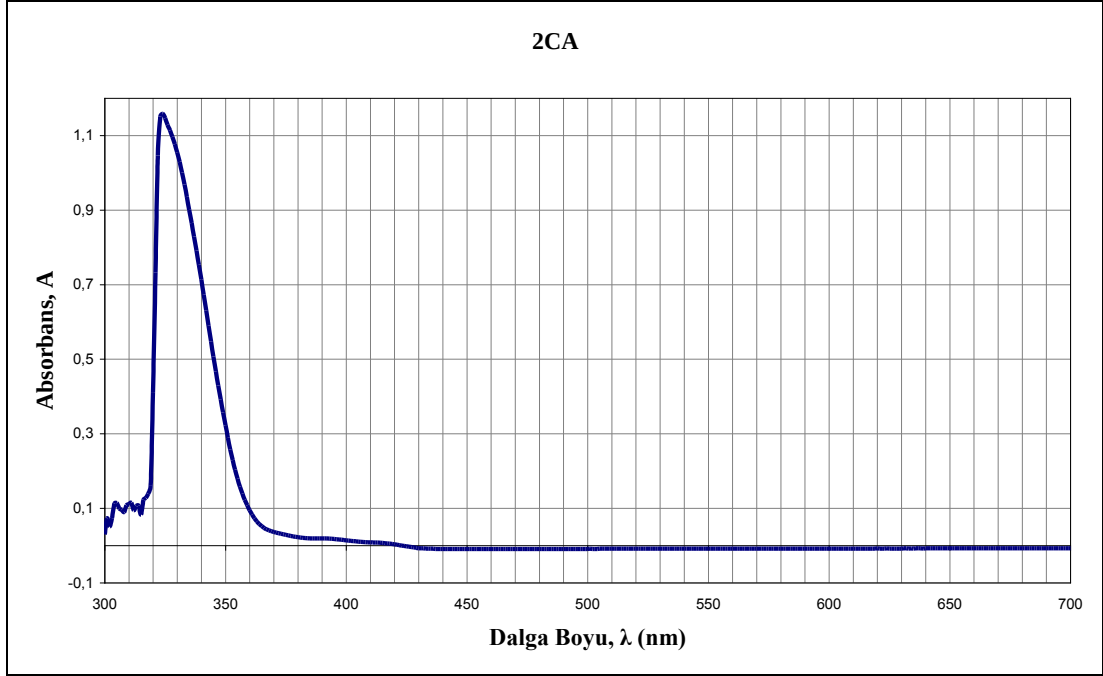
San, S. E., Okutan, M., Köysal, O. and Ono, H., “Dielectric properties of laser-induced conditions in a hybrid composite made by doping a side chain liquid crystalline polymer”, **Journal of Non-Crystalline Solids**, 351(33-36): 2764-2767 (2005).

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).

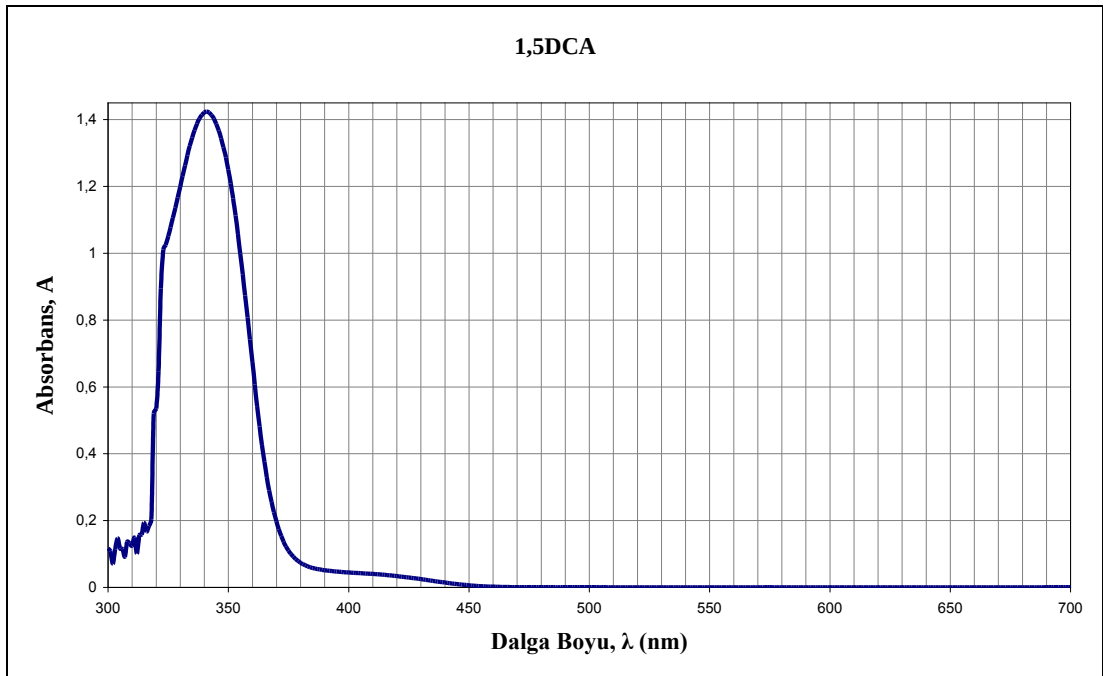
- Tan, A., “Poli (etilen tereftalat) ile doğrusal aromatik yapıda üç farklı monomerden türetilmiş termotropik sıvı kristal kopoliesterlerin sentezi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 18-21 (2005).
- Tantekin, T., “Malatya tekstil fabrikalarında kullanılan çeşitli boyaların atık kayısından elde edilen aktif karbon ile adsorpsiyonunun incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, 2-12 (2006).
- Thote, A. and Gupta, R.B., “Hydrogen-bonding between a dichroic dye and a liquid crystal-forming molecule, for application to LCDs”, *Fluid Phase Equilibria*, 220: 47-55 (2004).
- Tutak, M., “Reaktif tekstil boyalarında alternatif reaktif grupların denenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-30 (2006).
- Wang, X.-J. and Zhou, Q.-F., “Liquid Crystalline Polymers 1st ed.”, *World Scientific*, Singapore, 1-3 (2002).
- 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).
- Wolarz, E., Moryson, H., Bauman, D., “Dichroic fluorescent dyes for 'guest-host' liquid crystal displays”, *Displays*, 13(4): 171-178 (1992).
- Wu, S.-T., “Birefringence dispersions of liquid crystals”, *Physical Review A*, 33(2): 1270-1274 (1986).
- Wu, S. T. and Yang, D. K., “Reflective Liquid Crystal Displays”, Lowe, A. C., *New York*, 125-148 (2001).
- Yang, D.-K. and Wu, S.-T., “Fundamentals of Liquid Crystal Devices 1st ed.”, *John Wiley & Sons*, England, 2-22, 201-203 (2006).
- Yilmaz, S., “Optical properties of some mixed nematic liquid crystals in electric field”, *Materials Chemistry and Physics*, 110: 140-144 (2008).

EKLER

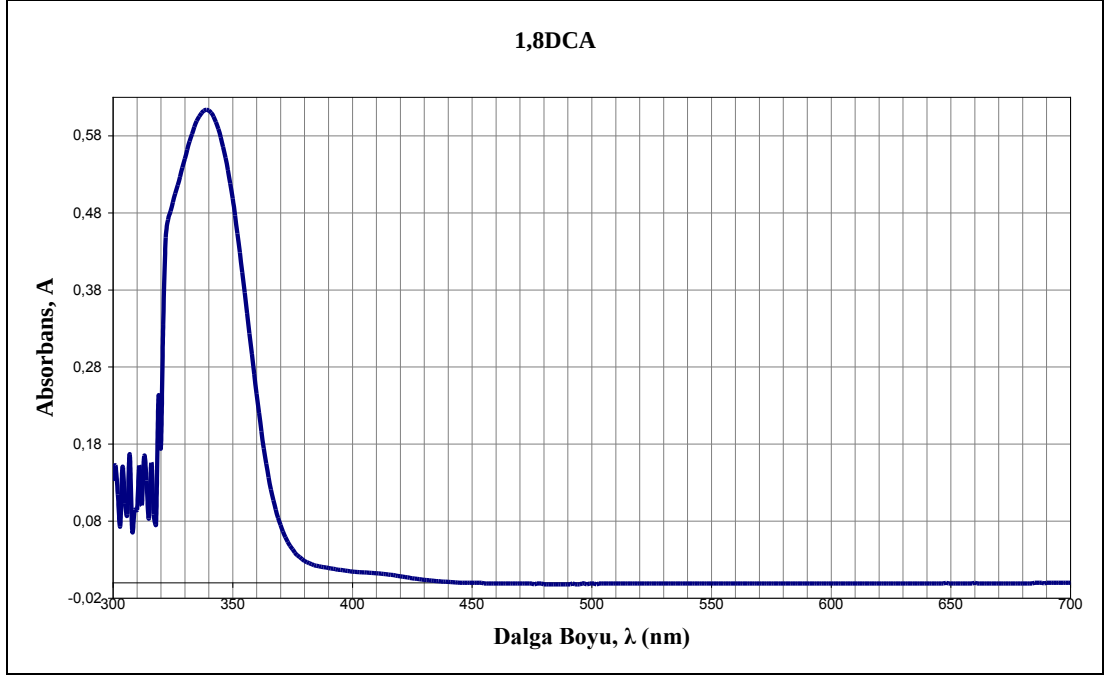
EK-1 Boyarmaddelerin absorbans (A)-dalga boyu (λ) grafikleri



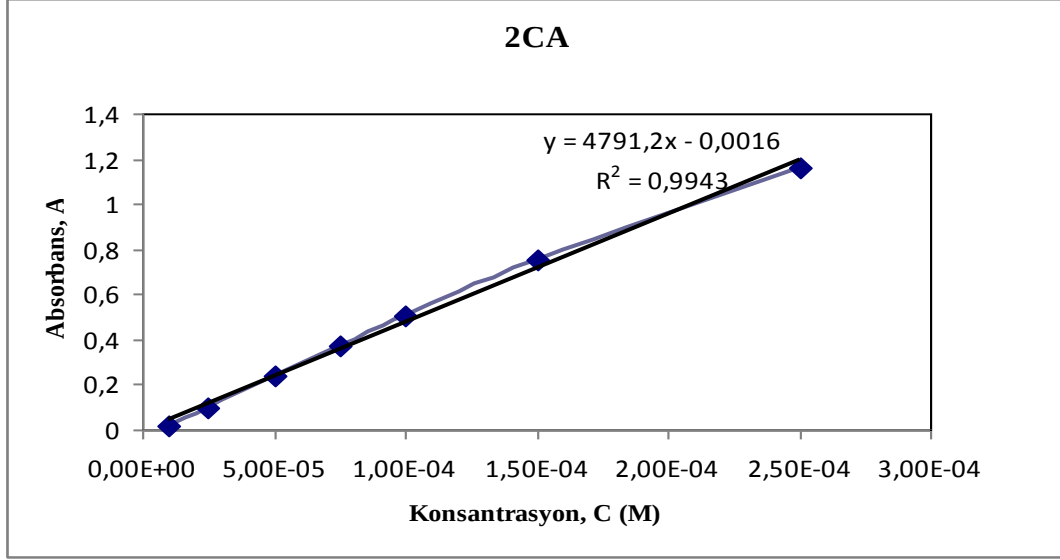
Şekil 1.1. Aseton içinde çözülmüş 2CA boyarmaddesine ait A- λ grafiği



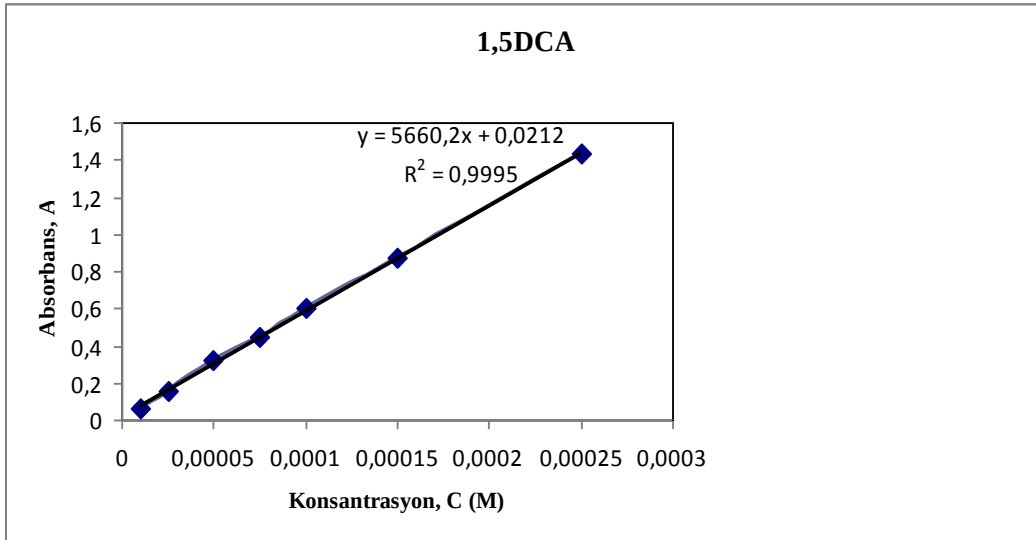
Şekil 1.2. Aseton içinde çözülmüş 1,5DCA boyarmaddesine ait A- λ grafiği

EK-1 (Devam) Boyarmaddelerin absorbans (A)-dalga boyu (λ) grafikleriŞekil 1.3. Aseton içinde çözülmüş 1,8DCA boyarmaddesine ait A- λ grafiği

EK-2 Boyarmaddelerin kalibrasyon grafikleri

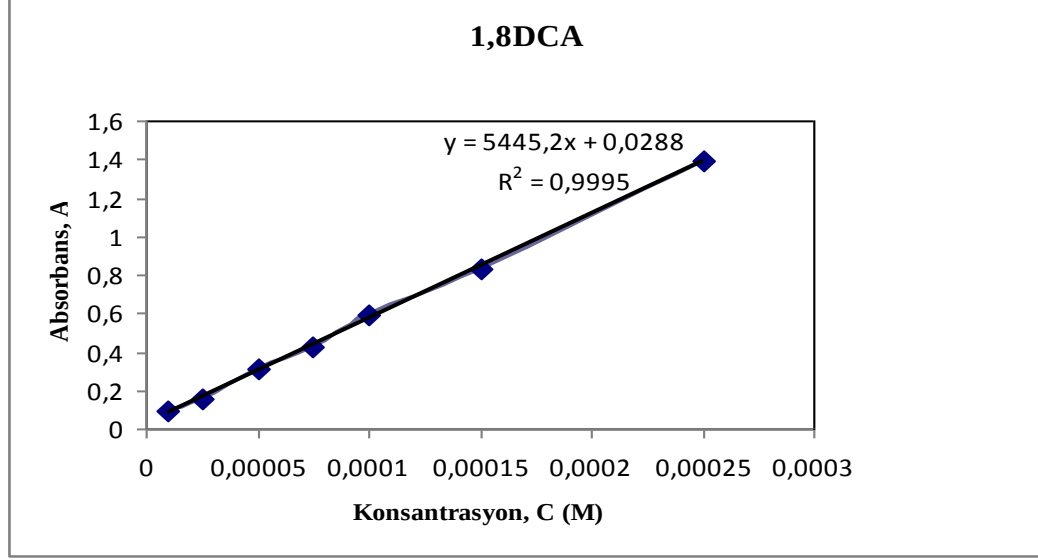


Şekil 2.1. Aseton içinde çözünmüş 2CA boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği



Şekil 2.2. Aseton içinde çözünmüş 1,5DCA boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği

EK-2 (Devam) Boyarmaddelerin kalibrasyon grafikleri



Şekil 2.3. Aseton içinde çözülmüş 1,8DCA boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği

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

Çözünürlük tayini için örnek hesaplama:

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

1CA' nın E7 sıvı kristali içerisindeki çözünürlük yüzdesinin belirlenmesi;

Seyreltik çözelti için okunan absorbans değeri: 0,1043 → **C:1,189×10⁻⁵ M**
(Kalibrasyon grafiğinden okunan değer)

Kullanılan çözücü miktarı: 100 mL

Seyreltme oranı: 1/40

1CA' in molar kütlesi: 242,66 g/mol

$$40/1 * (1,189 * 10^{-5} \text{ mol} / 1\text{L}) * (242,66 \text{ g} / 1 \text{ mol}) * (1\text{L} / 1000 \text{ mL}) * 100 \text{ mL} = 0,01154 \text{ g}$$

Çözünmeden kalan boyarmadde miktarı: 0,01154 g

Başlangıçtaki boyarmadde miktarı: 0,03860 g

Çözünen Boyarmadde miktarı: 0,03860 – 0,01154 = 0,02706 g

Sıvı Kristal miktarı: 0,7720 g

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

$$\text{Çözünürlük: } 0,0271 / (0,0271 + 0,7720) = 0,0339$$

Çalışma şartları:

$\lambda_{\text{max.}} = 332 \text{ nm}$

Çözücü: Aseton

T= 22 °C

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

Çizelge 3.1. 2CA için ayrıntılı deney verileri ve çözünürlük değerleri

SK	Sey. Oranı	Çözücü Miktarı (mL)	Başlangıçtaki Boyarmadde Miktarı (g)	Seyreltik Çözelti İçin Absorbans	Çözünen Boyarmadde Miktarı (g)	Çözünürlük (%)
E7	1/20	100	0,04900	0,3440	0,01401	1,41
ZLI-1132	1/20	100	0,04040	0,3510	0,00480	0,59

Çalışma şartları:

$\lambda_{\max.} = 341 \text{ nm}$

Çözücü: Aseton

T= 22 °C

Çizelge 3.2. 1,5DCA için ayrıntılı deney verileri ve çözünürlük değerleri

SK	Sey. Oranı	Çözücü Miktarı (mL)	Başlangıçtaki Boyarmadde Miktarı (g)	Seyreltik Çözelti İçin Absorbans	Çözünen Boyarmadde Miktarı (g)	Çözünürlük (%)
E7	1/40	100	0,04260	0,2152	0,00460	0,54
ZLI-1132	1/40	100	0,04920	0,2660	0,00130	0,13

Çalışma şartları:

$\lambda_{\max.} = 339 \text{ nm}$

Çözücü: Aseton

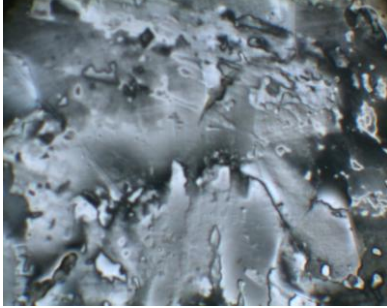
T= 22 °C

Çizelge 3.3. 1,8DCA için ayrıntılı deney verileri ve çözünürlük değerleri

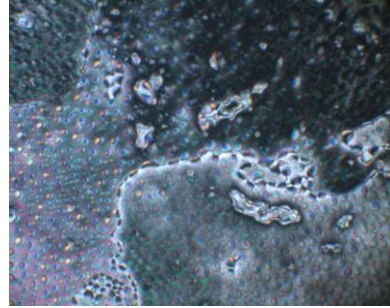
SK	Sey. Oranı	Çözücü Miktarı (mL)	Başlangıçtaki Boyarmadde Miktarı (g)	Seyreltik Çözelti İçin Absorbans	Çözünen Boyarmadde Miktarı (g)	Çözünürlük (%)
E7	1/40	100	0,05510	0,2595	0,00810	0,73
ZLI-1132	1/40	100	0,04220	0,2311	0,00120	0,14

EK-4 Katkısız sıvı kristallere ait tekstürler

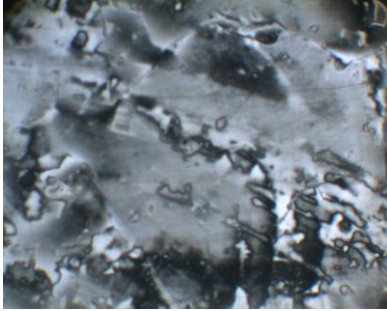
25 °C



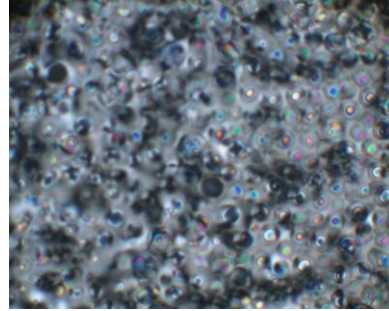
58,9 °C



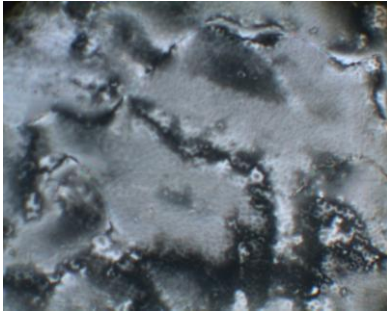
55 °C



60 °C



58,7 °C



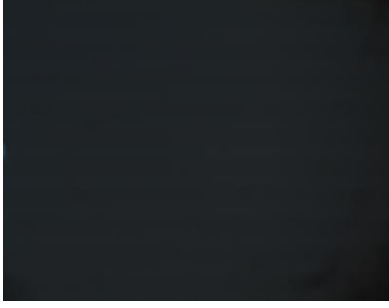
60,7 °C



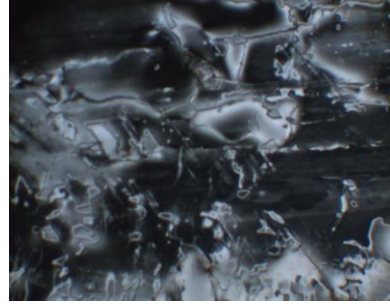
Resim 4.1. Nematik-izotropik faz geçişi sırasında E7 sıvı kristaline ait tekstürler

EK-4 (Devam) Katkısız sıvı kristallere ait tekstürler

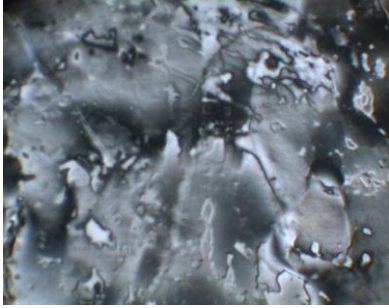
60,7 °C



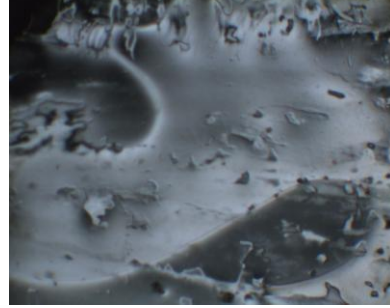
-20 °C



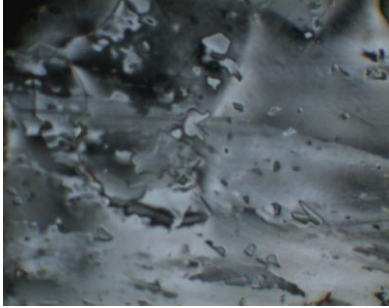
30 °C



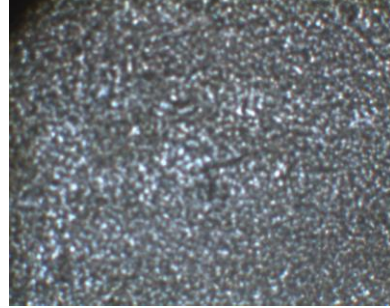
-30 °C



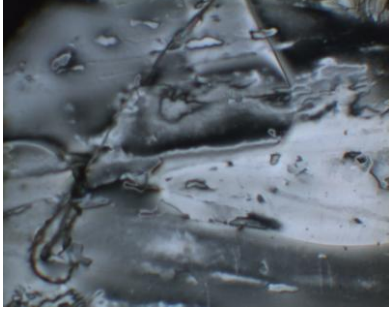
0 °C



-42 °C



-10 °C



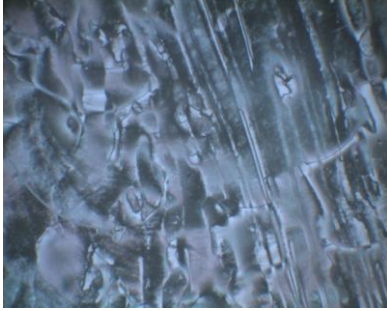
20 °C



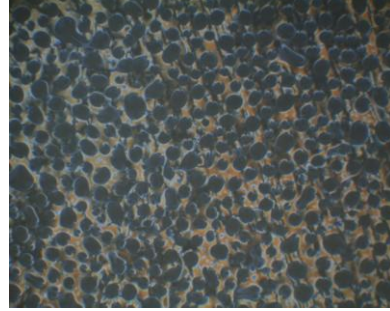
Resim 4.2. Nematik fazın kararlılığını koruduğu sıcaklık aralığında, soğutma ve ısıtma işlemleri sırasında E7 sıvı kristaline ait tekstürler

EK-4 (Devam) Katkısız sıvı kristallere ait tekstürler

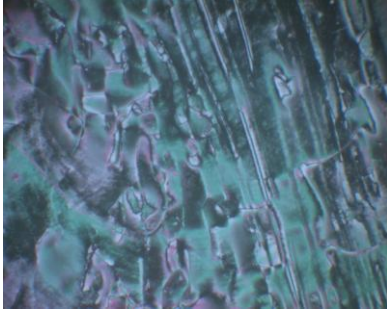
30 °C



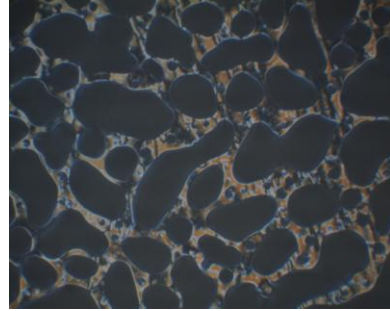
73 °C



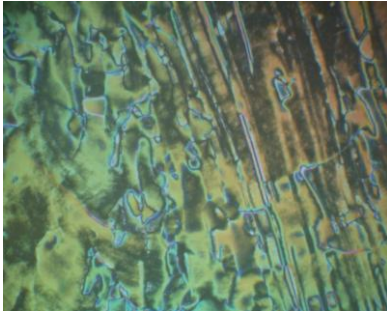
45 °C



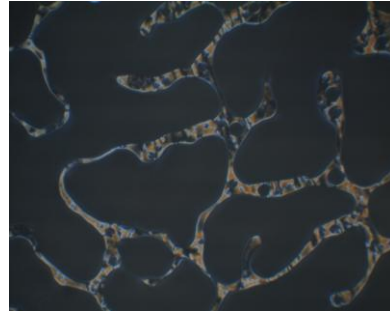
73,8 °C



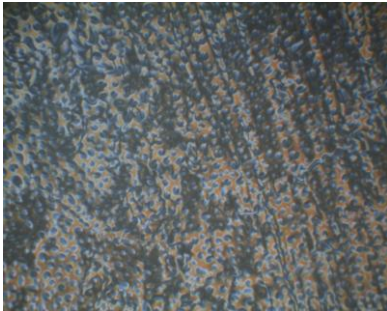
70 °C



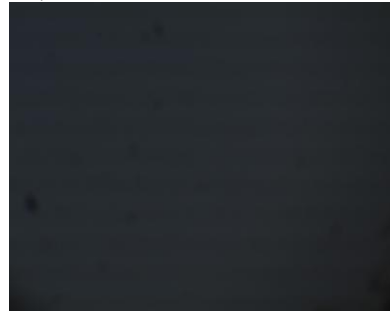
74,6 °C



72 °C



75,5 °C



Resim 4.3. Nematik-izotropik faz geçişi sırasında ZLI-1132 sıvı kristaline ait tekstürler

EK-5 ZLI-1132 Numunelerine ait nematik-izotropik faz geçiş sıcaklıkları

Çizelge 5.1. Boya katkılı ZLI-1132 sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları (°C)

	T_N	T_I	$T_I - T_N$	ΔT_N	ΔT_I	T_{NI}	ΔT_{NI}
ZLI-1132	72,0	75,5	3,5	-	-	73,75	-
ZLI-1132+1CA	71,8	75,0	3,2	-0,2	-0,5	73,40	-0,35
ZLI-1132+2CA	71,6	74,9	3,3	-0,4	-0,6	73,25	-0,50
ZLI-1132+1,5DCA	71,4	75,5	4,1	-0,6	0,0	73,45	-0,30
ZLI-1132+1,8DCA	71,0	74,8	3,8	-1,0	-0,7	72,90	-0,85

Çizelge 5.2. Boya ve karbon nanotüp katkılı ZLI-1132 sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları (°C)

	T_N	T_I	$T_I - T_N$	ΔT_N	ΔT_I	T_{NI}	ΔT_{NI}
ZLI-1132	72,0	75,5	3,5	-	-	73,75	-
ZLI-1132+1CA+CNT	71,5	75,4	3,9	-0,5	-0,1	73,45	-0,30
ZLI-1132+2CA+CNT	71,6	75,0	3,4	-0,4	-0,5	73,30	-0,45
ZLI-1132+1,5DCA+CNT	71,4	75,4	4,0	-0,6	-0,1	73,40	-0,35
ZLI-1132+1,8DCA+CNT	71,8	75,1	3,3	-0,2	-0,4	73,45	-0,30

EK-6 Katkılı sıvı kristallere ait tekstür örnekleri

33 °C



59,1 °C



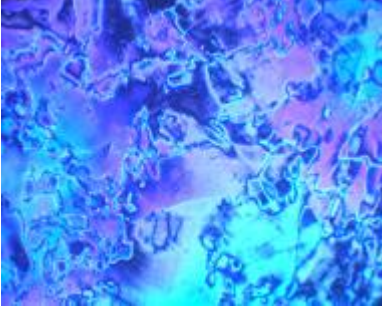
56,0 °C



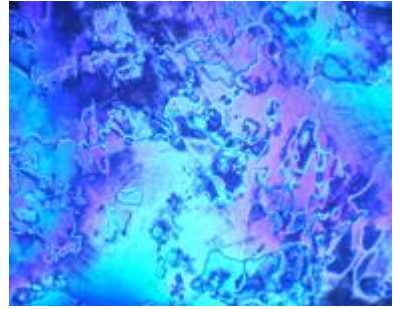
60,3 °C



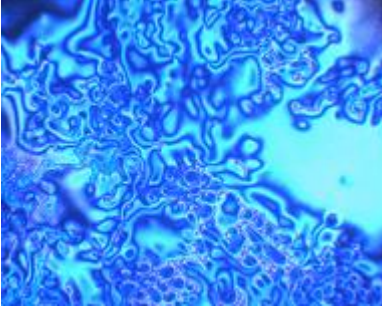
57 °C



35 °C



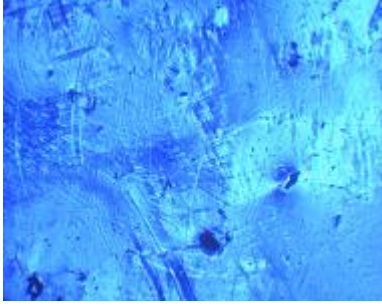
58,7 °C



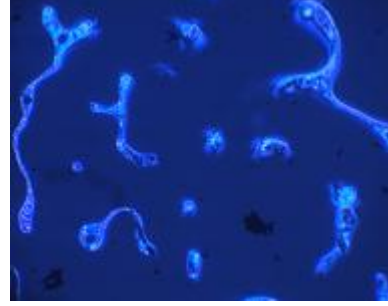
Resim 6.1. Nematik-izotropik faz geçişi sırasında E7/2CA karışımına ait tekstürler

EK-6 (Devam) Katkılı sıvı kristallere ait tekstür örnekleri

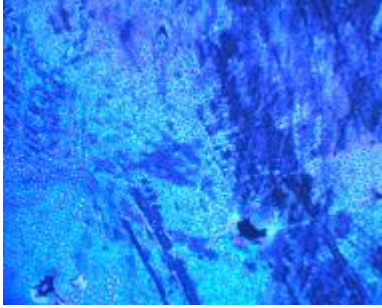
30 °C



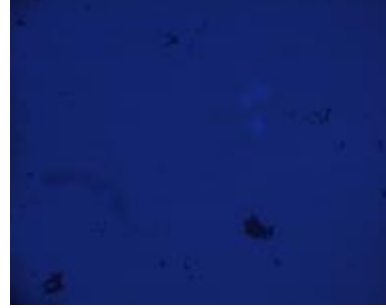
59,7 °C



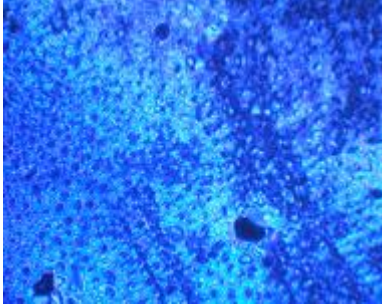
58,2 °C



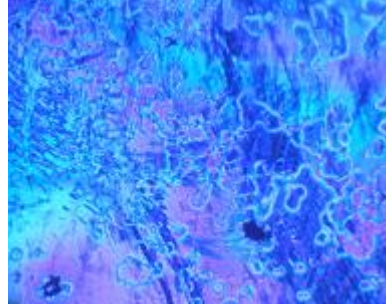
60,3 °C



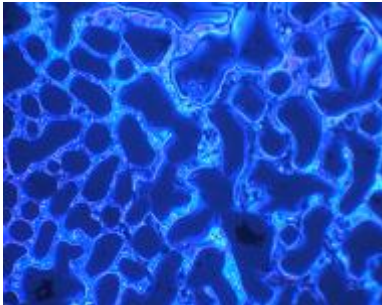
58,5 °C



50,0 °C



59,0 °C



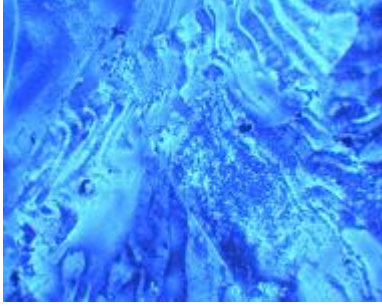
45 °C



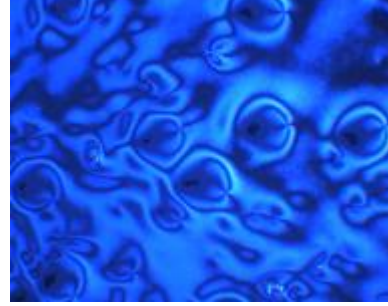
Resim 6.2. Nematik-izotropik faz geçişi sırasında E7/1CA/SWCNT karışımına ait tekstürler

EK-6 (Devam) Katkılı sıvı kristallere ait tekstür örnekleri

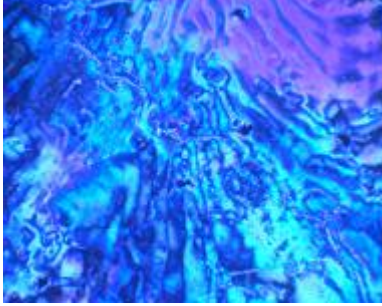
35 °C



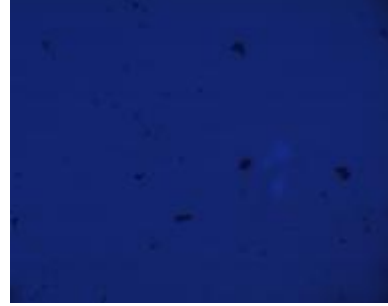
59,5 °C



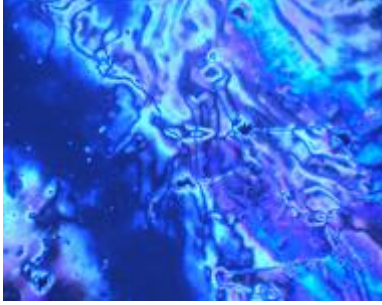
58,2 °C



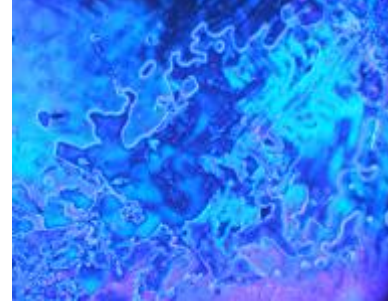
60,2 °C



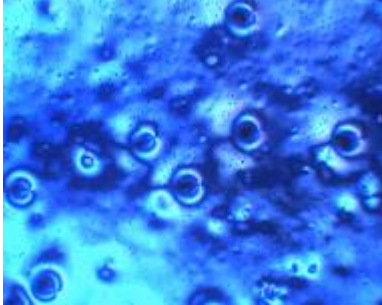
58,3 °C



35 °C



59,0 °C



Resim 6.3. Nematik-izotropik faz geçişi sırasında E7/2CA/ SWCNT karışımına ait tekstürler

EK-6 (Devam) Katkılı sıvı kristallere ait tekstür örnekleri

30 °C



75,5 °C



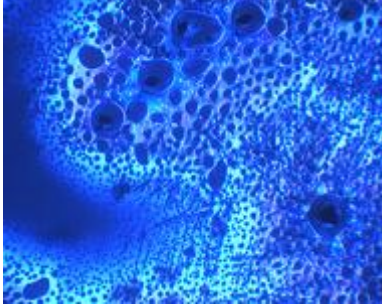
71,4 °C



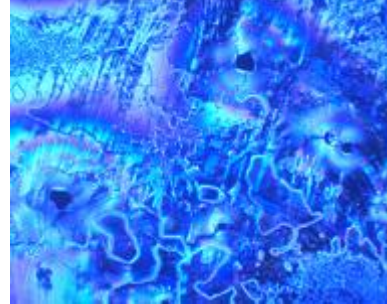
40 °C



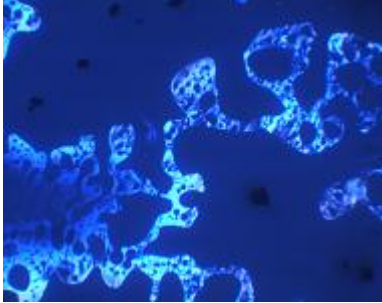
72 °C



30 °C



73,5 °C



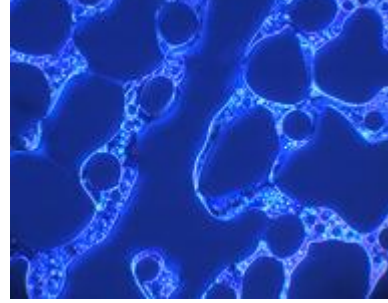
Resim 6.4. Nematik-izotropik faz geçişi sırasında ZLI1132/1,5DCA karışımına ait tekstürler

EK-6 (Devam) Katkılı sıvı kristallere ait tekstür örnekleri

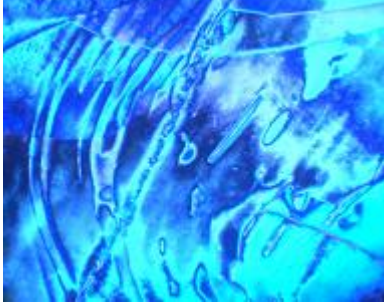
26 °C



73,5 °C



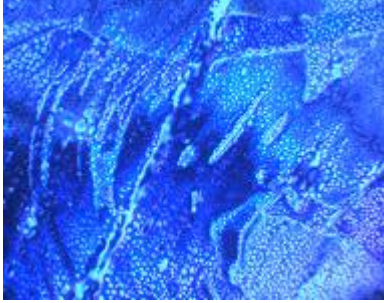
70 °C



75 °C



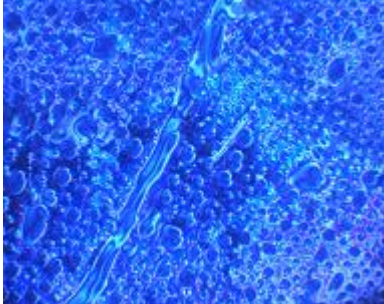
71,8 °C



30 °C

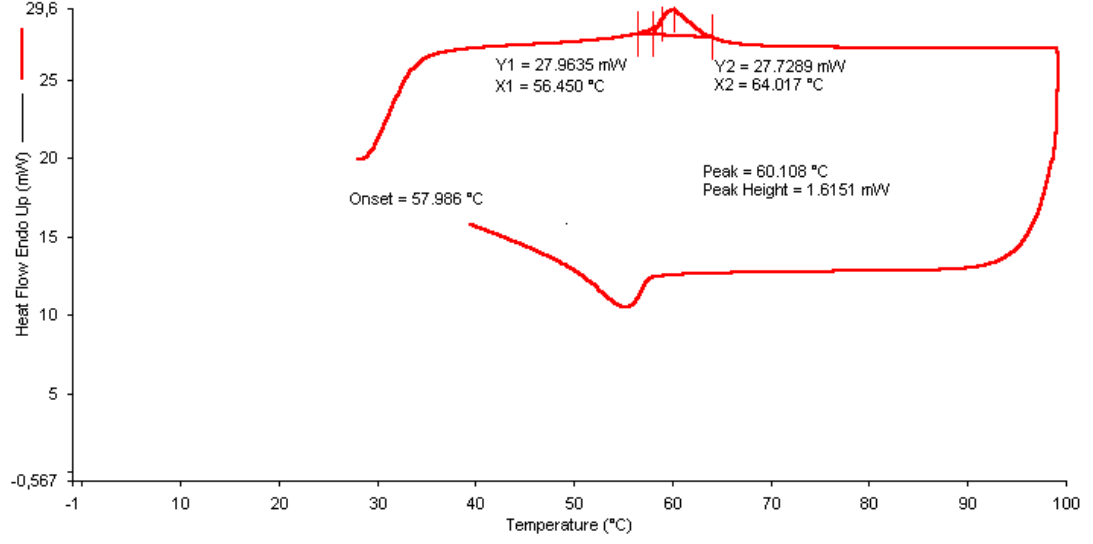


73,5 °C

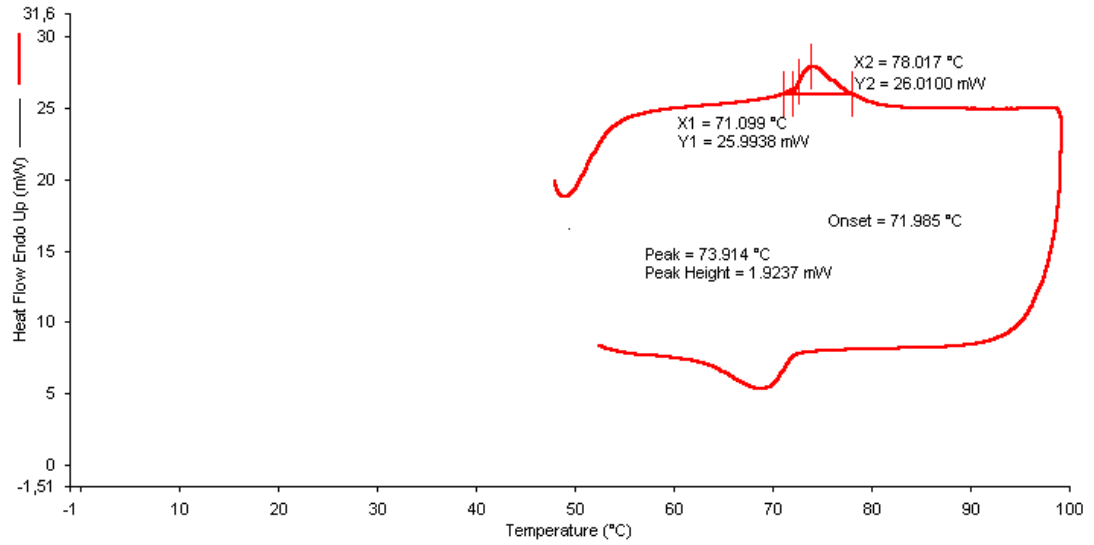


Resim 6.5. Nematik-izotropik faz geçişi sırasında ZLI-1132/1CA karışımına ait tekstürler

EK-7 Numunelere ait DSC termogramları

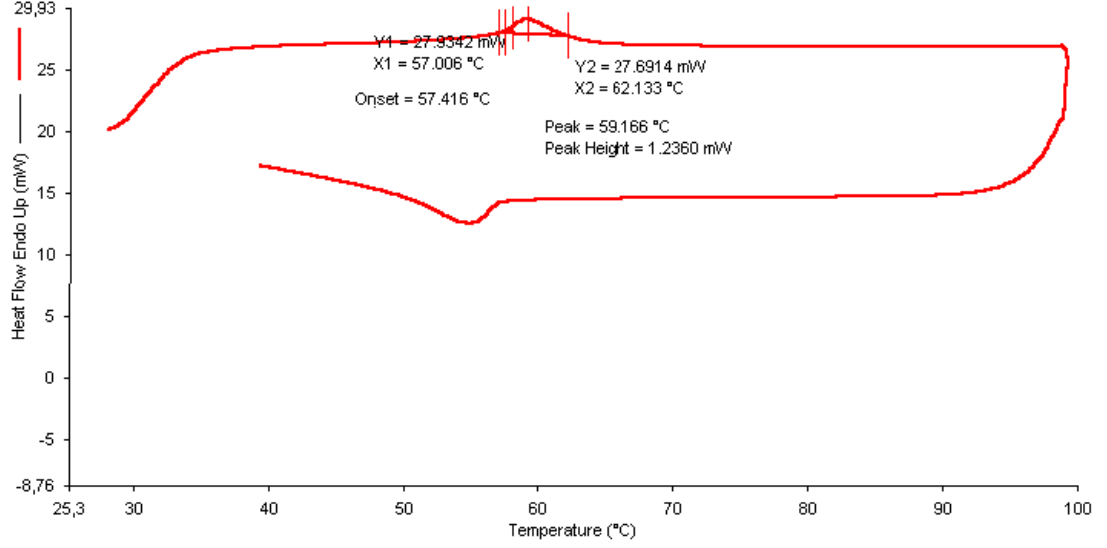


Şekil 7.1. E7 sıvı kristaline ait DSC termogramı

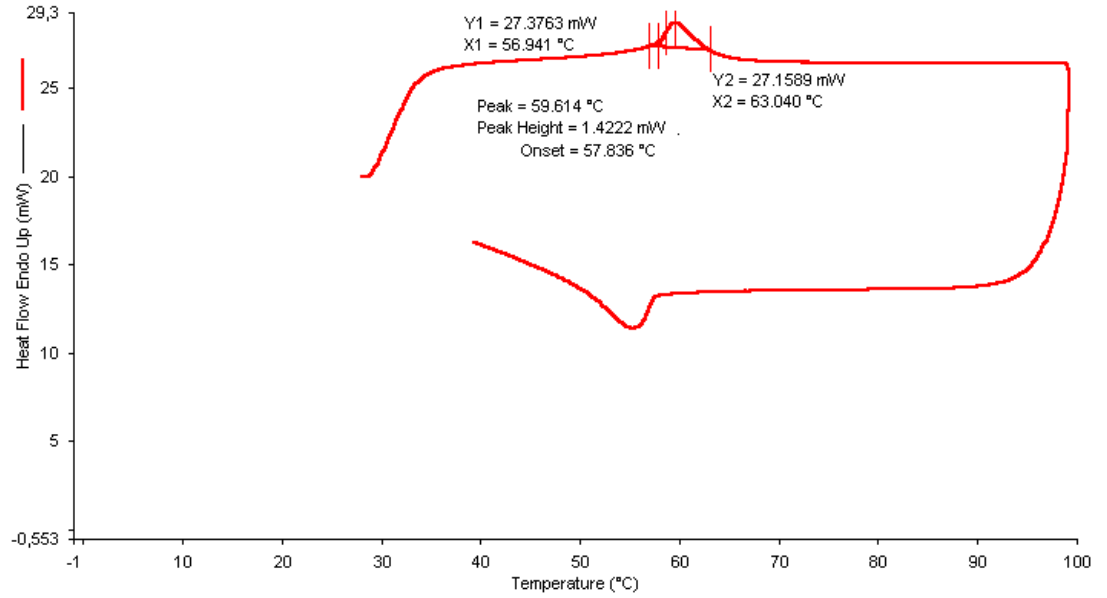


Şekil 7.2. ZLI-1132 sıvı kristaline ait DSC termogramı

EK-7 (Devam) Numunelere ait DSC termogramları

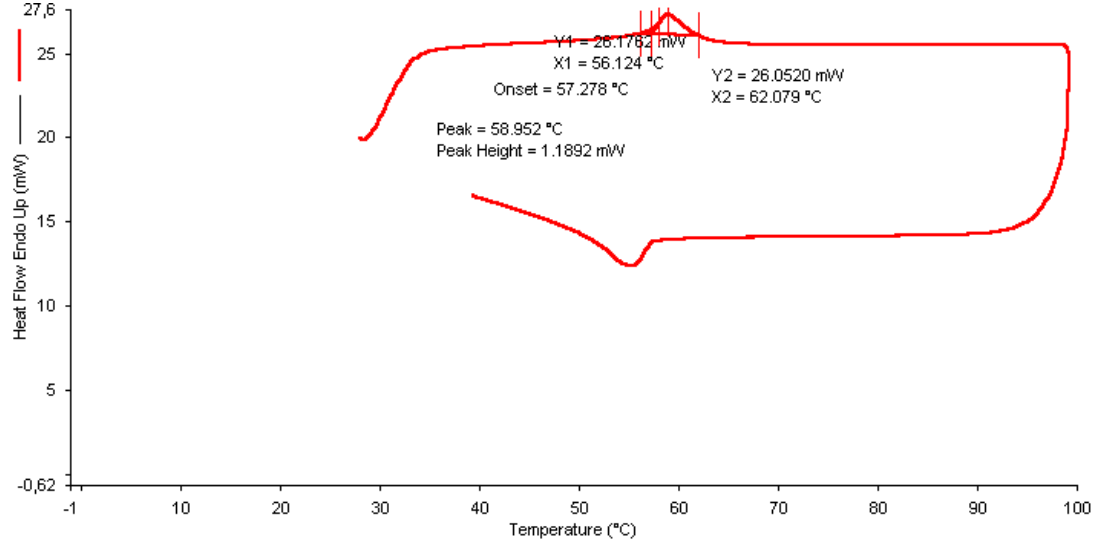


Şekil 7.5. E7+1CA karışımına ait DSC termogramı

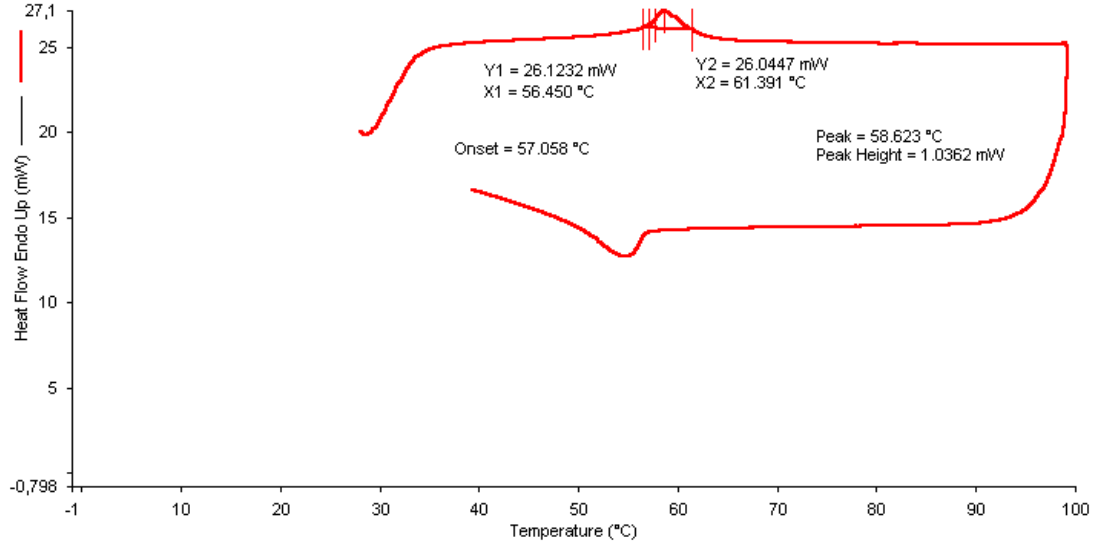


Şekil 7.6. E7+2CA karışımına ait DSC termogramı

EK-7 (Devam) Numunelere ait DSC termogramları

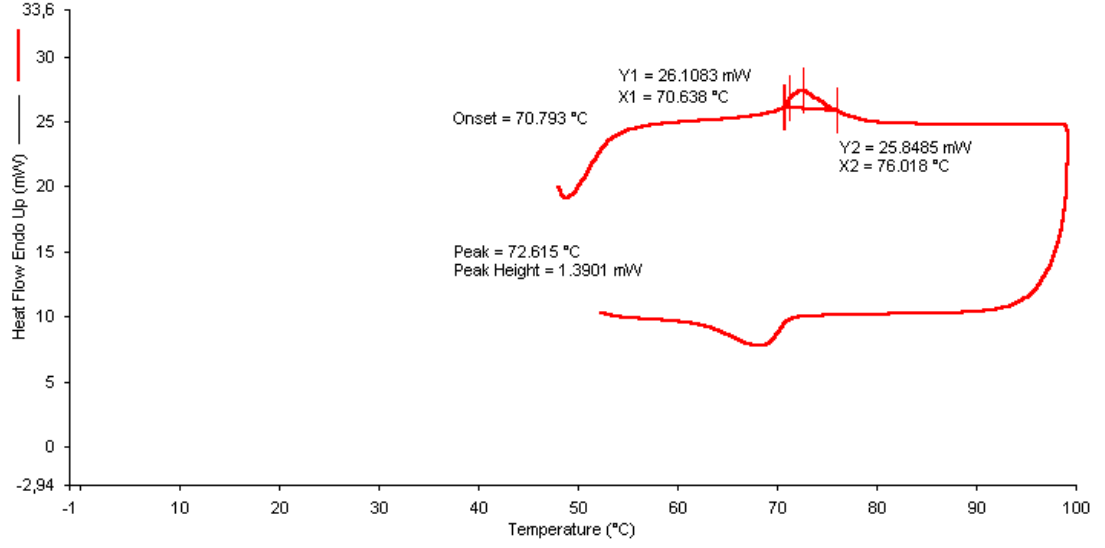


Şekil 7.7. E7+1,5DCA karışımına ait DSC termogramı

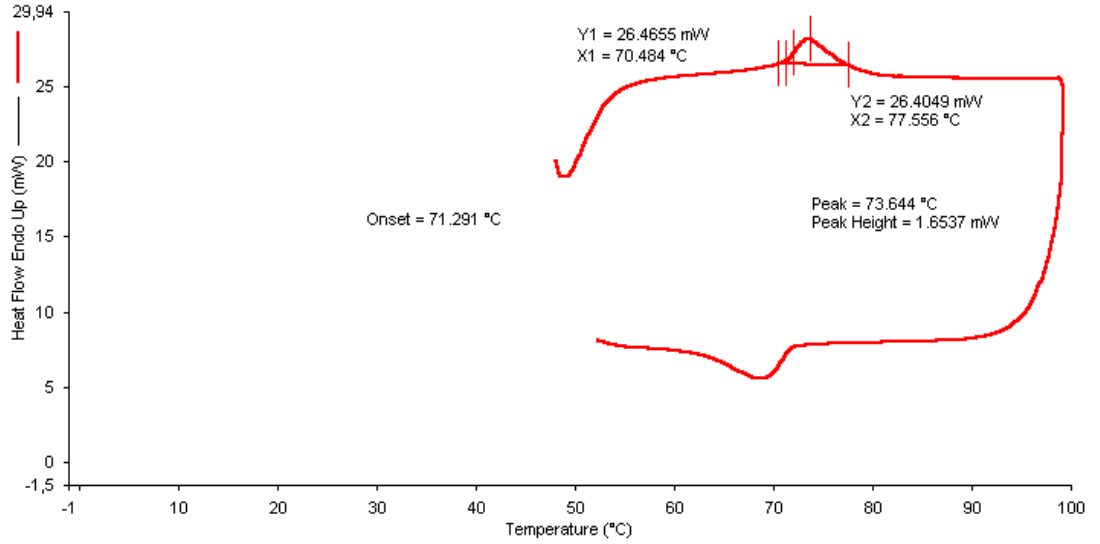


Şekil 7.8. E7+1,8DCA karışımına ait DSC termogramı

EK-7 (Devam) Numunelere ait DSC termogramları

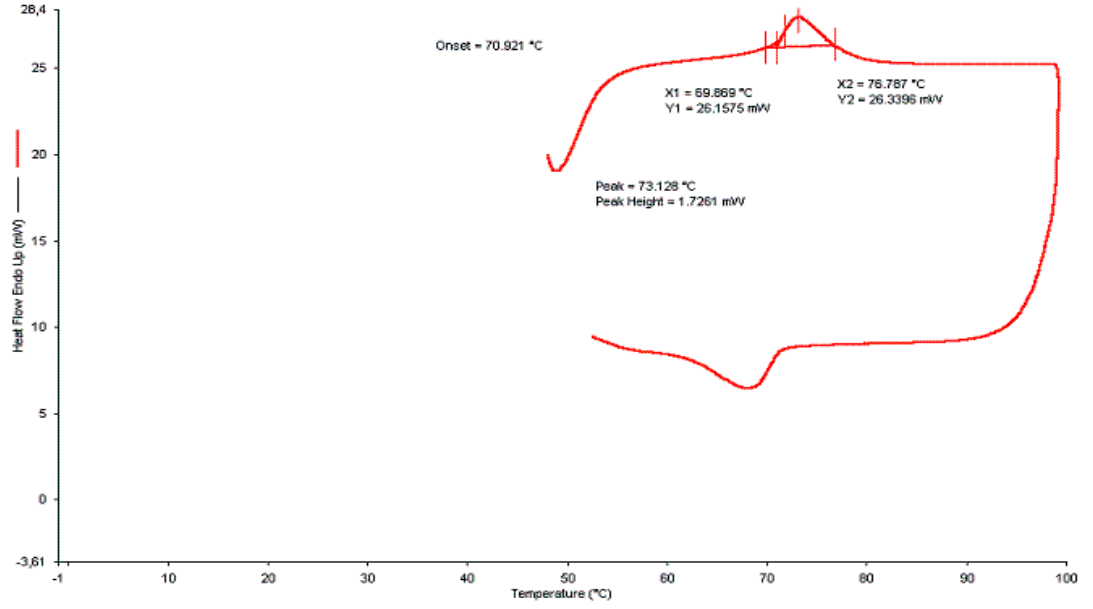


Şekil 7.9. ZLI-1132/1CA karışımına ait DSC termogramı

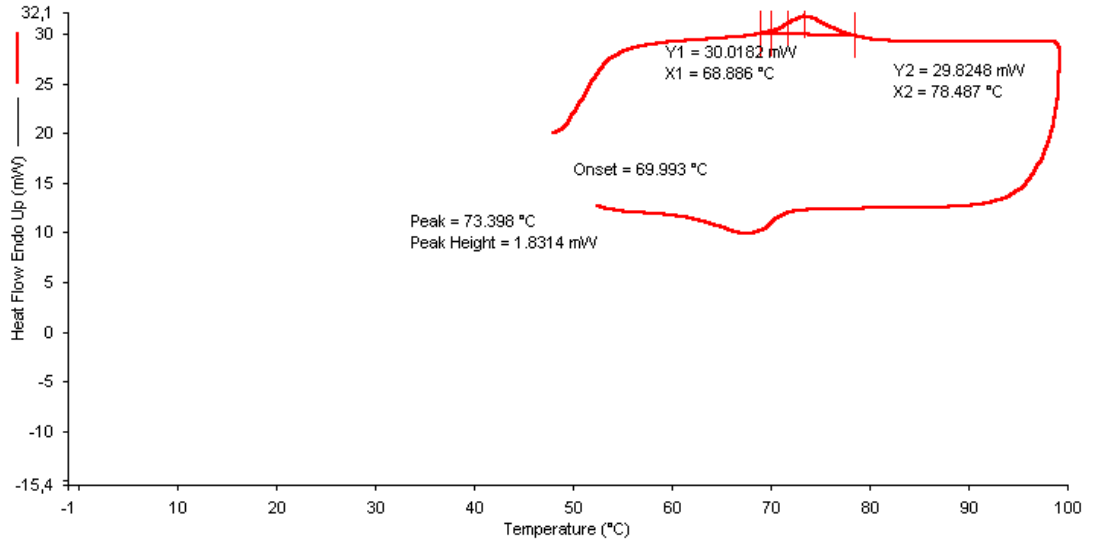


Şekil 7.10. ZLI-1132/2CA karışımına ait DSC termogramı

EK-7 (Devam) Numunelere ait DSC termogramları

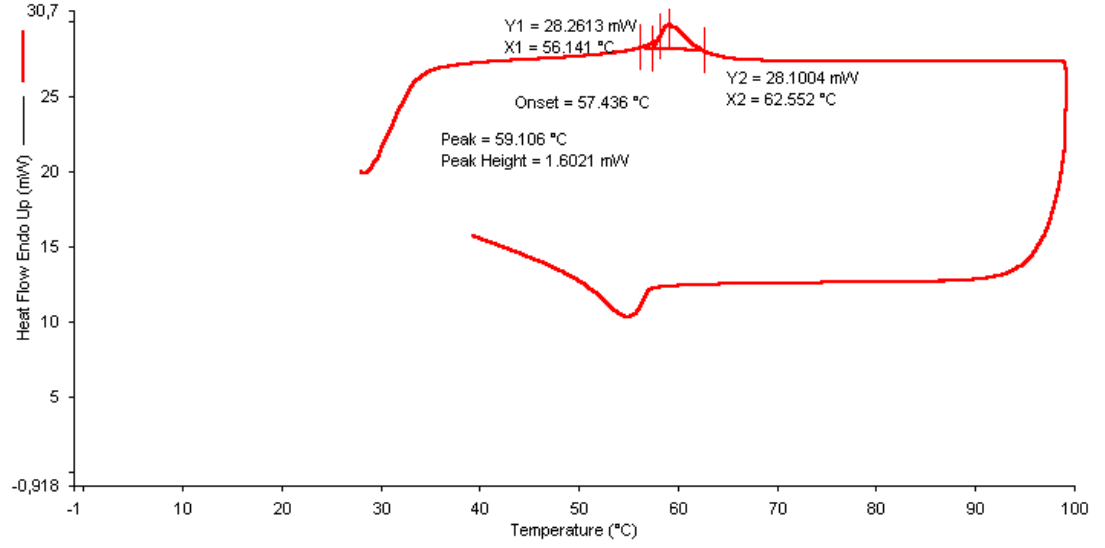


Şekil 7.11. ZLI-1132/1,5DCA karışımına ait DSC termogramı

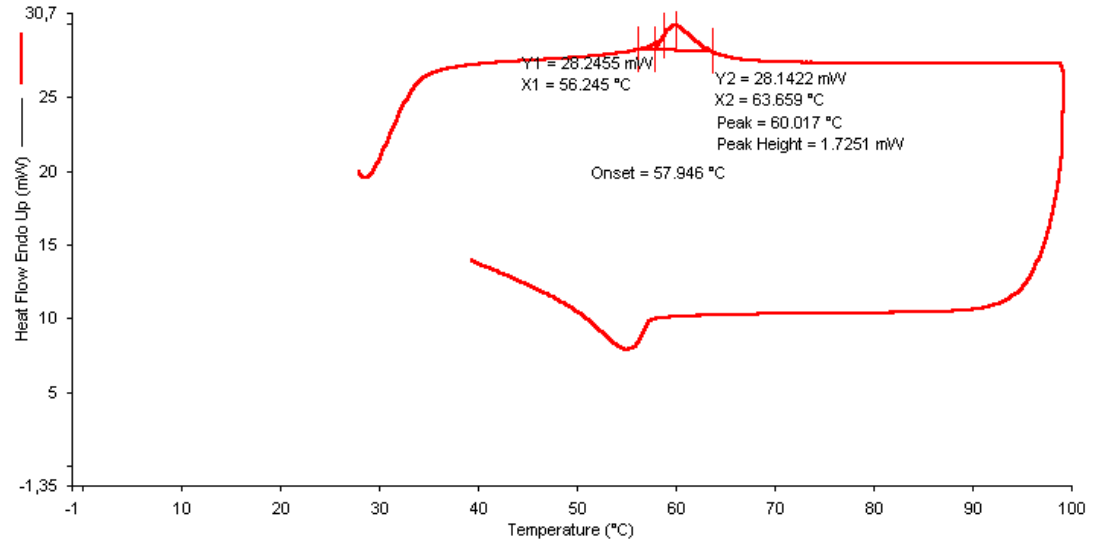


Şekil 7.11. ZLI-1132/1,8DCA karışımına ait DSC termogramı

EK-7 (Devam) Numunelere ait DSC termogramları

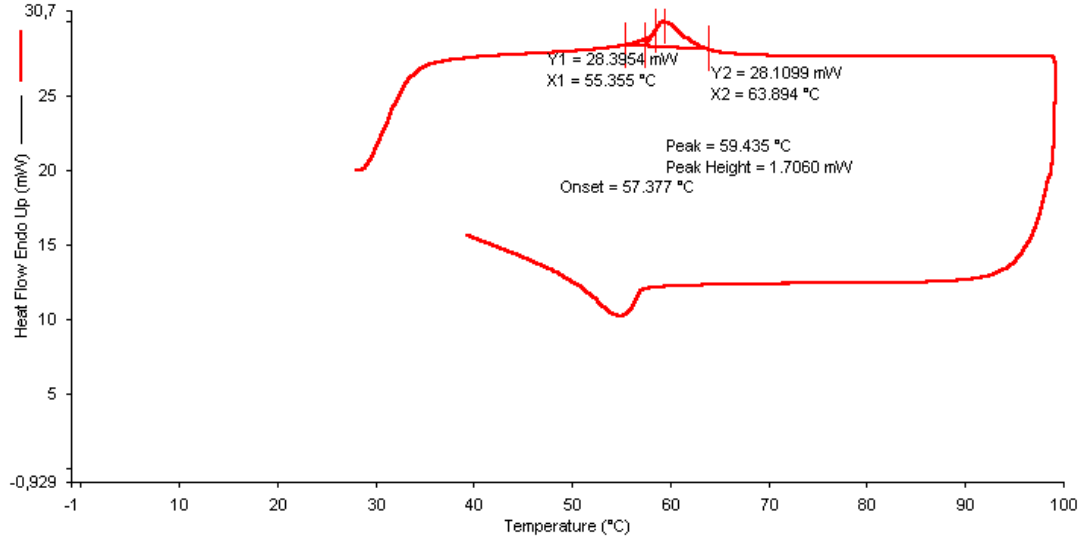


Şekil 7.12. E7/1CA/SWCNT karışımına ait DSC termogramı

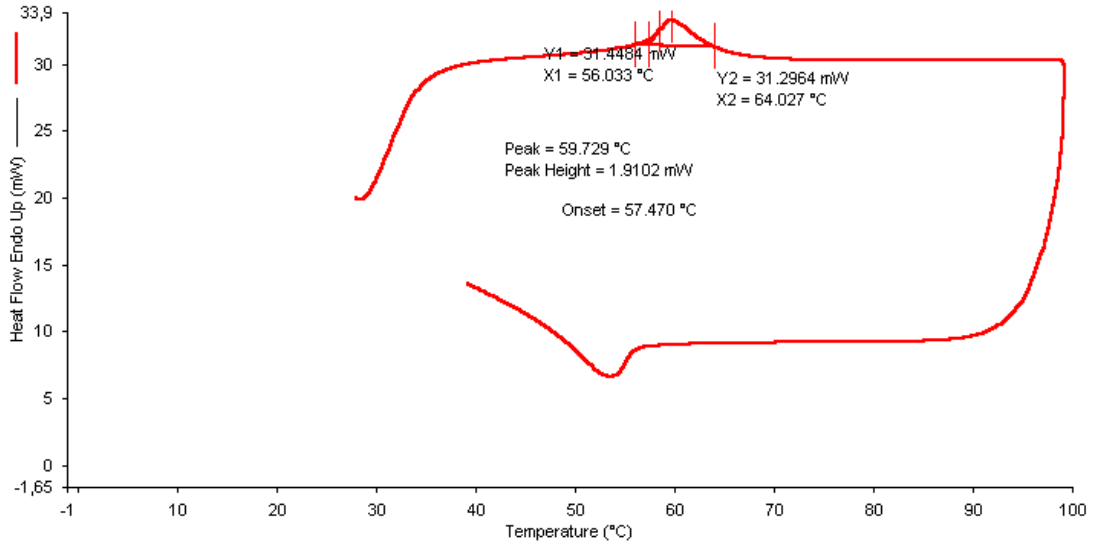


Şekil 7.13. E7/2CA/SWCNT karışımına ait DSC termogramı

EK-7 (Devam) Numunelere ait DSC termogramları

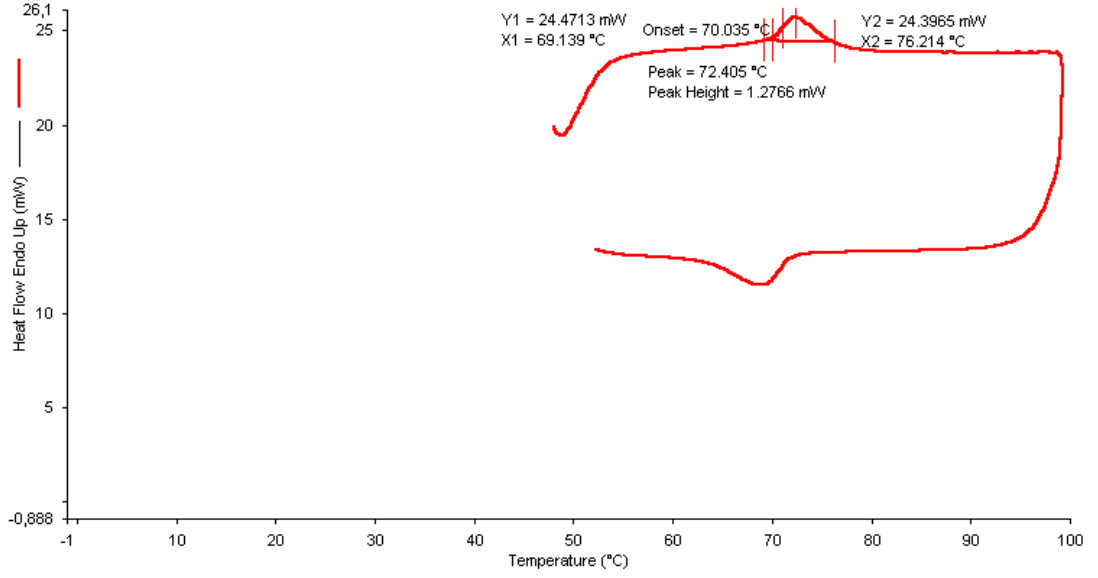


Şekil 7.14. E7/1,5DCA/SWCNT karışımına ait DSC termogramı

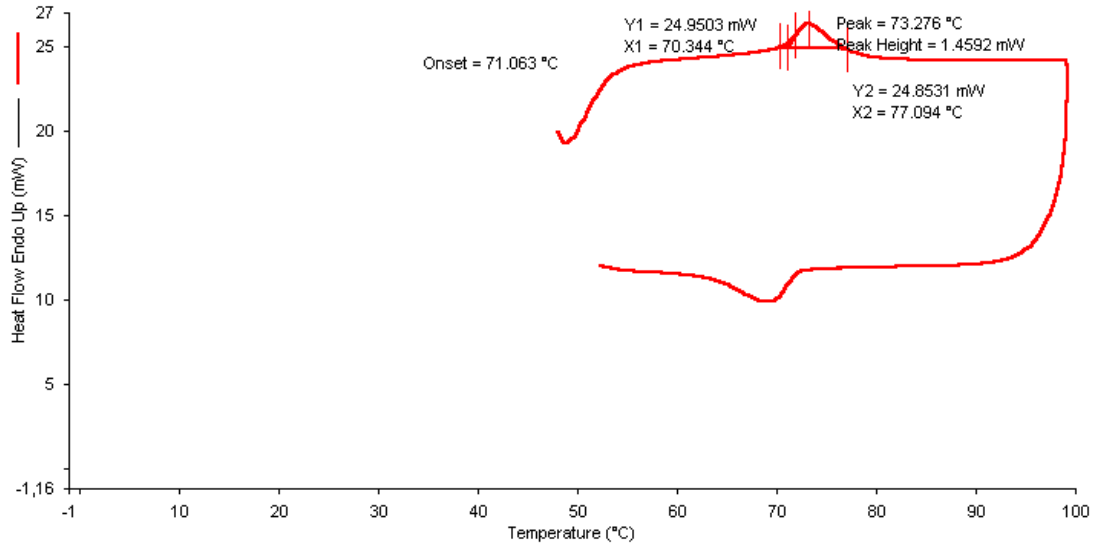


Şekil 7.15. E7/1,8DCA/SWCNT karışımına ait DSC termogramı

EK-7 (Devam) Numunelere ait DSC termogramları

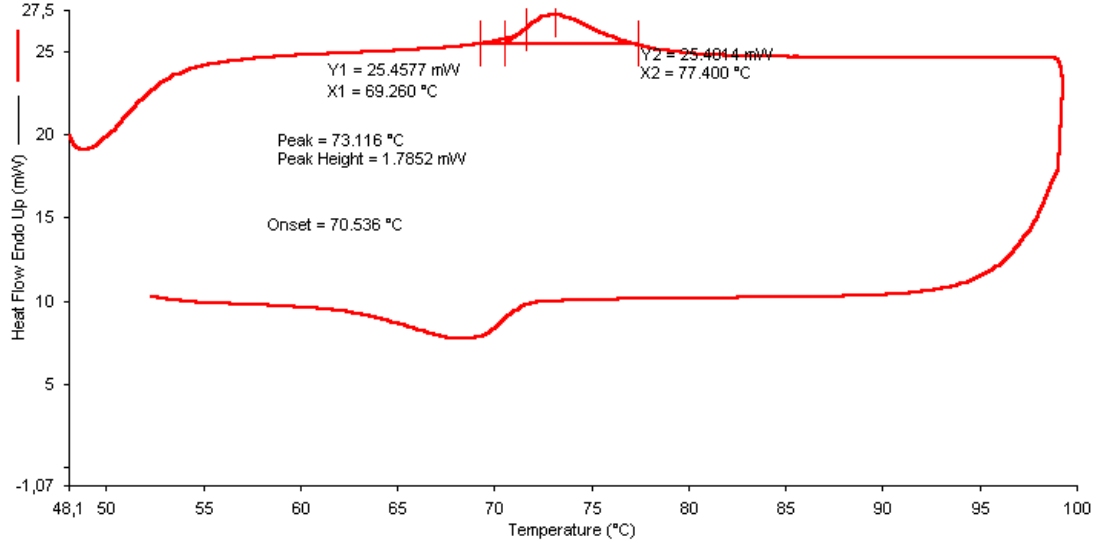


Şekil 7.16. ZLI1132/1CA/SWCNT karışımına ait DSC termogramı

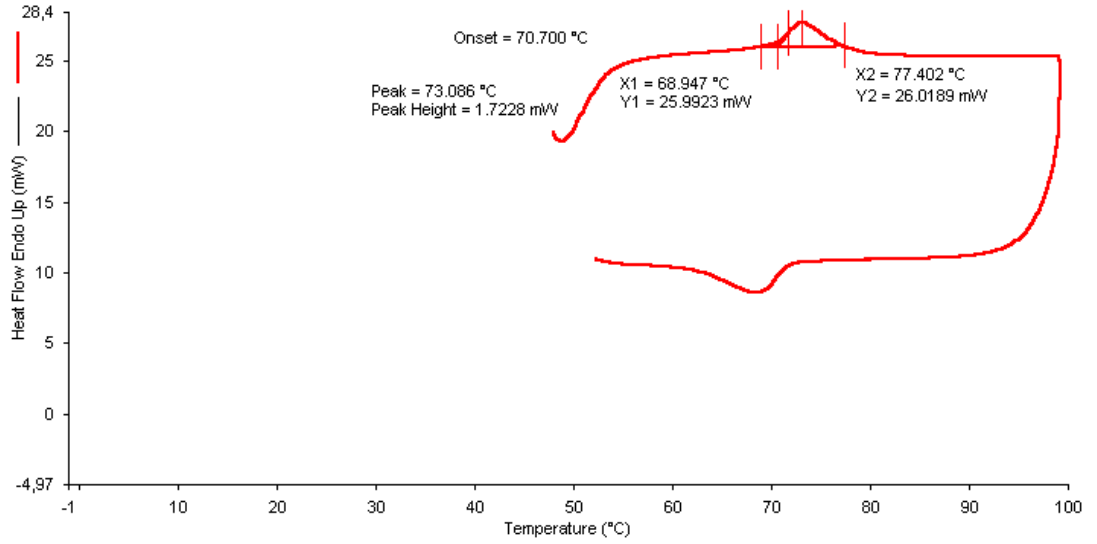


Şekil 7.17. ZLI1132/2CA/SWCNT karışımına ait DSC termogramı

EK-7 (Devam) Numunelere ait DSC termogramları



Şekil 7.18. ZLI1132/1,5DCA/SWCNT karışımına ait DSC termogramı



Şekil 7.19. ZLI1132/1,8DCA/SWCNT karışımına ait DSC termogramı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞEN, Eylem
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 20.03.1978 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : (0312) 317 48 31
Fax : (0312) 230 84 34
e-mail : eylemsn@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü	1999
Lise	Ankara Aydınliköyler Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2001-Devam	Milli Savunma Bakanlığı Kalite Kontrol Laboratuvarı	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce