

**DİSPERS TURUNCU BOYA VE KARBON NANOPARTİKÜL
KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU
VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Fatih AKKURT

**DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2009

ANKARA

**DİSPERS TURUNCU BOYA VE KARBON NANOPARTİKÜL
KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU
VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Fatih AKKURT

**DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2009

ANKARA

Fatih AKKURT tarafından hazırlanan DİSPERS TURUNCU BOYA VE KARBON NANOPARTİKÜL KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Doktora 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 Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Ahmet BİÇER
Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Ahmet ALICILAR
Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Atilla MURATHAN
Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Emine KILIÇ
Kimya, Ankara Üniversitesi
Doç.Dr. Ali DİŞLİ
Kimya, Gazi Üniversitesi

Tarih: 14/5/2009

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

Prof.Dr. Nail ÜNSAL
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 orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatih AKKURT

**DİSPERS TURUNCU BOYA VE KARBON NANOPARTİKÜL
KATKILI NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU
VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
(Doktora Tezi)**

Fatih AKKURT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2009

ÖZET

Sıvı kristallerin Türkiye’de üretimi olmamakla birlikte oldukça yaygın kullanım alanları mevcuttur. Özellikle görüntü teknolojisindeki uygulamaları ile son yıllarda büyük ilgi odağı haline gelmişlerdir. Sıvı kristaller anizotropik birçok özelliğe sahip olup, görüntü ve benzeri birçok uygulama için uygun malzemelerdir. Bu doktora çalışmasında ilk olarak Dispers Turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddelerinin E7 sıvı kristali içerisindeki çözünürlükleri belirlendi. Bu aşamayı takiben boyarmaddelerin sıvı kristaldeki % 1’lik çözeltileri ve ardından ikili boyarmadde karışımları için düzen parametre değerleri spektrofotometrik olarak tayin edildi. Daha sonra boyarmadde ve sıvı kristalden oluşan karışımlara kütlece % 0,05 oranında iki farklı karbon nanopartikül eklendi ve boyarmadde-sıvı kristal karışımları için düzen parametre tayinleri nanopartikül ilaveli olarak gerçekleştirildi. Son olarak bu tayinlerin tamamı farklı gerilimler altında tekrarlandı. Düzen parametre tayinlerinin ardından numunelerin ısıl özellikleri irdelendi. Numunelerin tekstürlerinin eldesi ve ardı sıra gerçekleştirilen elektriksel karakterizasyon işlemleri ile çalışmalar tamamlandı. Yüzde çözünürlük değerleri bu boyarmaddeler için sırasıyla 2,24; 2,60 ve 0,20 olarak bulundu. Nanopartikül

katkısız numuneler için düzen parametre değerinin 0,51-0,62 aralığında olduğu ve nanopartikül ilavesi ile bu değerlerin 0,56-0,74 aralığına yükseldiği görüldü. İkili boyarmadde karışımları ile bu değerler 0,90'lar mertebesine ulaştı. Numunelere ait termogramlar ile tekstürler birlikte incelendiğinde değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşıldı. Ayrıca kristale boyarmadde ve/veya nanopartikül ilavesinin sıvı kristal sıcaklık aralığını daraltmadığı, tam aksine artırıcı etki meydana getirdiği gözlemlendi.

Bilim Kodu : 912.1.094
Anahtar Kelimeler : Sıvı kristal, düzen parametresi, tekstür, dispers boya
Sayfa Adedi : 134
Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Ahmet ALICILAR

**INVESTIGATION OF CHARACTERIZATION AND APPLICABILITY OF
NEMATIC LIQUID CRYSTALS DOPED WITH DISPERSE ORANGE DYE
AND CARBON NANOPARTICLE**

(Ph.D. Dissertation)

Fatih AKKURT

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2009

ABSTRACT

Production of liquid crystals in Turkey is unavailable, but their usage areas are very common. Especially with the applications of the display technology in recent years, they have become the focus of great interest. Liquid crystals have many anisotropic properties and are suitable materials for lots of applications of display and so on. Solubilities for Disperse Orange 11, 13 and 37 dyestuffs within the used liquid crystal E7 were assessed in this Ph.D. study. In pursuit of this stage, order parameter values were determined for 1% of dye solutions within the liquid crystal and consecutive binary dye mixtures as spectrophotometrically. Afterwards, two different types of nanoparticle at a rate of 0.05% by weight were added to the mixture of dye-liquid crystal and order parameter analysis of the mixtures composed of dye and liquid crystal were carried out by adding nanoparticle. Finally, all of these analysis were repeated under different voltages. After assessment of the order parameters, thermal properties of the samples were examined. The studies were completed with the electrical characterization processes and by obtaining the textures of the samples. The percent of solubility values for these dyes were assessed as 2.24, 2.60 and 0.20 respectively. It was found that the order parameter values

for the samples without nanoparticle were in the range of 0.51-0.62 and by adding the nanoparticle to these values, it reached at the interval of 0.56-0.74. These values together with the binary dye mixtures reached at the level of 0.90. When the thermograms and the textures which belong to the samples were examined together; it was concluded that the values were consistent with each other. In addition, it was observed that the narrow on the temperature range of the liquid crystal was not occurred with the addition of dye and/or nanoparticle to the crystal, on the contrary, an increase was recorded.

Science Code	: 912.1.094
Key Words	: Liquid crystal, order parameter, texture, disperse dye
Page Number	: 134
Adviser	: Prof.Dr. Ahmet ALICILAR

TEŞEKKÜR

Eğitim hayatımda çok ayrı ve önemli bir yeri olan bu doktora çalışmalarım süresince beni yönlendiren ve bilgisini, emeğini ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen ve öğrencisi olmakla daima gurur duyduğum danışmanım Sayın Prof.Dr. Ahmet ALICILAR Hocama, tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof.Dr. Atilla Miratı MURATHAN ve Sayın Doç.Dr. Ali DİŞLİ Hocalarıma sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Bununla birlikte tez çalışmalarım boyunca tüm sorularıma anında, eksiksiz cevap veren ve bilgisi desteği ile üzerimde emeği geçen Sayın Doç.Dr. Sait Eren SAN Hocama da sonsuz teşekkür ederim. Deneyler esnasında her zaman yanımda olan çok sevgili arkadaşlarım Arş.Gör. Nihan KAYA, Serdar BENLİ ve Ahmet DEMİR'e de katkılarından ötürü minnettarım.

Ayrıca çalışmalarımın gerçekleşmesi için tüm ihtiyaçları bize sağlayan T.C. Devleti'ne ve onun değerli bir elemanı olan Gazi Üniversitesi'nin başta Rektörü Sayın Prof.Dr. Rıza Ayhan Hocam nezdinde tüm çalışanlarına sonsuz şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca her türlü desteği rahatlıkla aldığım T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü yöneticileri ile tüm Araştırma Şube Müdürlüğü çalışanlarına da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında destek, ilgi ve sevgilerini hiç bir zaman esirgemeyen annem, babama ve kardeşime, hoşgörüsünde hiçbir zaman azalma olmayan sevgili eşime teşekkürlerimi sunarım.

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	6
2.3.1. Termotropik sıvı kristaller	9
2.3.2. Liyotropik sıvı kristaller	13
2.4. Sıvı Kristallerin Fiziksel Özellikleri	16
2.4.1. Sıvı kristallerin optik özellikleri	16
2.4.2. Sıvı kristallerin manyetik ve elektriksel özellikleri	18
2.5. Elektrik Alanda Sıvı Kristaller	19
2.5.1. Freedericksz geçişi	21
3. BOYALAR	23
3.1. Boyaların Sınıflandırılması	23
3.1.1. Kimyasal yapılarına göre sınıflama	24

Sayfa

3.1.3. Uygulama sahasına göre sınıflama.....	30
3.2. Dikroik Boyalar.....	31
3.2.1. Azometinler.....	31
3.2.2. İndigoid ve tiyoindigoid boyalar.....	31
3.2.3. Merosiyanin boyalar	31
3.2.4. 1,3-bis(disianometilen)ından boyalar.....	31
3.2.5. Azulenler	32
3.2.6. Kinofitalonik boyalar	32
3.2.7. Perilen boyalar	32
3.2.8. Fitaloperinler	32
3.2.9. Trifenodiaoksazinler	33
3.2.10. İndolo[2,3-B]kinokzalinler.....	33
3.2.11. İmidazo[1,2-B]-1,2,4-triazinler	33
3.2.12. Tetrazinler	33
3.2.13. Azo boyalar	34
3.2.14. Benzo ve naftokinonlar	37
3.2.15. Antrakinon Boyalar.....	37
4. NEMATİK SIVI KRİSTAL GÖSTEGELER.....	41
4.1. Y-H Sistemleri (Guest-Host :Yolcu-Hancı).....	41
4.2. Polimer Dispers Sıvı Kristal Göstergeler (PDSKG)	44
4.2.1. Polimer dispers sıvı kristal göstergelerin kullanımları.....	47
5. KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ.....	49
5.1. Dikroik Boyanın Düzenlilik Parametresi	49

Sayfa

5.1.1. Düzenlilik parametresinin tanımı	49
5.1.2. Düzenlilik parametresinin boyarmaddenin kimyasal yapısına bağıllığı	54
5.1.3. Düzenlilik parametresinin sıcaklığa bağıl değışimi	56
5.2. Polarize Mikroskopik Teknikler	57
5.2.1. Polarize mikroskop.....	58
5.2.2. Temel sıvı kristal optikler	60
5.3. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) ile Yapılan Tayinler	61
6. KARBON NANOPARTİKÜLLER	64
6.1. Nanoteknolojinin Gelisimi	64
6.2. Karbon Nanopartiküllerin Özellikleri	68
6.3. Karbon Nanopartiküllerin Yapıları	70
6.4. Karbon Nanotüplerin Oluşumu ve Çeşitlenimi.....	72
6.5. Karbon Nanotüplerin Sıvı Kristallerde Yönleneimi	76
7. MATERYAL VE METOT	78
7.1. Araç ve Gereçler	78
7.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler.....	78
7.1.2. Kullanılan cihazlar	80
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	81
8.1. Boyarmaddelerin Sıvı Kristaldeki Çözünürlüklerinin Belirlenmesi	81
8.2. Boyarmadde ve Karışımlarının Düzen Parametre Değerlerinin Belirlenmesi	82
8.2.1. Sıvı kristal karışımların hazırlanması.....	82
8.2.2. Numunelerin hücrelere doldurulması.....	82

Sayfa

8.2.3. Numunelerin düzen parametre değerlerinin belirlenmesi	84
8.3. Numunelerin Düzen Parametre Değerlerinin Voltaja Bağlı Değişimi.....	85
8.4. Düzen Parametresinin Sıcaklıkla Değişimi.....	85
8.5. Numunelerin Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi	85
8.6. Numunelere Ait Tekstürlerin Eldesi	85
8.7. Elektriksel Karakterizasyon İşlemi	86
9. SONUÇLAR	88
9.1. Boyarmaddelerin Çözünürlükleri.....	88
9.2. Boyarmadde ve Karışımlarının Düzen Parametre Değerleri	89
9.3. Boyarmadde ve Karışımlarının Düzen Parametre Değerlerinin Voltajla Değişimi	92
9.4. Düzen Parametre Değerinin Sıcaklıkla Değişimi	93
9.5. Boyarmadde ve Karışımlarının Isıl Özellikleri	96
9.6. Boyarmadde ve Karışımlarının Tekstürlerinin İncelenmesi	97
9.7. Boyarmadde ve Karışımlarının Elektriksel Özellikleri.....	99
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR	105
EKLER	112
EK-1 Boyarmaddelerin kalibrasyon grafikleri	113
EK-2 Boyarmadde ve karışımlarının düzen parametre değerlerinin voltaja bağlı değişim grafikleri	115
EK-3 Boyarmadde ve karışımlarına ait DSC termogramları.....	122
EK-4 Boyarmadde ve karışımlarına ait tekstürler	127
ÖZGEÇMİŞ	132

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Aminoantrakinon boyaların renkleri.....	38
Çizelge 5.1. E ₇ içinde azo boyalar için S değerleri	56
Çizelge 6.1. Karbon nanopartiküllerin bazı özellikleri	68
Çizelge 7.1. E7 sıvı kristaline ait bazı değerler.....	79
Çizelge 8.1. Çözünürlük tayininde kullanılan boyarmaddelere ait miktarlar	81
Çizelge 8.2. Numuneler ve bileşimleri.....	83
Çizelge 9.1. Boyarmaddelerin çözünürlük değerleri.....	88
Çizelge 9.2. Boyarmadde ve karışımlarına ait düzen parametre değerleri	90
Çizelge 9.3. Numunelerin düzen parametre değerlerinin sıcaklıkla değişimi	93
Çizelge 9.4. Numunelerin ısı özellikleri	96
Çizelge 9.5. Numunelerin faz geçiş sıcaklıkları.....	98

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Katı kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı geçiş.....	7
Şekil 2.2. Sıvı kristallerin sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.3. Tipik bir sıvı kristal yapısı.....	10
Şekil 2.4. Moleküllerin nematik fazda aynı doğrultuda yönelimi.....	10
Şekil 2.5. Kolesterik sıvı kristal	11
Şekil 2.6. Simektik yapıda moleküllerin katmanlar halinde ve n direktörü boyunca	12
Şekil 2.7. Simektik C (S_C) fazında moleküllerin normalden belli bir ϕ açısı değeriyle sarak yönelimi	13
Şekil 2.8. Liyotropik fazda konsantrasyona bağlı faz geçişleri.....	15
Şekil 2.9. Sıvı kristallerde dielektrik anizotropi.....	17
Şekil 2.10. Sıvı kristal ortamdaki polarize olmayan ışığın davranışı.....	17
Şekil 2.11. Sıvı kristalde ışığın moleküler eksen boyunca yayılması; (a) Sıradan hüzme, (b) Sıradan olmayan hüzme; n_0 sıradan kırılma indisi, n_e sıradan olmayan kırılma indisi	18
Şekil 2.12. Pozitif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristal molekülünün yönlenimi; $E=0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$	20
Şekil 2.13. Negatif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristal molekülünün yönlenimi: $E=0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$	20
Şekil 2.14. Planar yönelime sahip sıvı kristalde Frederick geçişi; (a) $E=0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$ kritik elektrik alan değeriinde moleküler yönelim....	21
Şekil 4.1. Sıvı kristal hücrenin çalışmasının şematik gösterimi.....	43
Şekil 4.2. Polimer dispers sıvı kristal (PDSK) damlacığındaki sıvı kristal.....	44
Şekil 4.3. Aktarıcı PDSK hücrenin işletimi (a) Voltajsız, (b) Voltajlı.....	45
Şekil 4.4. Pleokroik boyalarca ışığın absorplanması.....	46

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Yansıyan siyah ve beyaz PDSKG hücrenin ortam ışığı ile işletilmesi	47
Şekil 5.1. Dikroik Boya Tipleri: a) x ile LETO çakışık, b) x ile LETO çakışmaz...	50
Şekil 5.2. DB düzenlilik parametresi S'in a-c) 2 açığa, d) sıvı kristalde DB düzenlenme derecesine bağlı değişimi.....	51
Şekil 5.3. Zıt işaretli S değerine sahip boya için polarize absorpsiyon spektrumuna örnek.....	52
Şekil 5.4. Doğrusal olmayan dikroik boyada LETO'nun x ekseninden sapması	52
Şekil 5.5. Dikroik boya modelleri (a-f) ve sıvı kristal tabaka içindeki düzenleri (g)(1,2: DB blokları; 3: sıvı kristalde çözünürlüğü artıran DB grupları; 4: sıvı kristal molekülleri)	55
Şekil 5.6. Düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi	57
Şekil 5.7. Polarize mikroskobun şematik gösterimi	59
Şekil 5.8. Tek eksenli, optik olarak pozitif ve negatif maddelerin gösterimi.....	61
Şekil 5.9. Diferansiyel tarama kalorimetresi	62
Şekil 5.10. DSC' nin çalışır hali.....	63
Şekil 6.1. Karbonun üç allotropu.	68
Şekil 6.2. İlk keşfedilen fulleren modeller, C60 ve C70.	70
Şekil 6.3. Karbon yapıları.....	70
Şekil 6.4. Karbon nanotüplerin biçimlenme şeması	71
Şekil 6.5. Tek ve çok duvarlı karbon nanotüpler (a) SWCNT (b) MWCNT	72
Şekil 6.6. Karbon nanotüplerin oluşumu ve çeşitlenimi	73
Şekil 6.7. SWCNT'lerin atomik yapısı a) Zigzag b) Kiriş(Armchair).....	73
Şekil 6.8. Kiriş(Armchair) nanotüp.....	74
Şekil 6.9. Kiral nanotüp.....	74

Şekil	Sayfa
Şekil 7.1. Dispers Turuncu boyarmaddelerin (a) ve nematik sıvı kristal E7'nin moleküler yapıları (b).....	78
Şekil 8.1. Sıvı kristal ile doldurulmuş planar yönelime sahip bir hücrenin kesiti....	84
Şekil 8.2. Keithley 4200 Yarıiletken karakterizasyon sistemi	86
Şekil 8.3. Hewlett Packard 414194 A empedans analizörü	87
Şekil 9.1. Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait S-V grafiği.....	93
Şekil 9.2. Nanopartikül katkısız numunenin düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi	93
Şekil 9.3. SWCNT katkılı numunenin düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi ...	94
Şekil 9.4. C60 katkılı numunenin düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi	94
Şekil 9.5. Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait DSC termogramı	96
Şekil 9.6. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımlarına ait fotoiletkenlik sonuçları	100
Şekil 9.7. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımlarına SWCNT eklenmesi ile elde edilen karışımlara ait fotoiletkenlik sonuçları	100
Şekil 9.8. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımlarına C60 eklenmesi ile elde edilen karışımlara ait fotoiletkenlik sonuçları	101
Şekil 9.9. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımlarına SWCNT ve C60 eklenmesi ile elde edilen karışımlara ait reel dielektrik sabitleri.....	102

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 8.1. Deneylerde kullanılan boya ve nanopartikül katkılı bazı SK hücrelerin resmi.....	84
Resim 9.1. Dispers Turuncu 11 boya katkılı sıvı kristalin 25°C'deki tekstürü	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
$A_{\perp}$	Dik yöndeki absorbans
$A_{\parallel}$	Paralel yöndeki absorbans
D	Optik yoğunluk
$D_{\perp}$	Dik yöndeki optik yoğunluk
$D_{\parallel}$	Paralel yöndeki optik yoğunluk
E	Elektriksel alan
F_e	Serbest enerji katsayısı
H	Manyetik alan
I	İzotropik
L	Boyuna
M	Manyetizasyon
n	Enerji düzeyi
N^*	Nematik
$n_{\perp}$	Optik eksene dik olan kırılma indisi
$n_{\parallel}$	Optik eksene paralel olan kırılma indisi
n_0	Kırılma indisi
n_e	Kırılma indisi
R	Dikroik oran
S	Düzen parametre değeri
S_A	Simektik A fazı
S_B	Simektik B fazı
S_C	Simektik C fazı
T_{cl}	Berraklaşma sıcaklığı
T_I	İzotropik faz sıcaklığı

T_N	Nematik faz sıcaklığı
T_-	Enine
V	Voltaj
X	Yan halka
π^*	Enerji düzeyi
$\epsilon_{\perp}$	Dik yöndeki dielektrik sabiti
$\epsilon_{\parallel}$	Paralel yöndeki dielektrik sabiti
θ	Boya ile LETO arasındaki açı
ζ	Helezonik adım
χ	Manyetik duygunluk
$\chi^{\perp}$	Dik yöndeki manyetik duygunluk
$\chi_{\parallel}$	Paralel yöndeki manyetik duygunluk
$\Delta\chi$	Diamanyetik anizotropi
$\Delta\epsilon$	Dielektrik anizotropi
Δn	Optik anizotropi
ΔT_I	Saf kristalin T_I sıcaklığındaki kayma değeri
ΔT_N	Saf kristalin T_N sıcaklığındaki kayma değeri
$\bar{T}_{NI}$	Ortalama nematik-izotropik geçiş sıcaklığı
$\Delta \bar{T}_{NI}$	Ortalama nematik-izotropik geçiş sıcaklığındaki kayma değeri

Kısaltmalar

Açıklama

AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
AKO	Algılanan kontrast oranı
CCD	Yük çiftli aygıt
CR	Kontrast oranı
DB	Dikroik boya
DSC	Diferansiyel tarama kalorimetresi
ITO	İndiyum kalay oksit

KSY	Kişisel sayısal yardımcı
LETO	Uzun dalga elektron geçiş osilatörü
MWCNT	Çok-duvarlı karbon nanotüp
NCAP	Mikro kapsülleme prosesi
PDSK	Polimer dispers sıvı kristal
PDSKG	Polimer dispers sıvı kristal gösterge
SK	Sıvı kristal
STM	Taramalı tünelleme mikroskobu
SWCNT	Tek-duvarlı karbon nanotüp
TMV	Tütün mozaik virüsü
Y-H	Yolcu-Hancı

1. GİRİŞ

Madde genel olarak katı, sıvı ve gaz olarak üç 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.

Sıvı kristaller, katı kristallerinkine benzer davranışları sergileyen ve sıvılara (izotropik faz) benzeyen bazı özellikleri üzerlerinde taşıyan yeni bir madde halidir. Fiziksel özelliklerinden dolayı katı kristallere benzemeleri, sıvı kristallerin anizotropik yapıya sahip olmalarını sağlamıştır. Sıvı kristallerdeki anizotropi onların birçok özelliklerini etkiler. Örneğin elektriksel ve manyetik duyarlılık parametreleri, direktör (n) ve direktöre dik doğrultularda farklı değer alır.

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].

Türkiye’de üretimi olmamakla birlikte çok yaygın kullanıma sahip sıvı kristaller hesap makinelerinde, saatlerde, bilgisayarlarda vb. sistemlerde kullanılırlar ve bu cihazlarda görüntünün kaynağıdırlar. Daha net bir görüntü elde edilmesi ve daha az enerji kullanılması bakımından elektronik gösterge sistemlerinde, sıvı kristal tercih edilmektedir. Bu faza yanal yüzeyden baktığımızda, moleküller aynı doğrultuda yerleşmiş görünür. Moleküller arasındaki çekim kuvvetinin zayıf olmasından dolayı sıvı kristaller akışkandır. Bu yüzden sıvı kristalin nematik fazdaki moleküler düzeni

kolayca değiştirilebilir ve yeniden düzenlenebilir. Ekranda seçilen komutlara göre, sıvı kristal fazın hareketi değişir. Işıklı ve karanlık bölgeler sayesinde ekranda farklı görüntüler elde edilir [Aldanma, 2007].

Sıvı kristallere uygulanan elektrik alan ile moleküllerin yeniden düzenlenmesi sağlanabilmekte ve ortamın anizotropisini değiştirmek mümkün olabilmektedir. Moleküler düzende meydana gelen bu değişmeler gösterge amaçlı çeşitli cihazların gelişimine yol açmıştır. Günümüzde sıvı kristal gösterge cihazları (LCD'ler), yukarıda verilen alanlara ek olarak teknolojinin birçok alanında kendine uygulama sahası bulmuştur. Amerika, Japonya ve Avrupa'nın birçok ülkesinde bu alanda devamlı ve sürekli araştırmalar başlatılmış, çok yönlü gelişmeler sağlanmıştır.

Bu doktora çalışmasına daha önce çalışılmayan numunelerin düzen parametrelerinin belirlenmesi ile başlanmış ve bu numunelerin karıştırılması ile daha yüksek düzen değerine sahip boya-sıvı kristal (Guest-host) sistemlerinin eldesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak literatür detaylı olarak incelendi ve çalışılan boyarmaddelerin daha evvel kullanılmadıkları görüldü.

Çalışmanın ilk aşamasında boyarmaddelerin sıvı kristal içerisindeki çözünürlükleri belirlendi. Bu aşamanın ardından boyarmaddelerin düzen parametre değerleri belirlendi. Daha sonra numunelere tek duvarlı karbon nanotüp ve fulleren C60 eklenerek düzen parametre değerleri tespit edildi. Bu işlemin ardından boyarmaddelerden elde edilen ikili karışımların da düzen parametre değerleri aynı şekilde ve nanopartikül ilaveli olarak tayin edildi. Numunelerin düzen parametre değerlerinin tamamı farklı voltajlarda belirlenmiştir. Bu aşamanın ardı sıra sonuçlar grafiğe geçirilerek düzen parametresinin voltajla değişimi incelenmiştir.

Numunelerin ısıl zellikleri DSC (Differential Scanning Calorimeter) cihazı yardımı ile belirlenmiştir.

Bu işlemin ardından numunelerin tekstürleri ile faz geçiş sıcaklıkları polarize mikroskop yardımı ile belirlenmiştir.

En son olarak da düzen parametre değerleri yüksek olan numunelerin elektriksel karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilerek çalışma tamamlanmıştır.

2. SIVI KRİSTALLER

2.1. Sıvı Kristallerin Tarihçesi

Sıvı Kristallerin (SK) tarihi gelişimi üç aşamada ele alınabilmektedir. Birinci periyot, on dokuzuncu yüzyılın son zamanları ile 1925 yılı arasındaki dönemi kapsar. Maddenin hali ile ilgili ilk şüphelerin oluştuğu bu dönemde anizotropi ve akışkanlık özellikleri birleştirilmiş; genel bir yaklaşımın gerçekte doğru olduğunun ispatı ve sıvı kristallerin farklı tiplere ilk defa sınıflandırılması bu dönemde gerçekleşmiştir.

1925 yılları ile 1960 yıllarını kapsayan ikinci periyotta sıvı kristallere ait gelişmeler oldukça düşük seviyededir. Bu araştırmalar hücre bazındadır ve yalnızca bir dereceye kadar olmakla birlikte etkilidir ve bilim adamları sıvı kristallerin daha ileri aşama çalışmalarına yoğunlaşmışlardır. İkinci dünya savaşı ve sonrası dönemlerde bu alanın ilerlemesi durmuştur. Savaş sonrası dönem dikkate alınınca muhtemelen en azından 15 yıl, bu ikinci dönemde kaybedilmiştir.

Son periyot ise 1960'tan günümüze kadar olan dönemi içermektedir. Sıvı kristaller için teknolojik uygulamaların bulunması ile bu sahada hızlı bir gelişme kaydedilmiştir. Bu ilk göstergeler daha sonra doğrulanmış 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 alınmış olmakla beraber bu rakam 1995 yılında 6500'e yükselmiştir.

Maddenin sıvı kristal halinin keşfi Prag'daki Alman Üniversitesi'nde botanikçi olan Friederich Reinitzer tarafından 3 Mayıs 1888'de yapılmıştır. F.Reinitzer kolesteril asetat ve kolesteril benzoatın erimeleri esnasında renkli bir hadisenin vuku bulduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca kolesteril benzoatın çift erimli bir davranış gösterdiğini, kristalin 145,5°C'de bulanık bir akışkana dönüştüğü ve bunun da 178,5°C'ye ısıtıldığında berraklaştığını ifade etmiştir. Bunu takip eden soğuma,

kolesteril asetat eriyiğinin soğuması ile benzer renk etkilerini vermiştir [Gray ve ark., 1999]. Bu gözlemler kolesteril benzoatın katı, sıvı kristal ve sıvı olmak üzere üç farklı faza sahip olduğunu göstermiştir. Fakat Reinitzer bu yapıyı aydınlatamayınca Lehmann'a göndermiş ve Lehmann bu yapının sıvı kristal olduğunu söylemiştir.

Sıvı kristaller çoğunlukla organik ve daha az sayıda metal kompleksi şeklinde bulunan ve fiziksel özellikleri hem katı, hem de sıvıların özelliklerine benzeyen bileşiklerdir. Maddenin farklı halleri sadece katı, sıvı, gaz olarak bilinir ve ara hallerden pek söz edilmez. Sıvı kristal, sıvı ve kristal hal arası bir yapı düzenine sahip madde olarak tanımlanabilir. Mesela kolesterolün bir türevi olan kolesterol miristat 71°C'nin altında katı kristal haldedir. Bu sıcaklığa ısıtıldığı zaman yoğun bir sıvı şekline dönüşür. 86°C'ye erişildiği zaman berrak bir sıvı elde edilir. Yani 71°C'de katı halden ara hale, 86°C'de ise ara halden sıvı hale geçiş söz konusudur. Kristal ve sıvı faz arasında oluşan yoğun sıvı fazı sıvı kristal hal olarak adlandırılır.

Sıvı kristal göstergeler dizüstü ve masaüstü bilgisayar ekranları, televizyon ekranları, hücresel telefonlar ve kişisel sayısal yardımcılar (KSY) gibi düz panel göstergelerde, dijital saat, hesap makineleri, osilografik göstergelerde, radyasyon ve basınç sensörlerinde, otomobil ve uçakların gösterge panellerinde geniş kullanım imkânı bulmaktadır. Bunda en önemli etken olarak düşük güç tüketimi gösterilmektedir [Huh ve Kim, 2002; Zhang ve ark., 2003]. Bir başka görüşe göre sıvı kristal göstergelerin yaptığı atılım ve başarısına ana sebep olarak, görünüm hoşluğu ve daha da önemlisi taşınabilir birimler için daha uzun batarya ömrüyle sonuçlanan çok küçük boyuttaki güç tüketimleri gösterilebilir [Gümüş, 1999].

Hemen hemen bütün maddeler molekül yapılarına göre farklılıklar göstermektedirler. Bu yapılar katı, sıvı ve gaz hallerdir ve bu haller çeşitli dış etkenlerle değişikliğe uğramaktadırlar (ısı, basınç, kimyasal etkileşim v.b.). Sıvı kristal hali maddenin katı ve sıvı hal durumlarının birleştiği özel bir durum olarak ifade edilebilir, bu iki hal arasında madde iki farklı haldedir ve iki farklı özellik göstermektedir. Sıcaklık

artıkça katı kristal yapıda moleküllerin üç boyutlu örgü düzeni iki boyutlu örgü düzenine geçiş yapmaktadır. Yapı olarak katı özellikleri taşırlar, fakat görünüş olarak sıvıdır. Katı ile sıvı arasındaki bu ara fazlarda madde sıvı kristal halde bulunmaktadır. Bu fazda moleküller arası düzenlilik ve yönelim en belirgin özellik olup bu yapı anizotropiktir.

Doğada bazı organik maddeler katı, sıvı ve gaz fazının dışında dördüncü bir faz özelliği gösterirler. Bu faz durumunda bu tip maddeler katı ve sıvı özelliklerinin bir karışımına sahiptir. Sıvıların akıcı özellikleri ve katıların uzun mesafede moleküler düzenini sıvı kristaller bir araya getirir. Sıvı kristallerin bazı özellikleri şunlardır:

- 1- Normal bir manyetik veya elektrik alan uygulaması ile monokristalleri oluşturma isteği,
- 2- Katı ve sıvılarda görünmeyen mertebelerde kolesterik 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 sağlanması

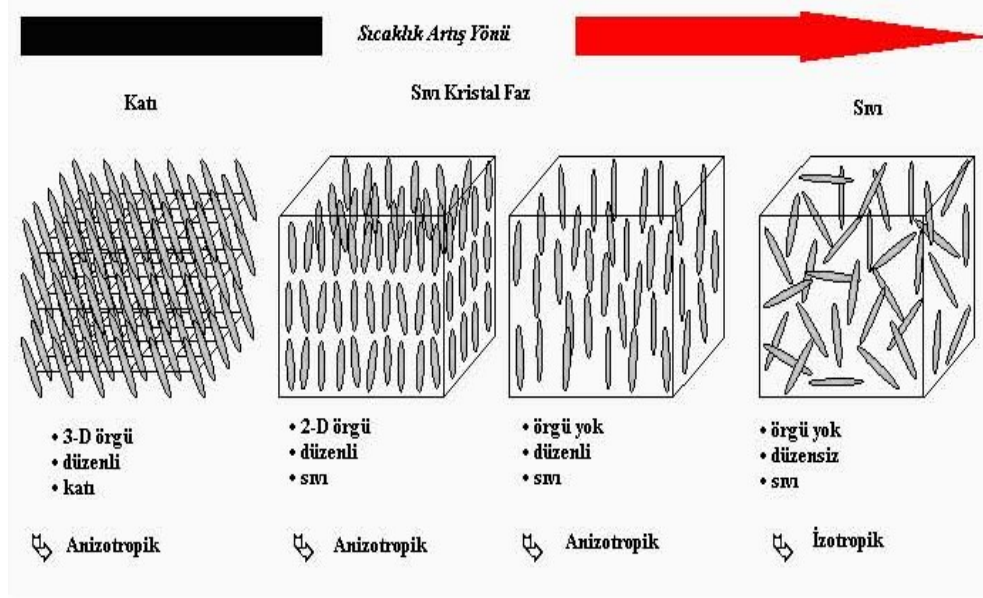
olarak sıralayabiliriz.

Sıvı kristal yapılarda ara faz olarak adlandırılan durum, sıvılardaki akıcılık özelliklerine sahip olmaları ile beraber kristallerdeki optik özellikleri göstermeleridir [Eser, 2006].

2.2. Sıvı Kristal Tanımı ve Özellikleri

Madde geleneksel olarak katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılmaktadır. 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 2.1). Erime sonrası oluşan sıvı fazda, moleküller konum ve yönelim yönünden kısa erişimli ilişkilere sahiptir.



Şekil 2.1. Katı kristal ile izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklığa bağlı geçiş

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 uygulamalardaki yerini daha da sağlamlaştırmıştır [Preistley ve Wojtowicz, 1975; Köysal, 2007].

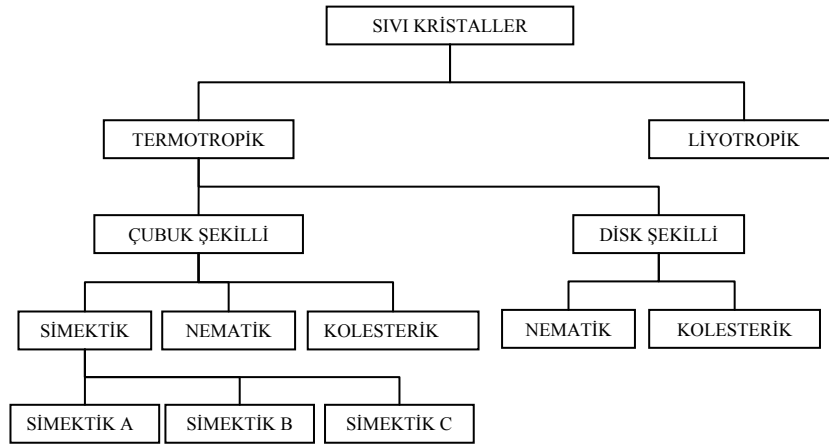
2.3. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristallerin kendine özgü durumunu anlamak için kristalin (katıların) erime noktasında karşılaşılan durumu gözden geçirmek yerinde olacaktır. Kristallerde moleküllerin kütle merkezleri, üç boyutlu periyodik örgü içinde düzenli olarak yerleşmişlerdir.

Kristaller eridiğinde, uzun erişimli konumsal düzenin ortadan kalkması sonrası oluşan kısa erişimli konumsal düzeni temsil eden ve difüz (dağınık) yansımalar gösteren X-ışını desenleri gözlenmektedir. Böyle bir ortam her doğrultuda aynı fiziksel özellikleri göstermesi nedeniyle izotropik karakterdedir. Moleküllerin çubuk biçimli olduğunu düşünürsek konumsal düzenin yanı sıra moleküllerin yönelimlerinden kaynaklanan uzun erişimli bir yönelimsel düzen de söz konusudur.

Böyle bir kristalin erime noktasında (T_m) konumsal düzenin ortadan kalkmasına rağmen, moleküllerin yönelimsel düzeni mevcut kalabilmektedir. Bu düzenden dolayı ortam akışkan nitelikte olmakla beraber anizotropik özellik göstermektedir. Biraz daha ısıtma sonrası her tür simetri ve yönelim düzeninin ortadan kalkması ile madde tümüyle sıvı faza geçmiş olur. Sıvı kristal faz gösteren maddeler erime noktasında kristal yapıyı kaybedip bulanık görünümlü bir sıvıya dönüşmektedir. Bu halin çapraz polarizörler arasında incelenmesi sıvı kristallerin kuvvetli çiftkırıcı özellik taşıdıklarını göstermektedir.

Sıcaklığın daha da artırılmasıyla ikinci bir faz geçiş noktasına ulaşılır ki bu geçiş noktası da berraklaşma sıcaklığı (T_{cl}) olarak isimlendirilmektedir. Erime ve berraklaşma sıcaklıkları sıvı kristal fazın termodinamik olarak kararlı olduğu sıcaklık bölgesini tanımlar. Sıvı kristaller oluşum sebeplerine göre termotropik ve liyotropik olmak üzere iki ana kısma ayrılırlar. Termotropikler çubuksu veya disk biçimindeki moleküllerden oluşmaktadır. Liyotropikler ise amfibilik nitelikli uzun zincirli moleküllerdir. Şekil 2.2.'deki şemada sıvı kristallerin sınıflandırılması gösterilmektedir [Khoo, 1995; Blinov ve Chigrinov, 1996; Collings ve Hird, 1997; San, 2002].



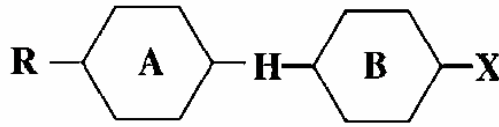
Şekil 2.2. Sıvı kristallerin sınıflandırılması

2.3.1. Termotropik sıvı kristaller

Bazı organik maddeler ısıtılma neticesinde kristal yapıdan izotropik sıvıya geçerken tek basamaklı geçiş yerine ara fazlar içeren basamaklı geçiş gerçekleştirirler. Ara fazlar sıcaklık veya basınç etkileriyle ortaya çıkmaktadır. Söz konusu ara fazları gösteren organik veya organo-metalik bileşikler “Termotropik Sıvı Kristaller” olarak isimlendirilir. Termotropik sıvı kristallerin birtakım ortak özellikleri vardır. Bunlar; moleküllerin genelde çubuksu yapıda olması, molekülün uzun eksenini boyunca yer alan aromatik halkalar nedeniyle molekülün rijit bir yapı sergilemesi, molekül yapılarında polar gruplar ve kalıcı dipoller bulunması ve genelde molekül eksenini boyunca kuvvetli dipollerin molekül uçlarında ise zayıf polar grupların bulunmasıdır [Gennes ve Prost, 1998; San, 2002].

Sıvı kristallerin çoğu yüksek derecede anizotropiktirler ve dönen katı çubuklar ya da elipsoidler ile kendi genişliklerinden daha büyük olan boyları ile iyi derecede benzerlik gösterirler.

Düşük moleküler kütleli sıvı kristaller şematik olarak Şekil 2.3’de görülmektedir:

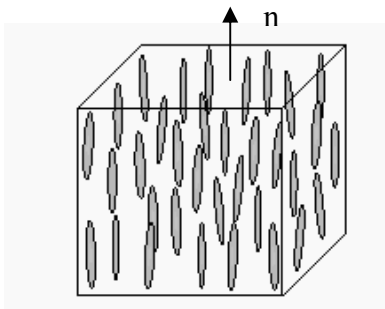


Şekil 2.3. Tipik bir sıvı kristal yapı

Burada X yan halka, R uç alkil grubu, A ve B ise aromatik halkaları ifade etmektedir [Wang, 2004].

Nematik sıvı kristaller

Nematik sıvı kristaller yüksek çift kırılma, kolay sentez, yüksek hassasiyet ve yapısal esneklik gibi özellikleri olan yararlı malzeme karakteristiklerine sahiptirler. Bu yüzden nematik sıvı kristaller, gerekli doğrusal olmayan optik fonksiyonların üretilmesindeki kullanımlarından ötürü büyük öneme haizdirler [Ono ve Ito, 2003]. Optik olarak indüklenen nematik sıvı kristal-direktör yönlenmesi, olağanüstü doğrusal olmayan refraktif indeks değişimi ve holografik depolamaya yol açar. Bu durum, uygun boya moleküllerinin ve/veya nanopartiküler katkılar ile daha da iyileştirilebilmektedir. Bu türde uzun erişimli bir yönelimsel düzen söz konusudur. Moleküllerin yönelimi, doğrultu olarak isimlendirilen bir n vektörü ile temsil edilmektedir. Nematik düzende moleküller birbirine göre paralel yönelime sahip olmakla beraber birbirlerine göre rölatif hareketlerinde serbesttirler, böylelikle sıvı özellikleri söz konusu olmaktadır (Şekil 2.4).

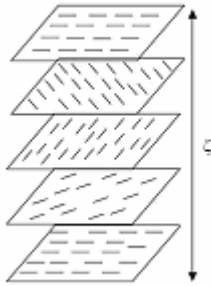


Şekil 2.4. Moleküllerin nematik fazda aynı doğrultuda yönelimi

Nematik fazda moleküller üç yönde hareket edebilir ve uzun eksenleri etrafında dönebilirler. Moleküller konumsal bir düzene sahip olmayıp rast gele dizilmişlerdir. Dolayısıyla sıvılara oldukça benzemektedirler; ancak yönelimsel düzene sahip olmaları onları diğer sıvılardan ayırt etmektedir [San, 2002; Gennes ve Prost, 1998].

Kolesterik sıvı kristaller

Bu tür sıvı kristaller genel olarak kolesterol türevlerinde gözleendiğinden bu adı almıştır. Kolesterik sıvı kristal bir ortamda moleküllerin doğrultu boyunca yönelimleri söz konusu olmakla beraber doğrultu, ortam içerisinde sabit kalmayarak helezonik bir dönüş sergilemektedir. Şekil 2.5.'te kolesterik sıvı kristallerin yapısı sunulmaktadır.



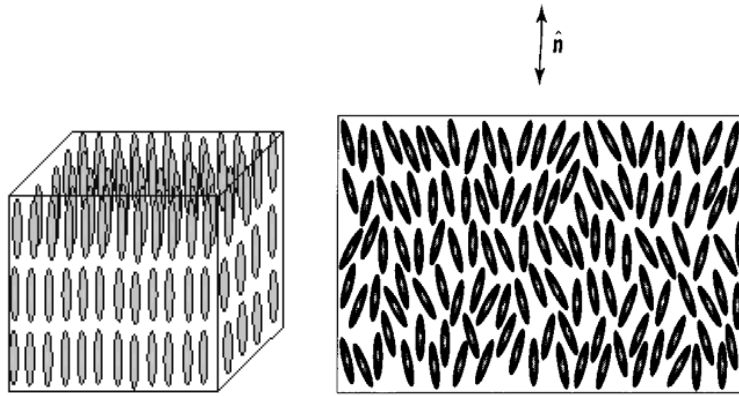
Şekil 2.5. Kolesterik sıvı kristal

Kolesterik sıvı kristaller ilginç renk etkileri sergilemektedir. Eğer λ dalga boylu ışık katmanlar üzerine dik olarak gelirse $\zeta = n \cdot \lambda$ (n = tamsayı, ζ =helezon adımı) olmak şartıyla Bragg yansıması gerçekleşmektedir. ζ mesafesinin sıcaklığa bağlı olduğu göz önüne alınırsa bu tür malzemelerin sıcaklık sensörü olarak kullanılabileceği söylenebilir. Helezon adımının sıcaklıkla değişmesi, gün ışığında $0,01^\circ\text{C}$ 'lik; monokromatik ışıkta ise $0,001^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklık farklılıklarının kolesterik sıvı kristal maddelerle ayırt edilebilmesine imkân sağlamaktadır. Kolesterik sıvı kristallerin bu özelliğinden faydalanılmakta, elektronik devrelerin veya mikro yapıların kusurlarının belirlenmesinde, şok dalgalarının uçakların yüzeylerindeki etkilerinin incelemesinde

ve hastalıklı dokuların teşhisinde bu yapıli malzemelerden yararlanılmaktadır [San, 2002].

Simektik sıvı kristaller

Simektik yapıda çubuksu veya disk şeklindeki moleküllerin uzun eksenleri katman düzlemine dik olacak şekilde yerleşirler. Moleküller bu katmanlar içinde belli aralıklarda yerleşirler ve aynı doğrultu boyunca yönelirler.



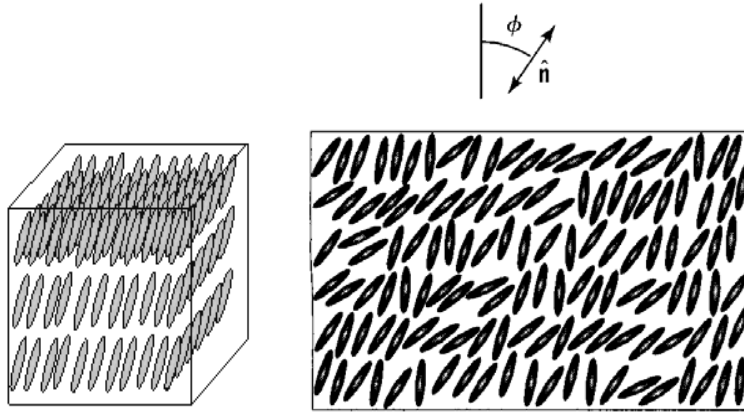
Şekil 2.6. Simektik yapıda moleküllerin katmanlar halinde ve $\hat{n}$ direktörü boyunca yönelimi

Bu yapıda moleküller kendi katmanları içinde hareket ederken, katmanlar arasında hareket edemezler. Yapı; moleküllerin katman düzlemindeki yönelimlerine göre kendi arasında iki ana gruba ayrılmıştır.

Simektik A (S_A) fazında molekül eksenleri tabaka normali boyunca yönelirler (Şekil 2.6). Aynı tabaka içinde hareket edebilen moleküllerin tabakalar arasındaki hareketi yasaklanmıştır. Yapıda; viskozitenin çok yüksek değerde olması nedeniyle cihazlardaki uygulamaları pek kullanışlı değildir.

Simektik B fazı ise hekzagonal bir paketleme düzeni göstermektedir. Simektik B (S_B) fazının bazı özellikleri sıvı kristalden çok katı kristale benzemektedir. Simektik C (S_C) yapısı X -ışını saçılmasından elde edilen veriler sonucunda belirlenmiştir. Bu verilerden bazı simektik fazların moleküler uzunluğunun tabaka kalınlığından daha

fazla olduğu görülmüştür. Bu durumda moleküler eksenlerin tabaka normali ile açı yapacak şekilde bulunabileceği ortaya çıkmıştır (Şekil 2.7) [Köysal, 2007; Preistley ve Wojtowicz, 1975].



Şekil 2.7. Simektik C (S_C) fazında moleküllerin normalden belli bir ϕ açı değeriyle saparak yönelimi

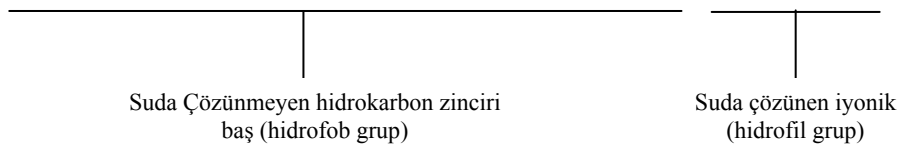
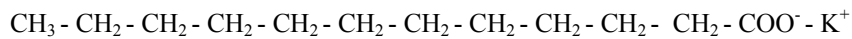
2.3.2. Liyotropik sıvı kristaller

Liyotropik sıvı kristaller bir veya birkaç bileşiğin karışımından oluşmaktadır ve grupta faz değişimine sebebiyet veren etken konsantrasyondur. Çubuksu yapıda bazı moleküller, tütün mozaik virüsü (TMV) gibi bazı puro biçimli cisimcikler, kimi yapay polipeptitler ve amfibilik uzun zincirli moleküller; polar bir sıvı (örneğin su) içinde belirli konsantrasyonlarda bulundurulduğu veya çözündürüldüğü takdirde bazı ara faz durumları gözlenir.

Polar ya da iyonik uç grup ve uzun bir hidrokarbon zinciri içeren moleküllerin (çift karakterli moleküllerin) belirli oranlarda uygun bir çevrede (su) çözünmeleri sonucu liyotropik sıvı kristal sistemleri elde edilir. Bu sistemler termotroplardan farklı olarak yalnızca belirli sıcaklık aralığında değil; aynı zamanda belirli konsantrasyon aralığında da mezamorf özellik gösterirler.

Amfibilik bileşikler (çift karakterli); molekülün bir ucunda suda çözünmeye eğilimli polar bir başlık, diğer ucunda ise suda çözünmeyen organik bir kuyruktan meydana gelmektedirler. Yani aynı molekülde çözünabilirlik özelliğinden dolayı iki farklı grup yer almaktadır.

Çift karakterli moleküllere potasyum lavrat (potasyum dodekanoat) örnek verilebilir.



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, moleküller fazın hidrokarbon kısımlarında (alkil kuyruk etrafında) toplanır. Amfibilik moleküllerin önemli bir özelliği hidrokarbon kısımların birlikte toplanarak ve düzenlenerek su ile temastan kaçınması, hidrofil kısımların ise mümkün olduğunca su ile temasta olma eğilimidir. Bu özellik çok büyük çeşitlilikte olan grupların ve liyotrop fazların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Liyotrop sıvı kristalleri oluşturan yapı elemanları arasındaki etkileşimler iki türdür.

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

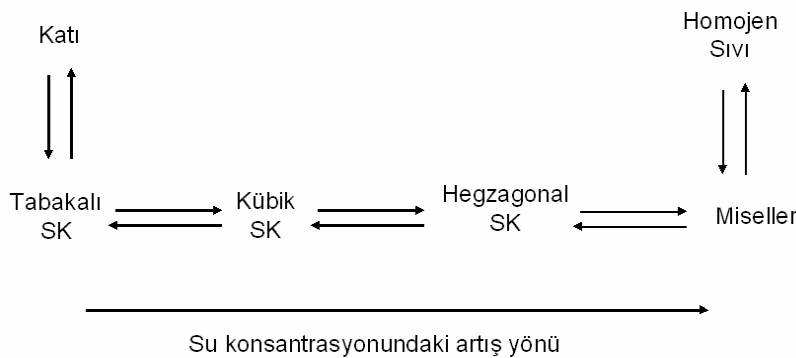
Miselli sıvı kristal yapan çift karakterli moleküller belli bir miktar suda çözüldükleri zaman uç gruplar (hidrofil gruplar) su içinde çözünür. Hidrokarbon kısımları ise suda çözünmedikleri için sudan uzaklaşarak bir arada toplanır. Suda çözünmeyen bu hidrokarbon zincirine suyu sevmeyen hidrofob kısım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

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

a. Normal Misel : Hidrofil gruplar miselin dış sınırında toplanır, hidrofob kısımlar ise miselin iç kısmını doldurur.

b. Ters Misel : Hidrofil gruplar miselin içinde hapsettikleri 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. Buna hidrofobik etki adı verilir. Bu etkiyle, hidrofil polar uç gruplar bir arada, hidrokarbon kısımları da bir arada toplanırlar. Bunun sonucu, su miktarına bağlı olarak izotrop ya da anizotrop çözeltiler oluşur. Misel yapısına sahip anizotrop çözeltilere *miselli sıvı kristaller* ya da *liyotropik sıvı kristaller* adı verilir. Liyotropik sıvı kristal kavramı; hem çift tabaka, hem de bu yapıya sahip olmayan sıvı kristal sistemlerini de kapsar. Fazların oluşum sırası yoğunluk takibi ile gözlenebilir. Karışımındaki su konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak ortaya çıkan fazların oluşum sırası Şekil 2.8'deki gibidir [Akar, 2006].



Şekil 2.8. Liyotropik fazda konsantrasyona bağlı faz geçişleri

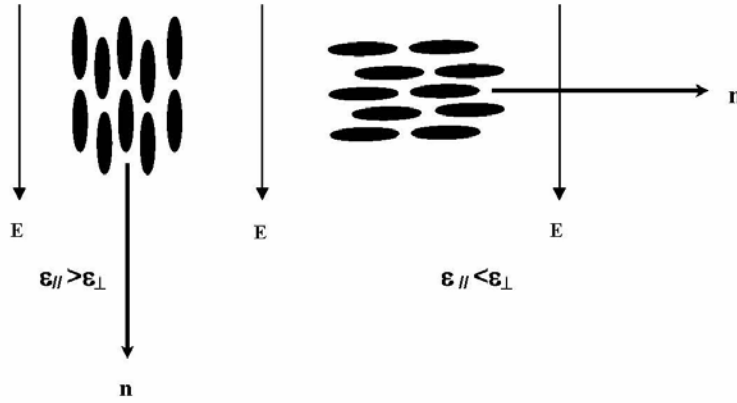
2.4. Sıvı Kristallerin Fiziksel Özellikleri

Lazer teknolojisindeki ilerlemeler sonrasında, materyallerin optik özelliklerinde ışıqla meydana gelen değışiklikler kolaylıkla incelenebilmektedir. Sıvı kristaller sıradan olmayan özellikleriyle optik yönden ilginç maddelerdir. Bu malzemelerde, moleküler yönelim mertebesi ve ortalama moleküler yönelim dış etkilerle değışebilir. Bu etkiler mekanik gerginlik, manyetik veya elektrik alan gibi parametrelerdir. Sıvı kristaller ileri seviyede çift kırıcı maddeler olup yüksek elektrooptik ve magnetooptik katsayılara sahiptirler [Blinov ve Chigrinov, 1996; San, 2002].

2.4.1. Sıvı kristallerin optik özellikleri

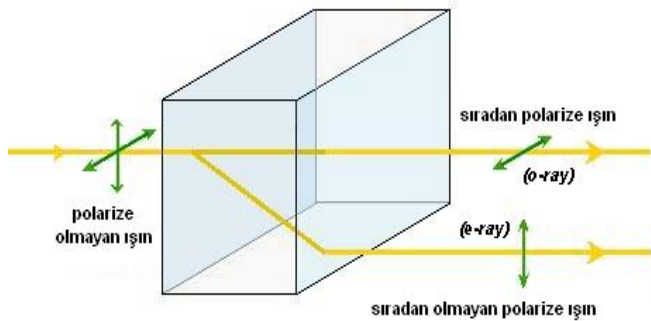
Nematik sıvı kristaller çift kırıcı özelliktedir. Bundan dolayı, direktör ve buna dik yönde ölçülen kırma indisleri arasında belirgin bir fark ortaya çıkmaktadır. Böyle bir madde sıvılara ait akışkanlık özelliklerine sahip olmakta; ancak elektrik, manyetik ve optik özellikleriyle anizotropi göstermektedir. Nematik sıvı kristaller elektrik ve manyetik alan gibi dış etkilere karşı son derece hassastır. Sahip olunan moleküler yönelim uygulanan bir elektrik alanla değışebilmekte, bu da az önce bahsedilen anizotropiden ileri gelmektedir. Nematik sıvı kristal üzerine bir dış elektrik alan uygulandığı zaman, ortamdaki esneklik kuvvetleri molekülleri önceki konumlarını muhafaza etmeye zorlamaktadır. Bu zorlamayı yenmek için elektrik alanının bir eşik değeri söz konusudur. Normal olarak kalıcı veya indüklenmeli elektriksel dipole sahip olan moleküller hangi fazda olursa olsunlar uygulanan bir alan boyunca yönelmek eğilimindedirler. Sıvılarda moleküllerin düzensiz hareketleri alan boyunca yönelme şansını ortadan kaldırırken, katılarda moleküller arası bağ kuvvetli olduğundan yönelimin gerçekleşmesi zordur. Sıvı kristal ortamdaki moleküller ise uygulanan dış alana karşı tepki göstermektedirler. Dielektrik sabiti, uygulanan alan ile sıvı kristal madde arasındaki etkileşmenin ölçüsüdür. $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ ortamın dielektrik anizotropisidir. Burada $\epsilon_{\parallel}$ ve $\epsilon_{\perp}$; sırasıyla elektrik alana paralel ve dik yönde ölçülen dielektrik sabitlerdir. $\Delta\epsilon > 0$ ise direktör elektrik alana paralel, $\Delta\epsilon < 0$ ise alana dik olarak yönelir [Gennes ve Prost, 1998; Köysal, 2007]. Dielektrik anizotropi aslında sıvı kristal göstergelerin daha düşük eşik voltajında çalışmalarına

olanak sağlamalarından ötürü sıvı kristal bileşiklerin en önemli fiziksel parametrelerinden biridir [Sasada ve Miyazaka, 2003]. Bu durum Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



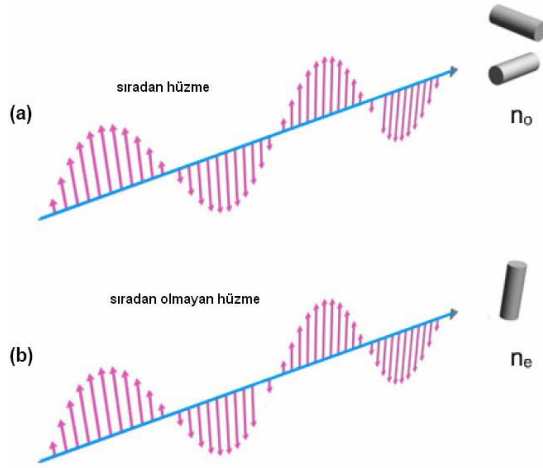
Şekil 2.9. Sıvı kristallerde dielektrik anizotropi

Yukarıdaki şekilde açıklanan durumun çift kırıcılık olayının başka bir yansıması olduğunu anlamak için kırılma indisiyle dielektrik sabiti arasındaki ilişkiyi hatırlamak yeterlidir. Polarize olmayan bir ışık hüzmesi sıvı kristale girdiği zaman iki hüzmeye ayrılır, bu hüzmelerde düzlem polarizedir. Elektrik alan vektörleri dik yönelimlerde ve sıvı kristal ortamda farklı hızlarda yayılmaktadırlar, dolayısıyla n_0 ve n_e olmak üzere iki farklı kırılma indisi oluşmaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Sıvı kristal ortamdaki polarize olmayan ışığın davranışı

Bunlardan ilkinde n_o , gelen polarize ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu sıvı kristalin direktör eksenine dik olacak şekildedir (Şekil 2.11-a). n_e 'de ise gelen ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu sıvı kristalin optik eksenine paralel olacak şekildedir (Şekil 2.11-b).



Şekil 2.11. Sıvı kristalde ışığın moleküler eksen boyunca yayılması; (a) Sıradan hüzme, (b) Sıradan olmayan hüzme; n_o sıradan kırılma indisi, n_e sıradan olmayan kırılma indisi

Optik Anizotropi, $\Delta n = n_{||} - n_{\perp}$, olarak da adlandırılan çift kırınım sıvı kristallerin karakterizasyonunda önemli rol oynamaktadır. Şayet optik eksene paralel yayılan hüzmenin kırılma indisi diğer bileşenden daha büyükse optik anizotropi pozitifdir. ($\Delta n > 0$); tam tersi durumda ise negatiftir ($\Delta n < 0$). Optik anizotropi özelliği optik anahtarlama, SK ekranlarda, faz geciktiricilerde ve elektriksel olarak kontrol edilebilen uzaysal ışık modülatörü gibi birçok cihazda geniş uygulama alanına sahiptir.

2.4.2. Sıvı kristallerin manyetik ve elektriksel özellikleri

Madde, manyetik alan içindeki davranışına göre temel olarak paramanyetik veya diamanyetik olarak sınıflandırılmaktadır. Fiziksel olarak dış manyetik alanın madde üzerindeki etkisi manyetik duygunluk (χ) olarak isimlendirilen parametre ile

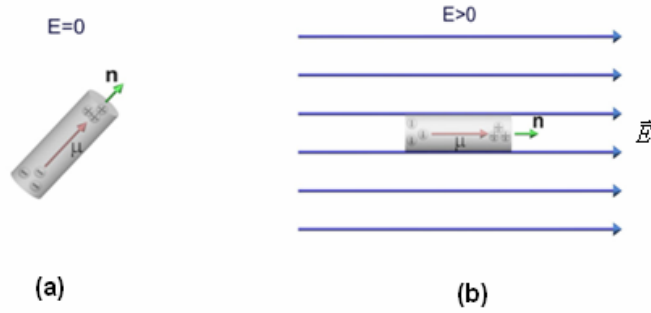
tanımlanmaktadır. $\chi = \delta M / \delta H$ ifadesinde M: manyetizasyon ve H: manyetik alandır. Herhangi bir anizotropik materyal için (mesela katı kristal veya sıvı kristal), χ yönelime bağlıdır ve dolayısıyla iki farklı manyetik anizotropiden bahsedilebilmektedir. Bu noktada başka bir nicelik diamanyetik anizotropi olarak tarif edilebilir ($\Delta\chi = \chi_{\parallel} - \chi_{\perp}$). Diamanyetik anizotropinin işareti optik anizotropi ile aynıdır. Paralellik ve diklik dış manyetik alanın yönelim referansına göredir. Sıvı kristaller NMR (nükleer manyetik rezonans) ölçümleriyle manyetik anizotropi işaretinin belirlenmesi, polarizasyon mikroskobu ile de çift kırılım incelenmesine göre sınıflandırılabilir.

2.5. Elektrik Alanda Sıvı Kristaller

Sıvı kristal malzemeler polar ve polar olmayan moleküller içerebilir. Polar moleküller molekül içindeki küçük yük ayrılmaları 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.

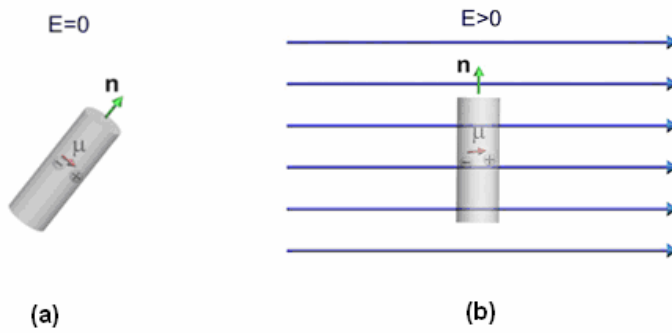
Sıvı kristal molekülde kalıcı veya etkiyle oluşturulan dipol, molekül eksen boyunca veya molekül eksenine dik olabilir. Eğer dipol moment moleküler eksene paralel veya paralele yakınsa $\Delta\epsilon > 0$ pozitif olur ve molekül dışarıdan uygulanan elektrik alana paralel olacak şekilde yönlenir (Şekil 2.12).

Eğer molekülün taşıdığı dipol moment molekülün uzun eksenine dik olacak şekilde yönlenmiş ise Şekil 2.13'te de görüldüğü gibi $\Delta\epsilon < 0$ olur ve sıvı kristal molekül elektrik alana dik konumlanır.



Şekil 2.12. Pozitif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristal molekülünün yönelimi;

(a) $E = 0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$



Şekil 2.13. Negatif dielektrik anizotropiye sahip sıvı kristal molekülünün yönelimi;

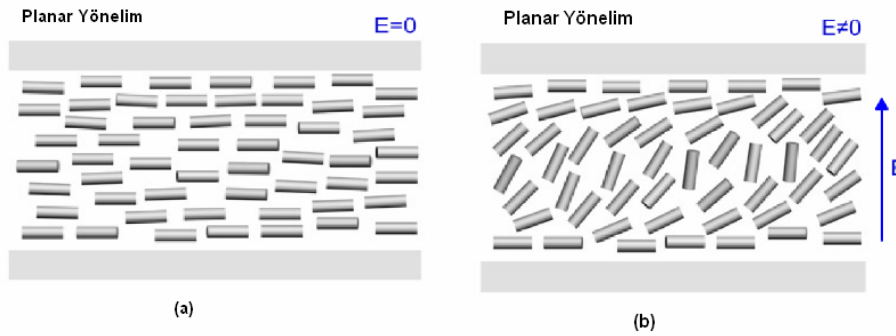
(a) $E = 0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$

SK molekülleri, elektrik alana n direktörünün yöneliminin bozulmasıyla kolektif olarak tepki verecekler ve sistemin serbest enerjisini minimize edecek şekilde bir yönelim oluşturacaklardır. Elektrik alanın serbest enerji katkısı $F_e = -1/2\epsilon_0\Delta\epsilon(E.n)^2$ ifadesi ile verilir. Buradan da görüldüğü gibi sıvı kristalin dielektrik anizotropisi ne kadar büyük olursa moleküllerin oryantasyonu için o kadar küçük elektrik alan gerekli olacaktır [Gennes ve Prost, 1998; Köysal, 2007].

2.5.1. Freedericksz geçişi

Ortamın dielektrik anizotropisi $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ ile verilir ve sıcaklık artışı ile azalır. İzotropik faza geçişi sıcaklığının üstünde bu değeri 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 eşiğı ya da diğer adıyla Freedericksz etkisi olarak adlandırılmıştır. Eğer uygulanan dış alan optik alan ise bu *Optik Freedericksz Geçişi* (OPG) adını alır.



Şekil 2.14. Planar yönelime sahip sıvı kristalde Frederick geçişi; (a) $E=0$ (elektrik alan yok), (b) $E \neq 0$ kritik elektrik alan değeriinde moleküler yönelim

Buna ek olarak uygulanan elektrik alan moleküllerin oluşturduğu dielektrik polarizasyon ile de etkileşebilir. Bu da bir direktör bozulması oluşturur. Fleksoelektrik etki olarak bilinen bu oluşum daha çok katılardaki piezoelektrik etkiye benzetilir.

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

3. BOYALAR

3.1. Boyaların Sınıflandırılması

Boyarmaddeleri kimyasal yapılarına, kullanım yerlerine ve uygulama tekniklerine göre sınıflamak mümkündür. Azo ve antrakınon boyaları gibi büyük molekülü boyaların alt bölümlere ayrılması boyama özellikleri açısından da faydalıdır. Böylece, antrakınon boyaların sınıflanması serilerdeki boyaların tümü için başlangıç maddesi olabildiğini göstermiş; ancak detaylı bir husus olarak grupları dispers, selüloz asetat, mordan, asit vb. boyalar şeklinde ayırmanın uygun olacağı kararlaştırılmıştır.

1876 yılında renk üretici gruplara boyaların sınıflandırılması önerilmiştir. Ancak bilindiği gibi renk yapı bağıntıları çok karmaşıktır ve boya kimyasının sistematik izahı için öncelikle yapısal birimler temel alınarak yapılan bir sınıflandırma daha uygun olmuştur. Azo grup, antrakınon çekirdeği ve heterosiklik halka sistemleri (pirazolon, tiazol, akridin, tiazin, oksazin) bölüm ve alt bölümün temelini teşkil eden yapısal birimlere örnektir.

Hazırlama ve uygulama metotları da sınıflandırma açısından faydalı olmuştur. Birçok boyada nitro grupları bulunmasına rağmen, nitro boyaların sınıf adı olarak kullanılışı hayati derecede önemli nitro gruplarının bulunduğu nitrofenoller, nitroanil aminlerle sınırlıdır. Tiyolleme ve sülfürleme ürünlerinin yapısı geniş ölçüde bilinmediğinden genel yöntemlerle hazırlanan boyaların hazırlanma şekline göre gruplanması bir avantaj sağlamıştır. Tiazoller ayrı sınıflandırılır, çünkü sülfür ve sülfid boyaları gibi direk kullanılamazlar, ama azo ve diğer boyaların hazırlanmasında ara ürün olarak kullanılırlar. Siyanin boyaları ve ftalosiyanınlar kendi aralarında sınıflandırılır. Birkaçı hariç siyanin boyaları fotoğraf duyarlaştırıcı olarak kullanılırlar. Bunlar çok sayıda olmalarına ve çeşitli heterosiklik ara ürünlerden türetilmelerine rağmen, kendilerine has yapısal özellikleri bulunmaktadır. Ftalosiyanınlar kısmen küçük bir grup oluştururlar, fakat sentetik boyaların arasında ayrı bir konuma sahiptirler. Çeşitli boyaların birleşiminden oluşan kinolin sarı gibi

diğer boyalar sınırlı sayıları ve belirsiz yapılarından ötürü ayrı bir sınıf şeklinde toplanmamıştır.

Bu iki sınıflandırma şekli (kimyasal yapı, boyama özelliklerine göre) arasında çok az ilişki vardır. Kimyasal yapı bakımından büyük bir grubu oluşturan azo boyarmaddeleri boyama özelliklerine göre yapılan sınıflamada hemen hemen her grupta yer alır.

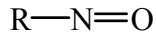
Bir boyacı her şeyden evvel boyarmaddenin boyama özellikleri bakımından hangi gruba girdiği ile ilgilenir. Kimyasal yapı onun için boyama özellikleri kadar önemli olmadığından burada kısaca bahsedilecektir. Ancak son yıllarda boyama alanları, yani boyadıkları elyaf türü de temel alınarak sınıflandırma yapılmaktadır. Bu aşamada doktora çalışmasının yapısına uygun olarak sadece kimyasal yapıya göre sınıflandırmadan bahsedilecektir.

3.1.1. Kimyasal yapılarına göre sınıflama

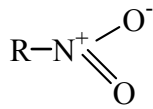
Kimyasal yapılarına göre en önemli boyarmadde grupları aşağıda verilmiştir:

Grup

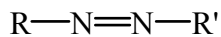
NİTROZO :



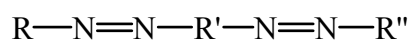
NİTRO :



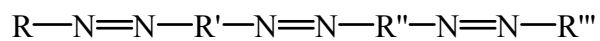
MONOAZO :



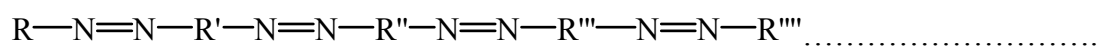
DISAZO :



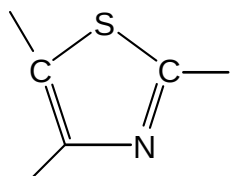
TRÍAZO :



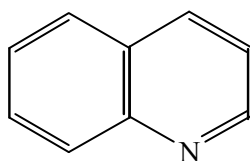
POLÍAZO :



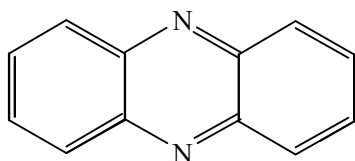
TIÁZOL :



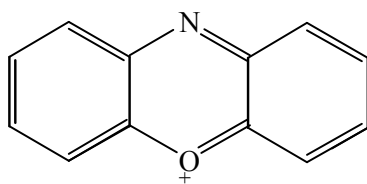
KINOLÍN :



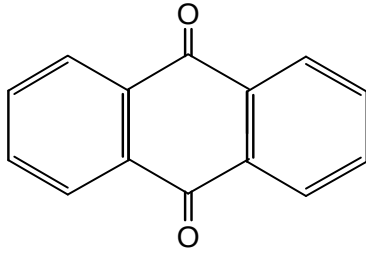
AZÍN :



OKSAZÍN :



ANTRAKİNON :



3.1.2. Kullanım yerlerine göre sınıflama

Tekstil boyarmaddeleri

Bu gruptaki bazı boyarmaddeler şunlardır:

Kükürt boyarmaddeleri

Bu grubun üyeleri kükürt içeren karmaşık yapılu organik bileşiklerdir ve selülozik elyafın boyanmasına yararlar. Renkleri parlak olmamakla beraber yaş haslıkları çok yüksek, fiyatları düşüktür.

Azoik boyarmaddeler

Bunlar suda çözünmeyen renklendiricilerdir. Suda çözünen kenetleme bileşeninin (naftol) fularlanmasından sonra, diazolanmış bir bazla muamele sonucu elyaf içinde oluşturulurlar. Selülozik elyafın uygun fiyatla parlak, has renklere boyanmasına yararlar.

Reaktif boyarmaddeler

Son yıllarda keşfedilen bu boyarmaddeler, selüloz ile reaksiyon vererek kovalent bağ oluşturdıklarından yaş haslıkları çok yüksektir. Bir çok halde soğuk çözeltide

boyayabildiklerinden ısıdan tasarruf sağlarlar, sürekli boyama yöntemleri için uygun olan boyarmaddelerdir.

Asit boyarmaddeler

Bunlar da direkt boyarmaddeler gibi sülfonik asitlerin veya çok ender olarak karboksilli asitlerin sodyum tuzları şeklindedirler. İstisnaları olmakla beraber çoğunun selülozik elyafa karşı ilgisi yoktur. Başlıca protein ve poliamit elyafın boyanmasına yararlar.

Krom boyarmaddeleri

Asit mordan boyarmaddeleri de denilen bu grup, yün ve poliamit elyafın boyanmasında kullanılır. Önce bir asit boyarmaddesi gibi elyaf üzerine çektirilir ve kromlama tamamlanır. Böylece yaş haslıkları çok yüksek boyamalar elde edilir.

Metal-Kompleks boyarmaddeler

Metal kompleksleri şeklinde imal edilen, yüksek haslıkta poliamit boyarmaddeleridir.

Pigment boyarmaddeler

Boyarmaddelerin özel bir grubu olan pigment boyarmaddelerinin tekstil elyafa karşı ilgisi yoktur. Bu nedenle reçine gibi bağlayıcı bir madde yardımıyla elyafa fıkse edilirler. Bunların üstünlüğü elyafın kimyasal bileşimine ve histolojik yapısına bakmaksızın basit bir teknikle her cins elyafa uygulanabilmeleridir.

Dispers boyarmaddeler

Hidrofob özelliğe sahip primer sekonder asetat ve sentetik elyafın boyanmasında dispers boyarmaddeler kullanılır. Bunlar, sudaki çözünürlükleri çok az olan organik bileşiklerin çok ince öğütülmüş süspansiyonları şeklinde uygulanır.

Bu sınıflamada görüldüğü gibi çeşitli boyarmaddeler farklı elyaf türleri üzerine farklı şekilde çekilirler. Çünkü çekim bir yandan boyarmaddenin yapısına, diğer yandan elyafın cinsine ve işlenme durumuna bağlıdır. Selüloz ile yünün boyanabilme yeteneği farklı olduğu gibi iplikle kumaşınki de farklıdır. Hatta iplik numarası ve iplik yoğunluğu bile boyama özelliklerine etki eder. Bu nedenle bir kumaşta bulunan ipliklerin numarasındaki, gerilimindeki, kumaş yoğunluğundaki veya diğer teknolojik sabitlerdeki değişiklikler boyamanın değişik olmasına neden olur.

Diğer taraftan selülozik yapılı her türlü elyaf aynı boyarmadde grubu ile boyanmakla beraber, pektin ve protein gibi yabancı maddeler içeren keten, kenevir ve koko elyaf selülozik yapıda olmasına rağmen bu yabancı maddeler nedeniyle pamuk, viskon gibi saf selülozik elyaftan oldukça farklı boyanma özelliklerine sahiptir. Pamuğun aksine bu tür elyaf anyonik (asit) ve katyonik boyarmaddelerle boyanabilir.

Çeşitli selülozik elyaf aynı boya banyosunda aynı boyarmadde ile boyandığında bile elde edilen renk derinliği ve erişilen renk tonu farklıdır. Çünkü her elyafın boyanması kendine özgü histolojik yapısına, doğal veya rejenere selüloz olmasına, kökenine, yabancı madde içeriğine ve uygulanan ön işlemlere göre değişir. Buna göre doğal ve rejenere selülozik elyaf arasında da fark vardır. Bütün bu faktörler elyafın işlenmesinde göz önünde tutulmalıdır.

Protein esaslı her türlü elyaf aynı boyarmadde gruplarıyla boyanır, çünkü prensip olarak aynı kimyasal yapıya sahip olan elyaf türleri aynı sınıf boyarmaddelerle boyanabilir. Fakat protein elyaf grupları arasında bile boyamada farklılıklara neden olan çeşitli faktörler vardır. Örneğin her yün cins-kökenine bağlı olarak ve hatta aynı yün lifinin çeşitli bölgeleri farklı boyanabilir. Aynı şekilde doğal ipek yünle

kıyaslandığında alkaliye karşı büyük direnç gösterdiğinden ipek, kaleviliği oldukça yüksek boya banyolarında boyanabilir. Yapay proteinler ise doğal proteinleri boyayan boyarmaddelerle boyanırlar, ancak boyama koşulları farklıdır. Boyanma davranışındaki farklar yalnız renk derinliğine ve renk tonuna etki etmeyip, bazı durumlarda haslık özelliklerinde de değişikliklere neden olur.

Bazı boyarmaddelerin bir elyaf türünü boyayıp, diğerini hiç boyamamasından teknikte elyaf karışımlarında karışık renk etkisi elde etmede yararlanılır. Bu şekilde bir elyaf karışımındaki her elyaf bileşenini farklı renk tonlarına boyamak mümkün olur. Diğer taraftan boyama davranışlarının farklı oluşu bazı teknik güçlükler de oluşturur, elyaf karışımlarının aynı tonda aynı yaş haslıkta boyanması güçleşir.

Tekstil dışında kullanılan boyarmaddeler

Bu grup; deri, kürk, kağıt, saç, gıda, mürekkep, fotoğraf, indikatör vb. boyaları şeklinde sınıflandırılabilir.

Fonksiyonel boyalar

Son yıllarda atılım yapan ve 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, doğrusal olmayan optik ve lazer gibi elektronik sistem boyaları; floresan sensörler ve probalar, fotodinamik terapi gibi biyomedikal uygulama boyaları sayılabilir.

Optik parlaticılar

Gün ışığından UV ışınları absorplayan ve absorpladığı enerjinin büyük bir kısmını mavi floresan ışık şeklinde tekrar neşreden reaktiflerdir. Bu yolla tekstil elyaf, kağıt ve plastik gibi malzemelerde görülen sararma etkileri giderilebilmektedir.

3.1.3. Uygulama sahasına göre sınıflama

Boyarmaddeler boyayabildikleri elyaf türüne göre de son yıllarda sınıflandırılabilirler. Bu tür sınıflamaya göre boyarmaddeler 3 başlık altında toplanabilir [Abrahart, 1977; Venkataraman, 1952; Özcan, 1978].

Selülozik esaslı elyaf boyamada kullanılan boyalar

- ◆ Direkt (substantif) boyarmaddeler
- ◆ Azoik (naftol) boyarmaddeler
- ◆ Küp boyarmaddeler
- ◆ Reaktif boyarmaddeler
- ◆ Kükürt boyarmaddeler

selülozik esaslı elyaf boyamada kullanılmaktadırlar.

Protein esaslı elyaf boyamada kullanılan boyalar

Protein esaslı elyaf boyamada kullanılan boyarmaddeler şunlardır:

- Asit boyarmaddeler
- Metal-kompleks boyarmaddeler
- Krom boyarmaddeler
- Reaktif boyarmaddeler

Sentetik esaslı elyaf boyamada kullanılan boyalar

Bu tür sınıflamada, kullanılan sentetik elyaf türüne göre boyarmaddeler üç grup altında toplanabilir.

- Poliamit elyaf için
 - Dispers boyarmaddeler
 - Asit boyarmaddeler

- o Metal-kompleks boyarmaddeler
- Polyester elyaf için
 - o Dispers boyarmaddeler
- Poliakrilonitril elyaf için
 - o Katyonik boyarmaddeler

3.2. Dikroik Boyalar

3.2.1. Azometinler

Azometinlerin polarizasyon spektrumu ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Özellikle 2-(4-dimetilaminobenzilidenamino)benzotiazoller sarı ve L-tipli boyalarındır ve S değeri 0,68 ile 0,70 arasında değişmektedir. Azometinlerdeki düşük düzenlilik (S) değeri sıvı kristaldeki moleküllerin dolgulanmasında boyarmadde yapısının yeterli olmamasına bağlanmaktadır.

3.2.2. İndigoid ve tiyoindigoid boyalar

Bu serideki boyaların dikroizm üzerine olan bilgileri sınırlıdır.

3.2.3. Merosiyanin boyalar

Bu boyaların incelenen en önemli özellikleri, sıvı kristallerde düşük pozitif dikroizm göstermeleridir. 4-metoksibenziliden-4-bütülanilin boyasının S değeri 0,170 ile 0,375 arasındadır. Polimetilen halkasının uzunluğuna bağlı olarak bu değer 0,46 ile 0,59 arasında olmaktadır. İlk ortaya çıkan T-boyalar bismerosiyanin ve katyon boyalardır.

3.2.4. 1,3-bis(disianometilen)indan boyalar

Çoğunlukla 2-süstitüe 1,3-bis(disianometilen)indan boyalar sentezlenmiş ve polarizasyon spektrumları çalışılmıştır. Bu boyarmaddeler 1,3-bis(disianometilen)indanların kondensasyonu ile elde edilmiştir. Bu gruptaki

boyaların uygulamaları, yüksek ışık hassasiyeti ve düşük S değerlerinden ötürü uygulamaları pek pratik olmamıştır.

3.2.5. Azulenler

Süstitüe olmamış azulen 600 nm civarında bir absorpsiyon bandına sahiptir. Genelde çözücünün yapısına ve kayıt edilen spektrumlarda şartlara bağlı olarak absorpsiyon bantları farklı şekillerde oluşabilir. Apolar çözücülerde açık absorpsiyon bandı söz konusudur. Daha polar çözücüler bandı daha düzgün hale getirir ve dielektrik sabitlerinin artması ile hiposokromik kayma söz konusu olur. Bantların yerleşimi ve yapısı önemli ölçüde süstitüenlerin pozisyonu ve yapısından etkilenir. Genelde S değerleri -0,05 ile 0,1 arasında değişmektedir.

3.2.6. Kinofitalonik boyalar

Bu boyalar yaklaşık 100 bileşeni ile, 446 ile 454 nm arasında geniş bir sarı renk yelpazesine sahiptirler. Bu boyalar genelde iki tiplidirler ve düşük pozitif dikroizme sahiptirler. S değerleri 0,51 ile 0,70 arasında değişmektedirler.

3.2.7. Perilen boyalar

Perilen yapılı boyaların arasında perilen-3,9-dikarboksilik asit esterler ve tioesterler detaylı çalışılan yapılardır. L tipli boyalar oldukça yüksek dikroizm ve mükemmel kararlılık gösterirler. Ayrıca sıvı kristalde iyi ışık haslığına sahiptirler. 475 ile 480 nm aralığında keskin bir absorpsiyon bandına sahiptirler ve sıvı kristalde orta derecede çözünürler.

3.2.8. Fitaloperinler

Fitaloperin grubundan oluşan turuncu boyaların böyle bir grubu 1,8-diamiofitalenlerin ve kendi analoglarının fitalik anhidrit ile kondensasyonu vasıtasıyla hazırlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda S değerleri, ZLI-1691 içinde 0,64-

0,82 arasında olmuştur. ZLI-1132 kristalinde L-boyaların daha yüksek dikroizme sahip olduğu vurgulanmıştır. Polikondensasyon ürünü boyalar da incelenmiş olup düzenlilik parametre değeri 0,64-0,76 olarak açıklanmıştır.

3.2.9. Trifenodiaoksazinler

2,9-disüstitüe trifenodioksazinler oldukça yüksek geometrik anizotropiye sahip olmalarına rağmen düşük kroizme sahiptirler, S değeri 0,68'ler düzeyindedir. Bu düşük değer, bileşiğin uzun geometrik ekseninden uzun dalga elektron geçiş osilatörünün sapmasıyla açıklanabilir.

3.2.10. İndolo[2,3-B]kinoksalinler

Bu gruptaki bazı boyaların polarizasyon spektrumlarının incelenmesinde bu boyaların düşük pozitif dikroizmlerinden ötürü pratikte ilgi çekmediği görülmüştür. S değerlerinin 0,18 ile 0,33 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

3.2.11. İmidazo[1,2-B]-1,2,4-triazinler

Sarı ve turuncu boyalar bir imidazol[1,2-B]-1,2,4-triazin grubunun içerilmesi ile sentezlenmiştir. S değerleri aynı kristalde indolo[2,3-B]kinoksalinlere göre daha yüksek olmuştur. Ancak genelde düzenlilik değeri 0,7'yi aşamamıştır.

3.2.12. Tetrazinler

Tetrazin polarize y eksenini boyunca $n-\pi^*$ geçişinden ötürü, görünür bölgede bir absorpsiyon bandına sahiptir. Bu nedenle fenil grubunun yer değiştirmesi ile sadece yeni kristaller değil; yeni yüksek negatif dikroizimli boyalar da oluşur. Yüksek geometrik düzene sahip tetrazinlerde S değeri 0,79'a kadar çıkabilmektedir [Ivashchenko, 1994].

3.2.13. Azo boyalar

Azo ve antrakinon boyalar uygulamada kullanılan boyarmaddelerin iki ana grubunu teşkil etmektedir. Bilindiği üzere azo boyaların yapıları sıvı kristal moleküle benzerdir ve bu nedenle mezojenik özellikleri antrakinonlardan daha iyidir [Jia ve ark., 2003].

Negatif dikroizme sahip azo boyalar da çalışılmış olmasına rağmen [Ivashchenko ve ark., 1984], azo boyaların pozitif dikroik boyalar olarak göstergelerde kullanılabilecekleri önerilmektedir. Perfloroalkil sübstitüe disazo boyalar alkil türevlerine nazaran daha yüksek çözünürlüğe sahiptirler. Ayrıca perfloro-p-fenilen disazo boyalarda p-fenilen türevlerine nazaran, ariloksi disazo boyaları trisazo boyalara göre daha fazla çözünürler. Azo boyarmaddelerin molekül yapısı incelidikçe daha yüksek dikroizm ile daha düşük çözünürlük meydana gelir. Perfloroalkil sübstitüe disazo boyaların düzen parametre değerleri alkil sübstitüe değerlerinden daha fazladır [Matsui ve ark., 2002].

Bunların yanı sıra tri, tetra ve penta azo boyalar da pozitif dikroik boyalar olarak bilinmektedir. Dikroik azo boyaların kimyasal yapıları güçlü elektron verici grupların (N,N-dialkilamino ya da hidroksi) türevleri ile sınırlıdır. Bu gruplar azo kenetleme işlemi için önemlidir. Ancak bu konuda detaylı pek bilgi bulunmamaktadır. Azolama ve kenetleme işleminin oluşması için aminlerin nitrozo ve nitro bileşikleri ile kondensasyonu, aromatik nitro türevlerinin indirgenmesi ve aromatik aminlerin oksidasyonu kullanılan tepkimelerdir. Bu tepkimelerden oksidasyon tepkimesi daha az sayıda basamak içermesinden ötürü avantajlı görülmektedir [Matsui ve ark., 1999].

L-Tip Azo Boyalar

Çalışmaların önemli bir bölümü L tipli azo boyaların araştırılmasını içermektedir. Bu, sıvı kristal için tipik bir durum olan boyarmadde yapısı ile öncelikli olarak açıklanabilir. Bunun yanı sıra çok sayıda 4,4'-disübstitüe azobenzenler sıvı

kristaldirler ve hem pozitif, hem de negatif anizotropiye sahiptirler. Sıvı kristal azobenzenler elektrooptik aygıtlarda pratik uygulama imkânı bulamamışlardır. Azo boyaların sıvı kristal olarak kullanılmasının en önemli nedeni renklendirmedi. Bunlara ek olarak azo boyalar, boyaların geometrik anizotropisi ile S değeri arasındaki bağıntının araştırılmasında rol oynamıştır.

Monoazo boyalar

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

Bisazo boyalar

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

Tris- ve poliazo boyalar

Tris ve poliazo boyaların sentezindeki en yaygın yöntem ya 4,4'-diaminobenzenlerin, veya 4,4'-diaminobisazobenzenlerin tetrazolanması, diazonyum tuzlarının farklı azo bileşenleriyle kenetlenmesi, 4-aminoazo veya 4-aminopoliazo boyaların tetrazolanmasını izleyen farklı aminlerin ve son olarak uygun azo bileşenlerin kenetlenmesidir. Trisazo boyalar hidroklorik asidin bulunduğu ortamda 4,4'-diaminobenzenlerin nitrik asitle tetrazolanmasını takip eden tetrazonyum tuzlarının m-krezol ve N-etil-1-naftilamin ile kenetlenmesi ile elde edilir.

Trisazo boyalar uç süstitüenlere bağı olarak 505 ile 575 nm arasında absorpsiyon yaparlar. Pentazo boyalar ise 325 ile 620 nm arasında absorpsiyon gerçekleştirirler. Bazı poliazo boyalarda S değeri 0,81' e kadar çıkmaktadır.

Metal-kompleks azo boyalar

Azo boyaların düzen parametre değerin metal komplekslerle artırılması araştırılmıştır. Nikel yapıya eklendiğinde düzen değeri 0,49 olurken, bakırın kompleks olduğu durumda bu değer 0,72'ye kadar çıkmıştır.

T-Azo boyalar

T tipi azo boyaların sentezi ilk olarak 1981 yılında yapılmıştır. Daha sonra bu sentez dikroik boyaların tasarımında hem teorik hem de deneysel olarak doğrulanmıştır. Bu amaçla kullanılan anizoller ve analogları azobenzenlere nazaran daha uygun görülmüştür. Bunun nedenlerinden birisi geometridir. Yapılan çalışmalarda LETO yönü ile dikroik boyadaki uzun geometrik eksen arasındaki açının artırılması yoluyla daha etkin azo boyalar elde edilebilmektedir.

L,T-Azo boyalar

L,T tip azo boyalar sadece 1,1'-bisarilidenamino-4,4'-diaril-2,2-azoimidazoller ile ortaya çıkmıştır ve bu yapı hem α -bromoasetofenonların kuanil hidrazonlarının reaksiyonu ile, hem de 2-amino-1-arilidenamino-4-anilimidazollerin aktif mangan dioksit ile okdidasyonundan elde edilir.

I-Azo boyalar

Sarı, kırmızı ve mavi renkli I-azo boyalar mevcuttur. 2-[4-(4-oktilfenil)fenil]-3-fenilazoimidazol[1,2-b]-1,2,4-triazin grubu sarı renklidir ve 413 nm'deki düzenlilik parametresinin değeri sıfırdır. Benzer yapılarda da S değeri -0,09'lar civarındadır.

3.2.14. Benzo ve naftokinonlar

Yaklaşık olarak 140 boyarmadde diazonyum tuzlarının 1,4-benzokinonlar ile reaksiyonundan elde edilir [Ivashchenko, 1994]. 1,4 naftokinonların E43 sıvı kristalindeki düzen değerleri 0,25-0,60 aralığında olmuştur. Maksimum dalga boyu da 465-535 nm arasında olmuştur [Jones ve Kirkby, 1984].

3.2.15. Antrakinon Boyalar

Antrakinon boyalar yüksek kimyasal, ışık ve elektrokimyasal kararlılıklarından ötürü büyük önem arz ederler. Ayrıca bu serideki boyalar görünür bölgenin tamamında absorpsiyon yapan boyaların sentezini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, sadece aminoantrakinonlar sarıdan maviye yaklaşık tam renk aralığını içermektedirler (Çizelge 3.1) [Ivashchenko, 1994]. Bununla birlikte antrakinon boyaların düşük ağırlıklı sıvı kristallerdeki çözünürlükleri her zaman memnun edici olmayıp sıklıkla yetersizdir ve sıcaklığa oldukça bağımlıdır [Jia ve ark., 2003].

Tekstil endüstrisinde kullanılan yaygın antrakinon boyalar göstergeler için uygun olmamaktadır. Normal olarak bunlar tek bir bileşiği temsil ederler ve düşük düzen değerine ve sıvı kristalde düşük çözünürlüğe sahiptirler. Bu nedenlerden dolayı sıvı kristalde istenilen çözünürlüğe ve yüksek S değerine sahip, özel gruplar içeren dikroik antrakinon serilerinin sentezlenmesi için girişimler başlamıştır.

Diğer önemli bir husus da iki etmen vasıtası ile tayin edilir: geometrik anizotropi ve dikroik boyanın uzun geometrik eksenine göre LETO'nun yönüdür.

Süstitüe olmamış 9,10-antrakinonların elektron spektrumlarında $n-\pi^*$ geçişlerinden (400 nm) kaynaklanan bir absorpsiyon serisi mevcuttur. Maksimum dalga boyu, polarize x eksenine boyunca $\pi-\pi$ geçişlerinden dolayı 324 ve 252 nm'dir, halbuki polarize y eksenine boyunca $\pi-\pi$ geçişlerinden kaynaklanan bantlar 249 ve 272 nm'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Aminoantrakinon boyaların renkleri

Sıra	Bileşik	Renk
1	2-Aminoantrakinon	Sarı
2	2,6-Diaminoantrakinon	Sarı
3	1,7-Diaminoantrakinon	Sarı
4	2,3-Diaminoantrakinon	Sarı-turuncu
5	2,7-Diaminoantrakinon	Turuncu
6	1,5-Diaminoantrakinon	Turuncu
7	1,6-Diaminoantrakinon	Turuncu
8	1,8-Diaminoantrakinon	Kırmızı
9	1,4-Diaminoantrakinon	Menekşe
10	1,4,5-Triaminoantrakinon	Menekşe-mavi
11	1,4,5,8-Tetraminoantrakinon	Mavi-yeşil

Aril, alkil gruplarının ya da halojenlerin antrakinon moleküllerine girmesi elektron spektrumu üzerinde çok az etkiye sahiptir. Güçlü elektron verici süstitüenler ise görünür spektral bölgede şiddetli absorpsiyon bantlarının oluşumuna yol açar [Ivashchenko, 1994].

Büyük oranda delokalize olmuş π elektron sistemli ve mükemmel termal karalılığa sahip boyarmaddelerin önemli bir grubu olan antrakinon türevleri doğrusal olmayan optik uygulamalarında büyük önem arz etmektedir. Önerilen antrakinon yapılar tipik olarak elektron çeken merkez halka ve yan halkalardaki bazı elektron veren gruplardan oluşur ve neticede yapı D-A-D (verici-alıcı-verici) şeklindedir. Bu tür türevler klasik olarak halojenlenmiş antrakinonlardan ya da leuko kinizarinlerden hazırlanır [Meng ve ark., 2003].

1,4- ve 1,5-disüstitüe antrakinonların düzen parametre değerlerinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Azo boyaların aksine antrakinon boyaların moleküler yapısı sıvı kristalinki ile benzerlik göstermez [Foitzik ve Haase, 1983].

Mono- ve polioksiantrakinon boyalar

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

S-süstitüe mono- ve polimerkaptoantrakinonlar

Bu gruptaki L tip antrakinon boyalar 1,4,5-tri- ve 1,4,5,8-tetraarilantrakinon yapıları kadar 1,4-, 1,5- ve 1,8-diarilantrakinonlardan oluşmaktadır. Diarilantrakinonlar 430 ile 455 nm aralığında absorpsiyon yaparlar, oysa tri- ve tetraariltioantrakinonlar sırasıyla 500-520 ve 520-550 nm aralıklarında absorpsiyon gerçekleştirirler.

Mono ve poliariltioantrakinonlar uygun kloroantrakinonlar ve arilmerkaptanlardan hazırlanır. Bu reaksiyon dimetilformamitli ortamda potasyum karbonat eşliğinde 120 ile 140°C aralığında gerçekleşir. Bu yöntem 1,5-bis-feniltio-, 1,5-bis(4-alkilfeniltio)-, 1,5-bis(4-alkoksifeniltio)-, 1,4,5-tris(4-alkilfeniltio)-, 1,4,5,8-tetra-(4-alkilfeniltio) antrakinonların ve diğer poliariltioantrakinonların sentezinde kullanılmaktadır.

S-süstitüe hidroksitioantrakinonlar

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

Aminoantrakinonlar

Bu gruptaki boyarmaddeler beş yüzün üzerinde bileşiği kapsayan L boyaların en büyük gruplarından bir tanesini temsil etmektedir. Süstitüe 1-amino-2-

okso(tia)diazol-2-il-antrakinonların ZLI-1691'deki S değerinin incelenmesi sonucu umut verici kırmızı bir dikroik boya ortaya çıkmıştır.

Bu bileşiklerin serileri için S değeri alkil ve süstitüe gruplara bağlı olarak 0,75-0,78 aralığında farklılık göstermektedir. Süstitüenlerin dikroizm üzerine etkisi LETO'nun yönündeki değişimlerden veyahut antrakinonun daha düşük geometrik anizotropiye sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Farklı süstitüenleri içeren 1,4-diaminoantrakinonların büyük bir bölümü hem amino grubunda, hem de antrakinon kısmında dikroik boyalar olarak çalışılmıştır. Alkil olarak bir metil ya da fenil grubu içeren 1-amino-4-(R-amino)antrakinonların düzenlilik parametre değeri sırasıyla 0,53 ve 0,38 olarak belirlenmiştir [Ivashchenko, 1994].

4. NEMATİK SIVI KRİSTAL GÖSTEGELER

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

4.1. Y-H Sistemleri (Guest-Host : Yolcu-Hancı)

Pleokroik boyarmaddelerin Y-H sistemlerinde sıvı kristaller içerisinde kullanılabileceği ilk olarak Heilmeyer ve Zanoni tarafından önerilmiştir [Heilmeyer ve Zanoni, 1968]. Y-H sistemleri dikroik bir boyanın içinde çözündüğü nematik bir sıvı kristalden oluşmaktadır ve elektrik alan uygulandığında yüksek kontrast ve parlaklığa sahip boyanın absorpsiyon özelliklerinde değişim indüklenir. Dikroik boyarmaddeler düşük molekül ağırlıklı nematik sıvı kristallerdeki çözünmelerini takiben Y-H sistemlerindeki kullanımları geniş ölçüde incelenmiş olup G (yolcu) dikroik boyarmaddeyi ve H (hancı) sıvı kristali ifade etmektedir [Jia ve ark., 2003; Grabchev ve ark., 2001].

Yolcu-hancı etkisi boyaın elektronik spektrumları ile ilgili bilgi edinmek ve renkli ya da siyah-beyaz elektrooptik göstergelerin yapılarında olmak üzere iki önemli alanda kullanılmaktadır. Bilinen göstergelerle karşılaştırıldığında, çift hücreli yolcu-hancı sıvı kristal göstergelerin en büyük avantajı polarizör ihtiyacını ortadan kaldırması ve bunun sonucunda yüksek parlaklık, düşük fiyat ve görünüm açısının kontrastının bağımsız olmasını sağlamasıdır [Lueder, 2001; Erdik, 1997].

Göstergeyi oluşturan hücredeki işlemler dikkate alındığında, Y-H sistemlerinde kullanılacak boyarmaddeler için aşağıdaki şartlar aranır:

- Yüksek düzenlilik parametresi,
- Sıvı kristalde iyi çözünürlük,

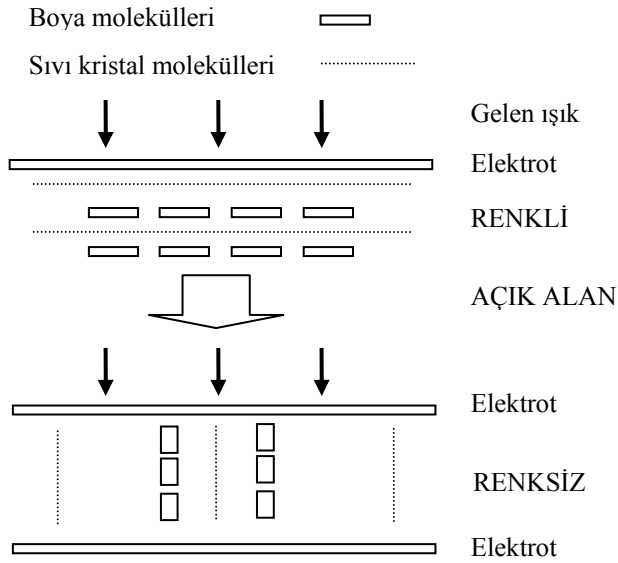
- Naniyonik yapı,
- Ultra saflık,
- Kimyasal, fotokimyasal ve elektrokimyasal kararlılık,
- Belli bir renk aralığında kullanılabilir ve siyah renk oluşturmak üzere karıştırılabilir,
- Boya tüketimini ve sıvı kristal viskozitesine etkiyi minimize etmek için molar absorpsiyon katsayısının yüksekliği [Bamfield, 2001].

Yolcu-hancı göstergelerin temeli, nematik bir hancı içerisinde çözünen dikroik boya molekülü ve elektrik alan uygulanması ile bunların yönlenmesinden müteşekkildir. Bu sistemlerde dikroik oranı artırmak amacıyla yapılan çalışmalarda çok farklı boyalar kullanılmıştır. Bu sistemlerde aşağıdaki parametreler öncelikli öneme sahiptir:

- Boya molekülleri sıvı kristalde iyi çözünmelidirler.
- Y-H sistemleri ışığa karşı kararlı olmalıdırlar.
- Sistem yüksek kontrast oranına sahip olmalıdır [Bagheri ve ark., 2001].

Yolcu-hancı sıvı kristal göstergelerinin kalitesi, hancı sıvı kristal ile yolcu boya molekülleri arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Yolcu-hancı etkisinin renkli sıvı kristal göstergelerinde kullanılabileceğinin farkına varılmıştır. Yolcu-hancı sıvı kristal göstergelerde dikroik boyanın (yolcu) küçük bir miktarı, yolcu moleküllerini 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.

Sıvı kristal göstergelerde istenen parametrelerin ortaya çıkmasını sağlamak için verilen sıvı kristal matris içinde seçilen boyanın iyi seçilmesi gerekir. Bu nedenle yolcu ve hancı moleküller arasındaki etkileşimin çok iyi bir şekilde bilinmesi gerekir.



Şekil 4.1. Sıvı kristal hücrenin çalışmasının şematik gösterimi

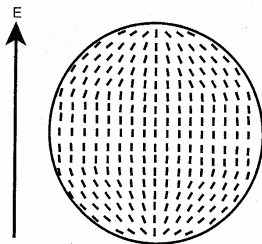
Şekil 4.1’de boya içeren sıvı kristal hücrenin nasıl çalıştığı gösterilmektedir. Basitçe sıvı kristal hücre sıvı kristal materyal (hancı) ve uygun bir boya (yolcu) karışımı ile doldurulur ve elektrik alan uygulanır. Böylece boya molekülleri uygulanan elektrik alana paralel veya bazılarında dik olarak sıralanmaya zorlanır ve boyanın geçiş dipol momentleri ışık dalgasına bağlı olan elektrik vektörü ile dikey konuma gelir. Bu yönlendirmede boya daha fazla ışık soğurmaz ve hücreden geçen ışık renksiz bir şekilde görülür.

Nematik sıvı kristallerde bu tarz bir etkileşim üzerine yapılan ilk araştırmalardan birisi Heilmeyer ve Zannoni’nin çalışmalarıdır. Bu çalışmada dikroik, yani optik absorpsiyon spektrumu moleküler yönlenmeye göre gün ışığının polarizasyonuna kuvvetli derecede bağımlı olan bir boyanın (yolcu - metil kırmızısı) yönlenmesinin uygulanan elektrik alanı içinde nematik hancı tarafından kontrol edildiği deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmacılar yaptıkları diğer bir çalışmada elektriksel alandaki bu yönlenmenin malzemenin optik yoğunluğunda ve sonuç olarak ortamdaki geçen ışığın renginde değişimle sonuçlandığını ileri sürmüşlerdir. Bu çalışmada pleokroizm sergileyen malzemelerin genellikle uzun, silindirik şekilli ve kromofor gruplar içeren maddeler olduğunu vurgulayan araştırmacılar pleokroik molekülün uzun eksenine polarize gün ışığının elektrik vektörüne paralel yönlendiği durumda

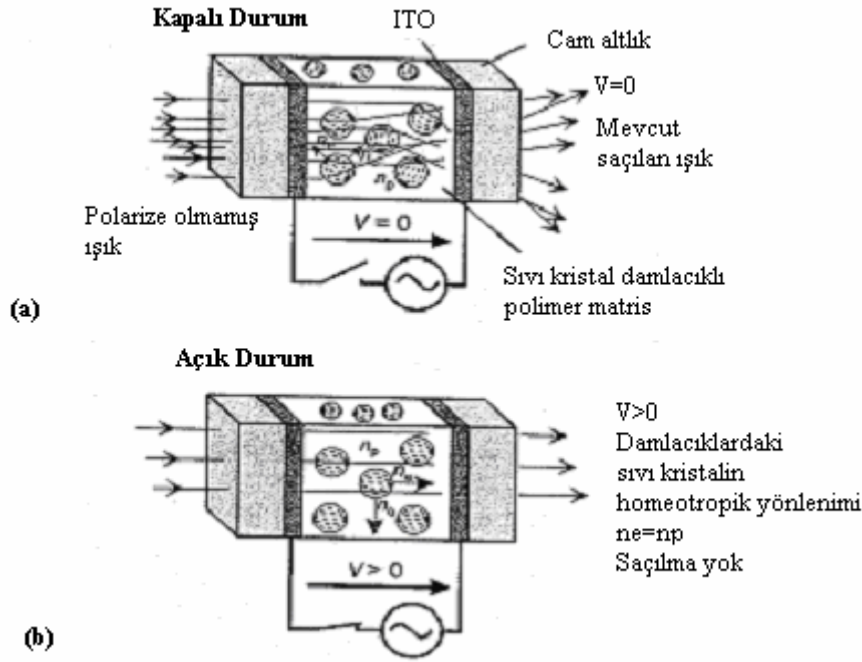
molekül tarafından ışığın soğurulacağını (düşük enerji geçişi) ve boyanın karakteristik renginin gözleneceğini söylemişlerdir. Tersine, yani dik yönlendiği durumda ise az soğurma gerçekleşir veya hiç soğurulma olmaz ki gün ışığı değişmeden geçirilir [Hallas ve Waring, 1990; Canbulat, 2006].

4.2. Polimer Dispers Sıvı Kristal Göstergeler (PDSKG)

Çapları 0,3-3 μm aralığında olan nematik sıvı kristal damlacıkları bir polimer bağlayıcı bünyesinde gömülü haldedir ve polarizör olmadan aktarıcı ve yansıtıcı göstergelerin işletilmesini mümkün kılar. Bu nedenle göstergeler, polarizörlerdeki ışık kaybı bertaraf edildiğinden daha parlak olacaktırlar. Damlacıklar genelde bipolar düzendeki sıvı kristal moleküllerini içerir (Şekil 4.2). Bu şekilde polimer bağlayıcı n_p indisi ile gösterilmektedir. Şekil 4.3'te ise voltajın uygulanmadığı durumda aktarıcı gösterge sistemi verilmektedir ve damlacıklar rastgele yönlenmektedirler. Gelen polarize olmayan ışık $n_f(\theta_e)$ ile temsil edilir ve $n_f \neq n_p$ 'dir. Dolayısıyla bu ışık kırılarak yansır ve 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 (Şekil 4.3-b) sıvı kristal moleküllerinin direktörleri elektriksel alana paralel olacak biçimde yönlenirler ve $n_{\perp} = n_0$ olur. $n_p \approx n_0$ olacak biçimde polimer seçilir. Bu indis ile uyumlu durumlarda sonuçta ışık çok canlı beyazlık sağlayarak geçebilir. Bu saydam hal, gelen difüze olmuş ışıktan kaynaklanan bazı puslu bir yapı gösterebilir ve moleküllerin tamamında olmayıp özellikle damlacıkların iç yüzeylerine yakın olanlarında, elektriksel alana mükemmel biçimde paralel hale geçerler.



Şekil 4.2. Polimer dispers sıvı kristal (PDSK) damlacığındaki sıvı kristal moleküllerin bipolar dizilimi



Şekil 4.3. Aktarıcı PDSK hücrenin işletimi (a) Voltajsız, (b) Voltajlı

Küresel hal söz konusu olduğunda voltaj kesildiği zaman damlacıklar düzensiz hale dönerler, eğer elipsoidal yapı olursa daha yavaş bir dönüş vuku bulur. Damlacıklar ya NCAP olarak adlandırılan mikro-kapsülleme prosesi ile ya da faz ayırma işlemi ile üretilirler.

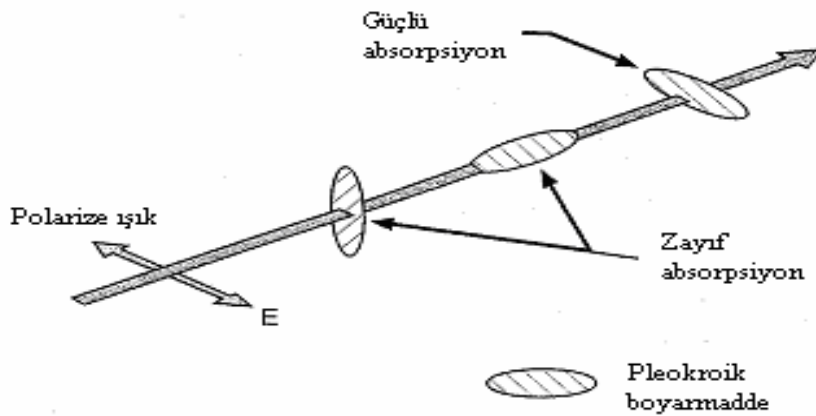
NCAP prosesinde polivinil alkol gibi bir polimer sulu bir emülsiyonda sıvı kristal ile karıştırılır. Bu emülsiyon ile iletken saydam bir alt tabaka kaplanır ve kurumaya bırakılır. Sonra bu film saydam bir altlığa lamine edilir. Damlacıklar genelde farklı boyutlardırlar.

Polimerizasyon indüklemeli faz ayırımı prepolimer sıvı kristallerin ve polimerizasyonu katalizleyen kuruma ajanlarının homojen bir çözeltisi ile başlar. Damlacık oluşumu esastır. Faz ayırımı ısı veya çözücü indüklemeli olabilir. Polimerin jelleşmesi damlacık morfolojisine bağlıdır.

Holografik polimer dispers sıvı kristalin açma voltajı ve tepki süresi farklı faktörlere bağlıdır, ancak en ağır basan 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 PDSK tabakasının kalınlığı ve damlacıkların yoğunluğunun artması ile artış gösterir. Bununla beraber daha kalın PDSK tabakası daha fazla voltaj gerektirir.

Azalan sıcaklıkla n_0 azalır, hâlbuki n_e artar; bu yüzden $\Delta n = n_e - n_0$ artar ve saçılma oluşur. Sonuç olarak voltajsız durumdaki geçirgenlik azalan sıcaklıkla düşüş gösterir ki bu da görüntünün daha koyu hal alması demektir.

Pleokroik boyalarla kontrast artırılabilir. Bu boyaların absorpsiyonu kendi moleküllerinin uzun eksenlerinin yönlenmesine bağlıdır. Şekil 4.4'e bakıldığında salınım yapan ışığın elektriksel alanı uzun moleküler eksene paralel olduğu durumda çoğunlukla güçlü bir absorpsiyon gerçekleşir, hâlbuki negatif dikroik boyalar için elektriksel alan uzun moleküler eksene dik durumda olduğundan çoğunlukla zayıf absorpsiyon gerçekleşir.



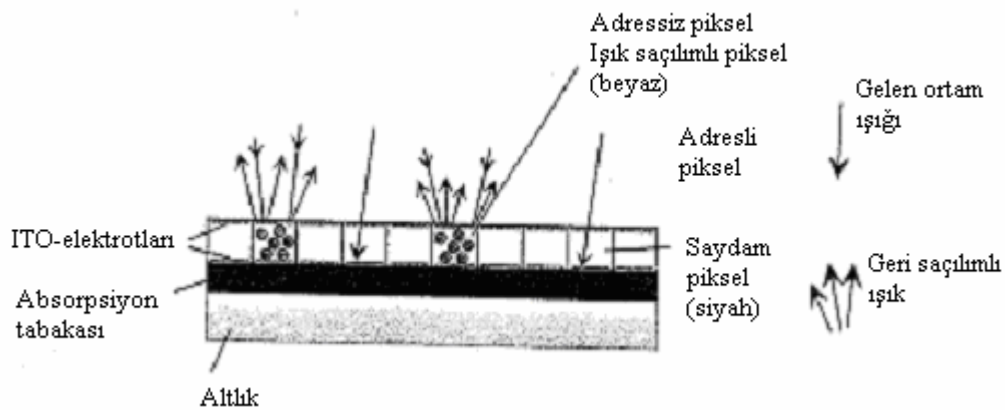
Şekil 4.4. Pleokroik boyalarca ışığın absorplanması

4.2.1. Polimer dispers sıvı kristal göstergelerin kullanımları

PDSKG hücreler çok ekonomik aygıtlardır. Bunlar pahalı polarizörlere ihtiyaç duymazlar ve nitekim çok parlaktırlar. Polimerin PDSK'i katılaştırmasından ötürü hücreler, TN hücrenin sıkıca kapatılmasına ihtiyaç duymaz. Buna ilaveten yönlendirme tabakası ve bu tabakanın sürtülmesi gibi işlemlere de gerek yoktur. Bu özellikler geniş alanlı görüntülerde kendilerine olumlu katkı sağlamaktadır.

Aktarımlı PDSKG ile PDSK tabakası ITO (indiyum kalay oksit) elektrotları taşıyan cam plakaların arasına sıkıştırılır ve bu durum Şekil 4.3'te görülmektedir. Ofis, ev ve arabalardaki pencereler ile ayarlanabilir saydamlık ve geniş görüş açılı parlak görüntüler uygulama alanlarıdır.

Şekil 4.5'te verilen yansıtıcı PDSKG'lerin işletimi, diğer yansıtıcı göstergelerin işletimi ile terstir. Voltajın uygulanmadığı durumda damlacıklar ışığı geri saçır ve pikseller parlak görünür. Parlaklık hem hücre kalınlığının artması, hem de daha büyük damlacık yoğunluğu ile artmaktadır. Voltajın uygulandığı PDSK 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.



Şekil 4.5. Yansıyan siyah ve beyaz PDSKG hücrenin ortam ışığı ile işletilmesi

Renkli ve siyah boya ile katkılanırılan yansıtıcı bir göstergede absorplayıcı, reflektörün üzerindeki pikselize olmuş renk firtresinin yerini alır. Voltaj uygulandığında renk pikselleri yüksek parlaklık ve renk saflığı ile göze çarpar. Voltajın uygulanmadığı durumlarda pleokroik boyalar kabul edilebilir bir karanlık sağlarlar. Gri gölgelerin arasında renk, renk firtresinin tepe noktasındaki damlacıklardan beyaz ışıık sağılması ile oldukça hızlı biçimde aydınlanır.

Canlı renklere sahip PDSKG'ler, voltajın uygulandığı durumda devamlı surette elektriksel alana paralel olarak yönlenen sıvı kristal polimerin yerini polimer bağılayıcının alması ile tasarlanabilirler [Lueder, 2001].

5. KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ

5.1. Dikroik Boyanın Düzenlilik Parametresi

Kapalı ve açık devreler arasındaki kontrastı maksimize etmek için yüksek bir düzenlilik parametresi gereklidir. Maksimum S değeri 1'dir, ancak 0,73'ten daha yüksek bir değerin iyi kontrast verdiği gözlenmiştir. Pozitif kontrastlı yani dikroik oranı pozitif olan boyaları kullanan Y-H tipi sıvı kristal göstergelerde beyaz alt zemine karşılık siyah şekiller, beyaz alt zemindeki renkli şekillerden daha iyi kontrast sergilemektedir. Sarı, kırmızı ve mavi boyalar uygun oranlarda karıştırılarak siyah boya elde edilebilmektedir. 1970-80 arası Y-H tipi sıvı kristal göstergelere büyük emek sarf edilirken, voltajdaki fazlalıktan ve az miktarda olsa bile boyadaki bozunma kabul edilemez boyutta güç kaybına sebep olduğundan dolayı ana uygulama tek renk panellerde olmuştur. Ancak ince ve geniş alan ekranların basit yolla yapımına imkân verdiği için kolesterik sıvı kristal göstergelere yenilenen bir ilgi söz konusudur [Bamfield, 2001].

5.1.1. Düzenlilik parametresinin tanımı

Geometrik olarak anizotrop bir boya sıvı kristalde çözündüğü zaman, boya molekülleri sıvı kristal yönünde (yani sıvı kristalin uzun moleküler ekseninin baskın yönlenme doğrultusu n boyunca) sıralanmaya meyleder. Dikroik boya etkinliğini değerlendirmede ana kriterlerden birisi, sıvı kristal yönüne göre boyanın renginden sorumlu olan uzun dalga elektron geçiş osilatörünün (LETO : Long-wave electron transition oscillator) düzenlenme derecesi veya diğer bir deyimle düzenlilik parametresidir. Bu parametre (S), DB'nin 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 $D_{||}$ ve $D_{\perp}$; sıvı kristal çözeltisi içindeki DB çözeltisinin, sırasıyla sıvı kristal yönüne paralel ve dik konumda ışık polarizasyonu için ölçülen optik yoğunluklarıdır. Kural olarak bu yoğunluklar maksimum absorpsiyon bandında ölçülür.

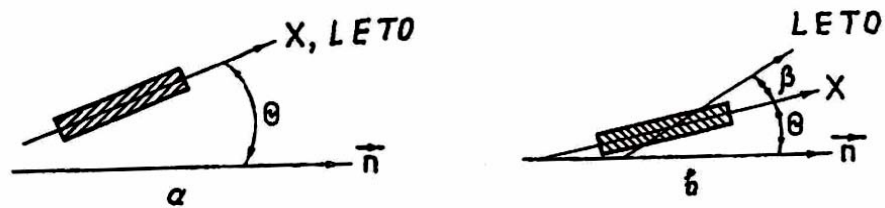
DB etkinliğini karakterize etmek için sıkça dikroik oran (R) kullanılır ki R'nin S ile ilişkisi şu şekildedir:

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

LETO dikroik boya molekülünün uzun geometrik eksenini x ile çakıştırsa (Şekil 5.1-a), S'in değeri sıvı kristaldeki DB uzun molekül eksenlerinin geometrik düzenlenme derecesine eşittir ve sıvı kristalin düzenlilik parametresi S^G ile aynı şekilde bulunabilir:

$$S = S^G = 0,5(3 \cos^2 \theta - 1) \quad (5.3)$$

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

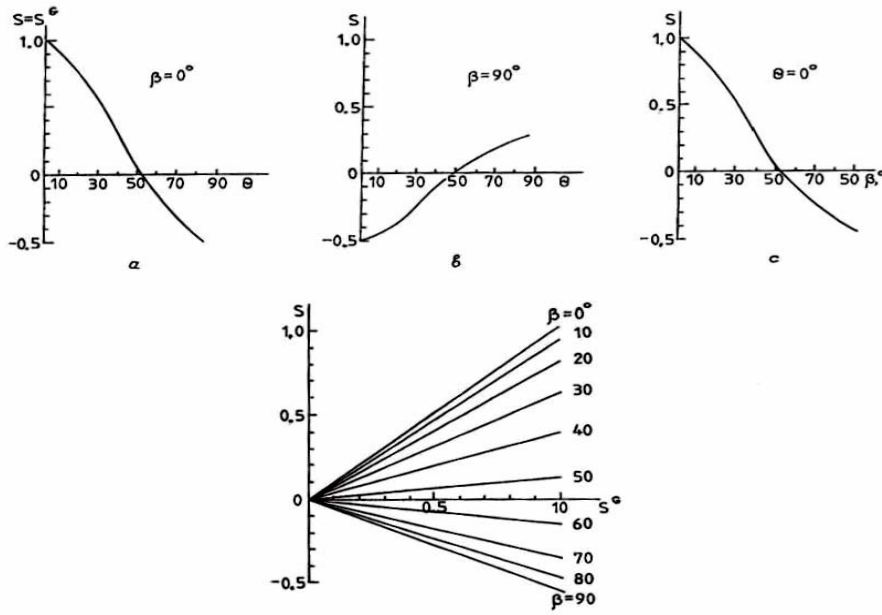


Şekil 5.1. Dikroik Boya Tipleri : a) x ile LETO çakışık, b) x ile LETO çakışmaz

DB moleküllerinin çoğunluğunun çakışmaması durumunda DB LETO'su x eksenine göre β açısıyla polarize edilir (Şekil 5.1-b) ve bu nedenle S ile S^G arasındaki ilişki şöyle verilebilir:

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

Bu 2 açiya S'in bağımlılığı ve 2 parametre arası ilişki Şekil 5.2'de verilmiştir.

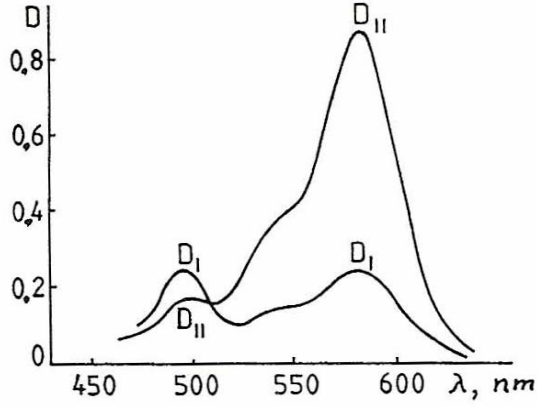


Şekil 5.2. DB düzenlilik parametresi S'in a-c) 2 açiya, d) sıvı kristalde DB düzenlenme derecesine bağlı değişimi

Şekil 5.2-c'den görüldüğü gibi $\theta=0$ için β açısı arttıkça düzenlilik parametresi azalır. 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 ($D_{\parallel}=D_{\perp}$) boyalar da bilinir ki bunlara izotropik boyalar veya I boyalar denilir. Genelde S'in -0,05 ile +0,10 arası değerlere sahip olduğu boyalar I boyalar olarak verilir.

Görünür bölge spektrumunda 2 veya daha fazla absorpsiyon bandı gösteren, S'in zıt işaretli değerlerine sahip olan dikroik boyalar da vardır. Bu boyalar sırasıyla L,T ve T,L boyalardır. Benzer şekilde LI ve IL veya IT ve TI boyalar da bulunmakla birlikte bunun örnekleri çok az sayıdadır. Şekil 5.3'de 4-Metoksi benziliden-4'-Bütil anilin

içinde bismerosiyanin boyanın 0,0001 M çözeltisi için elde edilen spektrum görülmektedir.

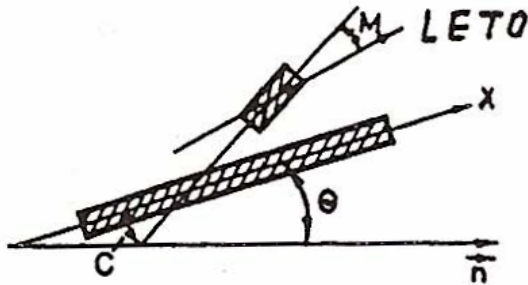


Şekil 5.3. Zıt işaretli S değerine sahip boya için polarize absorpsiyon spektrumuna örnek

Molekül yapısı doğrusal olmayan daha komplike boyarmaddeler de söz konusu olabilir ki bu durumda S ile S^G arası ilişki daha karmaşıktır. Örneğin Şekil 5.4'deki model ile temsil edilen bir DB için bu ilişki;

$$S = S^G \left(3 \cos^2 M - 1 \right) \left(3 \cos^2 C - 1 \right) / 4 \quad (5.5)$$

şeklindedir [Ivashchenko, 1994].



Şekil 5.4. Doğrusal olmayan dikroik boyada LETO'nun x ekseninden sapması

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

$$S = (A_{\parallel} - A_{\perp}) / (A_{\parallel} + 2 A_{\perp}) \quad (5.6)$$

şeklinde yazmak da mümkündür. Burada $A_{\parallel}$; gün ışığının elektrik vektörü moleküler yöne paralel olduğu zaman kristaldeki boya için maksimum dalga boyunda ölçülen optik yoğunluk, $A_{\perp}$ ise dik durumdaki yoğunluktur. Kör çözelti boya çözünmemiş sıvı kristaldir [Pellat ve Roe, 1980]. Bazı kaynaklarda [Cox, 1979] ise;

$$S = (A_{\parallel} \eta_{\parallel} - A_{\perp} \eta_{\perp}) / (A_{\parallel} \eta_{\parallel} + 2 A_{\perp} \eta_{\perp}) \quad (5.7)$$

şeklinde verilir ki burada η refraktif indekstir.

Dikroik oran (R) veya kontrast oranı (CR) da ilgili bir parametre olup Y-H hücredeki boyanın etkinliğini değerlendirmede kullanılmıştır:

$$R = A_{\parallel} / A_{\perp} \quad (5.8)$$

Kontrast oranı (CR) ise farklı tanımlanabilmektedir [Ghanadzadeh ve Zanjanchi, 2001].

$$CR = A_{\text{off}} / A_{\text{on}} \quad (5.9)$$

veya [Cox, R, 1979]:

$$CR = A_{\parallel} / A_{\perp} \quad (5.10)$$

Bir başka izah ile dikroik oran, boyanın sıvı kristaldeki absorpsiyon karakteristiğinin bir ölçüsüdür ve;

$$CR = A_{\parallel} / A_{\perp} = (1 + 2S)/(1 - S) \quad (5.11)$$

şeklinde ifade edilir [Wu ve Yang, 2001].

Etkinlik değerlendirilirken sadece paralel veya dik geçirilen ışık oranının önemli olmadığı, bunun yanı sıra birçok faktörün dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Bunlar görünür ışığın değişik dalga boylarına insan gözünün bağıl hassasiyetini ve yarı yükseklikte absorpsiyon bandının genişliğini kapsar. Bu anlamda algılanan kontrast oranı (AKO) tanımlanmıştır [Cox, 1979]. Mor renge karşılık gelen 550 nm’de absorpsiyonlu boyalar en yüksek AKO değerli boyalar olarak bulunmuştur. AKO değeri gösterge hücresinin etkinliği açısından düzenlilik parametresi ve kontrast oranına kıyasla daha geçerli bir resim ortaya koymasına rağmen literatürdeki değerlendirmelerde diğerleri kabul görmüştür.

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

5.1.2. Düzenlilik parametresinin boyarmaddenin kimyasal yapısına bağlılığı

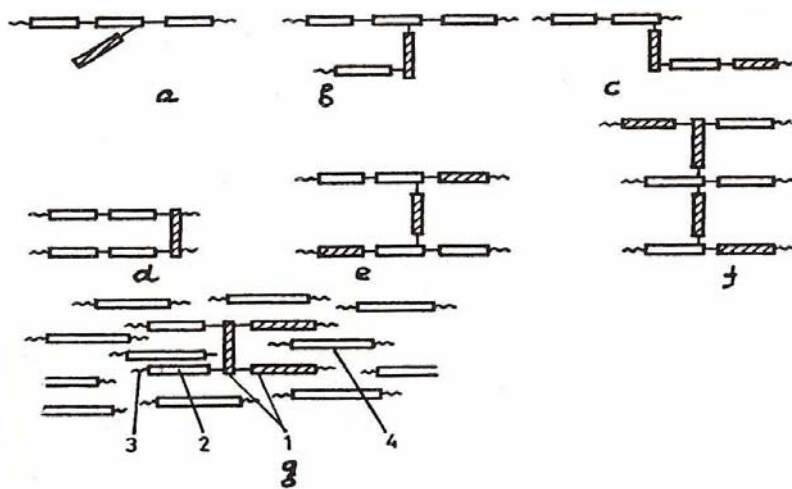
Nematik sıvı kristal çoğunlukla çubuğumsu yapıdadır. Boya molekülü sıvı kristal içinde çözüldüğü zaman bu yapıya benzer şekilde düzenlenmesi beklenir. Bu düşünceden hareketle uzun yıllar boya araştırmalarında farklı konumlarına farklı süstitüentler konularak yapısı modifiye edilen, çubuğumsu molekül yapılarına sahip boyarmaddeler kullanıldı. Ancak gerçekleştirilen çalışma sonuçları, bu yaklaşımın sadece L boyalar için gelişme kaydettiğini gösterdi.

Bunun dışında çubuğumsu dikroik boya olarak birçok boyarmadde, özellikle antrakinin ve azoyapılılar kullanılmıştır. Bu incelemeler göstermiştir ki çubuğumsu boyaların düzenlenme derecesi; boyanın yapısına ve özellikle geometrik anizotropi gibi özelliklerine, molekülün ana kısmının uzunluğuna, süstitüentlerin tabiatı ve konumuna kuvvetli derecede bağlıdır. Bu husus bir azo boyarmadde üzerinde

açıklanabilir. Unutulmamalıdır ki diğer boyarmaddeler üzerinde de benzer kurallar geçerli olacaktır.

Çubuğumsu 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 herhangi tipte bir 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. Bu tür bazı modeller Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Dikroik boya modelleri (a-f) ve sıvı kristal tabaka içindeki düzenleri (g) (1,2:DB blokları ; 3: sıvı kristalde çözünürlüğü artıran DB grupları ; 4: sıvı kristal molekülleri)

Bu tür DB yapısı, belli bir yöne sahip olan LETO ile izole edilmiş kromofor sistemi bulunduran bir (Şekil 5.5-a,b,d) veya birkaç bloktan oluşur. Diğer bloklar (Şekil 5.5-g) ve kısımlar, sıvı kristalde uygun çözünürlük ve dolgu düzeni sağlar. 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 içinde iyi dolgu düzeni sağlar. Azo, nafto ve antrakinon boyalar, Schiff bazları gibi birçok farklı sınıfın boyar kısımları, görünür bölgede absorpsiyon bandına sahip olan kromofor sistemli blokları oluşturur. DB molekülündeki bloklar farklı gruplarla; örneğin $-CH_2-$, $-CH_2CH_2-$, $-COO-$, $CONH-$, $-COS-$, $-O-$, $-S-$ 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. Bu yaklaşım özellikle, boyanın ana molekülündeki LETO'nun yönünü bulmaya ve sonuç olarak istenen karakteristikleri elde etmek için uygun blok ve süstitüenler sokularak DB'yı modifiye etmeye imkân sağlayan Kuantum kimyacılarıyla kombine düşünüldüğü zaman etkilidir [Ivashchenko, 1994] .

S değeri 0,77'ye varan bazı sıvı kristal azo boyalar hazırlanmış olmasına rağmen, 415 nm'deki absorpsiyon maksimumlarından dolayı uygun bulunmamışlardır (Pellat ve Roe, 1980). 1- ve 1,5-Süstitüe alkil gruplu antrakinon boyaların negatif, 2- ve 2,6- boyaların ise pozitif S değerine sahip oldukları ileri sürülmüştür. E₇ içinde azo boyalar için S değerleri belirlenmiş ve Çizelge 5.1'deki genellemeler yapılmıştır [Cognard ve Phan, 1981].

Çizelge 5.1. E₇ içinde azo boyalar için S değerleri

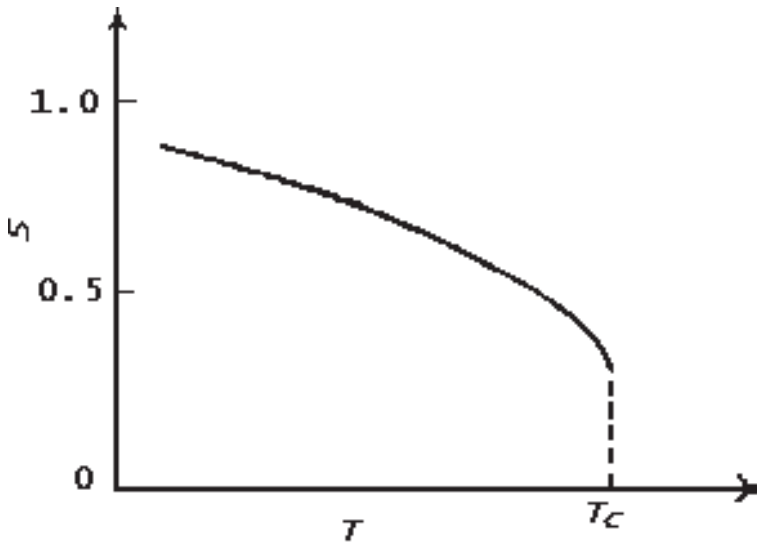
Azo boya	Düzenlilik Parametresi
Mono- azo	0,45 – 0,60
Di- azo	0,60 – 0,72
Tri- azo	0,70 – 0,80

5.1.3. Düzenlilik parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi

Nematik mezofazda sıvı kristal düzenlilik parametresi sadece geometrik anizotropiye değil; sıcaklığa da önemli ölçüde bağlıdır. Literatüre bakıldığında;

$$S_{LC} = (1 - 0,98T/T_{cl})^{0,22} \quad (5.12)$$

olduğu görülmektedir ki burada T_{cl} : nematikten izotropik faza geçiş sıcaklığı yani berraklaşma noktasıdır. Benzer bir bağımlılık nematik sıvı kristal fazdaki DB düzenlilik parametresi için de doğrudur. Yani (5.12) eşitliği, DB içerenler de dâhil bütün nematik sıvı kristaller için geçerlidir. Şekil 5.6 bu konu üzerine iyi bir örnektir [Ivashchenko, 1994; Wang ve Zhou, 2004].



Şekil 5.6. Düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi

5.2. Polarize Mikroskopik Teknikler

Polarize mikroskopi, DSC ve X-ışınları araştırmaları ile birlikte yeni sentezlenen mesojenik maddelerin karakterizasyonu için elzem metotlardan bir tanesidir. DSC analizleri basit ve hızlı biçimde gerçekleştirilirken, bu yöntemle sadece faz geçiş sıcaklıkları ile geçişlerin derecesi hakkında bilgi temin edilebilmektedir. Faz tipinin belirlenmesi gibi gerçek yapısal değerlendirme için X-ışınları araştırmaları, mikroskopik olarak iyi yönlendirilmiş numunelerde gerçekleştirilmelidir ki: bu da zaman kaybı ve bazen de anlaşılması zor bir duruma yol açar. Bu nedenle X-ışınları çalışmaları sıcaklıkla yönlendirilmiş numunelere uygulanır. Bu şekilde, sonuçta sadece yapısal özelliklerin sınırlı karakterizasyonu ortaya çıkar. Diğer yandan

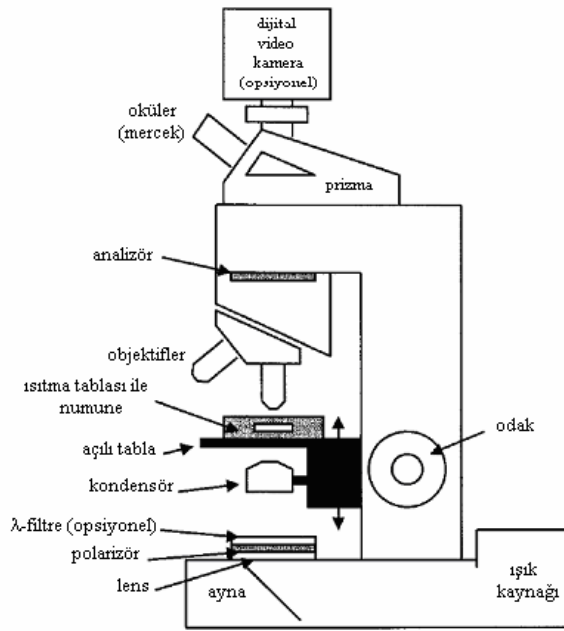
polarize mikroskobi hem faz geçiş sıcaklıklarının, hem de faz tipinin tayinine olanak sağlayabilmektedir. Bu, apraz polarizrlerin arasında sıcaklığa bağlı tekstür incelemeleri ile elde edilir. Karakteristik tekstürler ve eksik yapılar, gözlemlenen fazın açığa çıkmasına neden olurlar. Bu tekstürler bir faz geçişi sırasında değişime uğrarlar.

5.2.1. Polarize mikroskop

Bu bölümde polarize mikroskobun özellikleri, tekstür çalışmaları için hayati önem taşıyan bir cihaz olmasından ötürü kısaca anlatılacaktır. şekil 5.7’de polarize mikroskobun şematik gösterimi yer almaktadır. Cihaz, retici 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. Beyaz ışık kaynağı için dalga boyuna bağlı deneyler gerçekleştirilecekse bu noktaya bir dalga boyu filtresi yerleştirilebilir. Bu filtreler görünür bölgedeki elektronik geçişlere karşılık gelen farklı dalga boyları için kullanılır ve bu filtrelerin bant geşişliği 10 nm’ye eşiş ya da daha küçük olmalıdır.

ışık daha sonra kondensre 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. Çok geniş bir açıklığa sahip seçim, görüntünün bulanıklaşmasıyla oluşan kırılmadan kaynaklanan ışık sapmasına yol açabilir ki bu da kontrastı düşürür.



Şekil 5.7. Polarize mikroskobun şematik gösterimi

Küçük iris açıklığı seçimi görüntüde çarpıklık, çözünürlükte azalma ile birlikte çok karanlık bir görüntü ile sonuçlanır. Ayrıca kondensör ve numune arasındaki mesafe ayarı, ışık demetinin doğru biçimde odaklanması ve tam aydınlanmayı sağlamak için iyi yapılmalıdır. Kondensör bazen her bir objektif için ayarlanmalıdır.

Sıvı kristal araştırmaları için mikroskoplar genellikle üzerinde ısıtıcı ve dönebilen bir tabla bulunan düzenekle donatılmıştır. Bu tabla aynı zamanda numuneyi de içine alır ve ışığın yayılma yönüne dik düzlemdeki numunenin kusursuz dönüşü için güvenli bir şekilde monte edilmelidir. İletilen ışık daha sonra objektifin içinden geçer. Burası da mikroskobun diğer önemli parçalarından biridir; çünkü görüntü kalitesini kesin olarak tayin eden bölüm burasıdır. Tekstür çalışmaları için genellikle üç farklı objektif kullanılır. Bunlardan x 5 (kırmızı) düşük büyütme için, x 10 (sarı) ve x 20 (yeşil) orta ölçekli büyütme içindir. Bazen x 40 (mavi) objektif de küçük yapıları çözümlemek ya da konoskopik çalışmalar için kullanışlı olabilmektedir. Her halükarda geniş çalışma aralıklı objektifler önerilir; çünkü sıklıkla ısıtma tablaları merceğe çok yakın olan numune tablasının odaklanmasına izin vermez.

Objektiften geçen ışık daha sonra analizörden geçer. Tekstür çalışmalarında analizör, polarizöre doğru açılarla yönelir. Oküler ya da mercek, görüntüyü daha fazla büyötmeye yardımcı olur. Oküler aynı zamanda görüş sahasını da ayarlar.

Başka bir seçenek olarak objektif kapağının açılmasından ya da yarı geçirgen bir aynanın kullanımından sonra görüntü, ayarlanabilir bir tüp vasıtasıyla mikroskoba bağı kamera üzerine yansıtılabilir. Kalitesi yüksek görüntüler genellikle ince filmler ile kolayca elde edilebilir. Eğer dinamik etkileri çalışmak için zamana bağı görüntü eldesi gerekli ise yazılım ve donanımla birleşik analog kamera kullanılır. Bunlar saniyede 25 karelik bir zaman netliğı sağlar; fakat bunlar sadece 760 x 580 piksellik düşük dijital çözünürlüklerde geçerlidir. Daha ileri bir seçenek dijital CCD (yük çiftli aygıt) kameralarıdır, ancak yüksek dijital çözünürlük ile birleşik zaman netliğinin sağlanması oldukça pahalı olabilmektedir.

Bazı mikroskoplar oküler ve objektif arasına yerleştirilir ve ikinci bir ışık kaynağı ile donatılırlar. Bu şekilde numune, nematik (N*) veya simektik C (SmC*) gibi şıral, helezonik sıvı kristal fazlarının seçimli yansıma özelliklerinin çalışıldığı önemli bir düzenek olan yansıyan ışık mikroskobisine olanak sağlayarak üst kısımdan aydınlatılabilir.

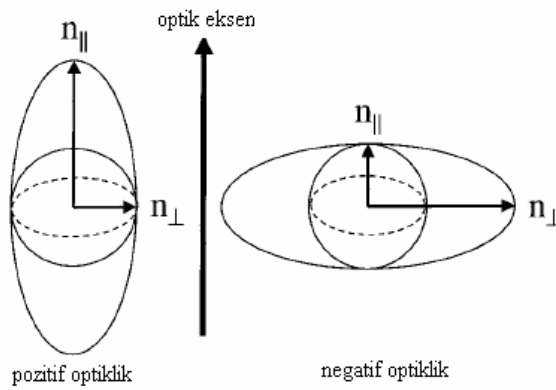
5.2.2. Temel sıvı kristal optikler

Basit sıvı izotropik özelliğı sahiptir ve kırma indisi gelen ışın demetinin yönünden bağımsızdır. Gelen ışık Snell'in kırılma yasasına göre kırılır. Bunun aksine kristal maddelerin büyük çoğunluğu anizotrop özelliğı haizdir: Yani kırma indisleri ışığın yayılma yönüne bağıdır. Bu, sıvı kristallerce paylaşılan bir özelliktir.

Tek eksenli fazlar

Nematik ve simektik A gibi fazların çoğunluğu optik olarak pozitifler. Bu da, optik eksene paralel olan kırılma indisinin ($n_{\parallel}$) dik olan indisten ($n_{\perp}$) daha büyük olduğunu gösterir. Diğer ifade ile $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp} > 0$ eşitliğine işaret edilir. Optik olarak negatif

maddeler için tersi geçerlidir. Bu durum optik eksenin helezon eksenine ile uyumlu olup, yerel direktör ile uyuşmadığı kolesterik (N^*) fazların çoğunda bu şekildedir. Bir elipsoid ile onun pozitif ortamda sırasıyla $n_{\parallel}$ ve $n_{\perp}$ 'e eşit olan kısa ve uzun eksenlerinin ya da negatif ortamda $n_{\parallel}$ ve $n_{\perp}$ parametrelerinin optik eksenindeki gösterimi Şekil 5.8'de verilmiştir. İki temel kırılma indisli bir ortam ve sadece tek bir optik eksen burada mevcuttur.



Şekil 5.8. Tek eksenli, optik olarak pozitif ve negatif maddelerin gösterimi

Gelen ışık demeti iki bileşene ayrılır, bunlardan bir tanesi Snell'in kırılma kanununa uyar ve olağan ışın olarak adlandırılır. Diğerisi ise buna uymaz ve olağan dışı ışın olarak adlandırılır [Dierking, 2003].

5.3. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) ile Yapılan Tayinler

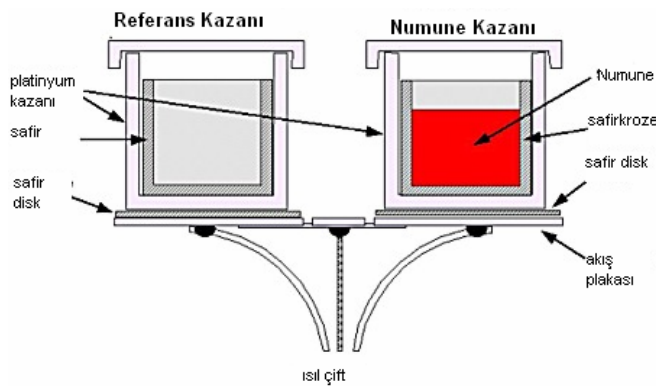
Numune sıcaklığı kontrollü bir şekilde değiştirilirken numunenin herhangi bir fiziksel özelliğinin (ağırlık, enerji, boyut, iletkenlik, manyetik özellik v.b.) sıcaklıkla değişiminin sürekli bir şekilde ölçüldüğü yöntemler topluluğuna termal yöntemler denilmektedir [Erdoğan, 2003].

Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi, 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

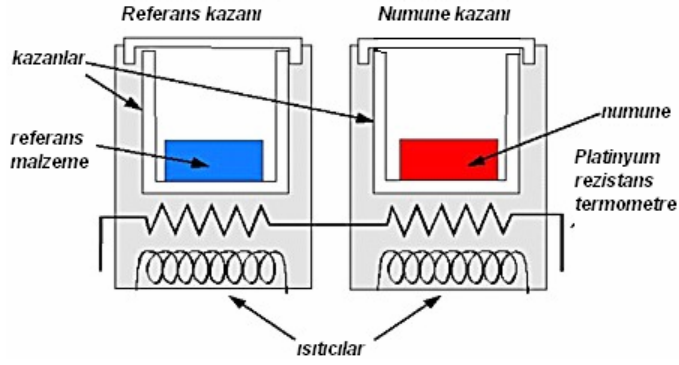
edilemeyebilir, fakat karışık faz geçişlerindeki entalpi değişim seviyesi faz tiplerinin bazı işaretlerini verir. DSC, mezofaz tipinin belirlenmesinde optik polarize mikroskop ile bağlantılı kullanılır.

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. Katıdan sıvıya geçiş şiddetli bir faz geçişidir ve bunun yüksek enerjiyle sağlandığı bilinir. 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. Belirli sıcaklıkta tutmak için gerekli olan bu enerji bir pik olarak cihazla ölçülür ve kaydedilir. Cihaz, geçiş entalpisi bilinen bir örnek ile kalibre edilir. Örnek genellikle 5-10 mg arasında küçük alüminyum panlarda (kefe) tartılır, yerine yerleştirilir ve sıvı azotla soğutulur (Şekil 5.9). Şekil 5.10'da ise çalışır haldeki DSC cihazı görünmektedir.



Şekil 5.9. Diferansiyel tarama kalorimetresi



Şekil 5.10. DSC' nin çalışır hali

Bir kristal katıdan, sıvı kristal faza ya da izotropik sıvı faza erime geçiş hali 30-50 kJ/mol arasında bir entalpi değişimi meydana getirir. Sıvı kristal geçişleri çok küçük entalpi değişimleriyle karakterize edilir [Collings ve Hird, 1997; Eser, 2006].

6. KARBON NANOPARTİKÜLLER

6.1. Nanoteknolojinin Gelismisi

"Nano" sözcük olarak, bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelir. Bir nanometre ise, metrenin bir milyarda birine eşit bir uzunluk birimidir. İnsan saç telinin çapının yaklaşık 100.000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha rahat anlaşılır. Bir başka deyişle, bir nanometre içine yanyana ancak 2-3 atom dizilebilir; yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nano ölçeklerde bir nesneyi oluşturur. Bildiğimiz birçok molekül de nanoyapı tanımına giriyor. 20. yüzyılın başlarında maddeyi oluşturan parçacıklardan, örneğin elektronların hem parçacık hem de dalga gibi davrandığı, yine bu ölçeklerde belirsizlik kuramının geçerli olduğu saptandı. 20. yüzyılın ilk ve ikinci çeyreğinde makine imalat sanayiinde de önemli gelişmeler yaşandı. Bu gelişmelerden daha sonra yeni bir sanayi devrimi ortaya çıktı.

Klasik mekaniğin geçerli olduğu imalat sanayiinde kullanılan malzemelerin atomsal yapısı, mekanik, elektronik ve manyetik özellikleri ancak kuantum mekanik sayesinde anlaşıldı. Bu bilgiler ışığında yeni malzemeler de geliştirildi. En önemlisi, yarıiletken malzemeler, özellikle silisyum teknolojisi önem kazanıp, mikroelektronik sanayi hızla gelişmeye başladı. Mikroelektronik, iletişim teknolojilerinden başlayıp her alanda uygulama buldu. Özellikle bilgisayarların ve bilişim teknolojilerinin yaygın kullanımı, mikroelektronik başta olmak üzere, optoelektronik, fotonik teknolojilerinin gelişmesinde itici kuvvet rolünü üstlendi. Bilgisayar kullanımının her alanda getirdiği hız, daha hızlı ve daha küçük bilgisayarlara olan talebi canlı tuttu. Günümüzde bilgisayarlarda aygıt boyutları 50 nanometrenin altına inerken, mevcut teknolojilerin çözemeyeceği ısınma problemleri ortaya çıkmakta. Bunun yanında daha küçük boyutlarda elektronik aygıtların işleyişindeki yarıklasik fizik kuramları geçerliliğini yitirip, kuantum olaylar önem kazanmaya başlamaktadır. Bilgisayarın, daha sonra internetin yaygın kullanımı, yaşam tarzımızı da çeşitli yönlerden etkiledi ve her gün daha küçük boyutlara inmeye, daha az yer kaplayan, daha az enerji harcayarak daha hızlı çalışabilen aygıtlar yapmaya zorladı.

Bir aygıtta kullanılan malzemenin boyutu küçüldükçe çalışma hızı da artmakta ve boyutlar nanometre ölçeklerine yaklaşırken malzemenin fiziksel özellikleri kuantum mekaniğinin kontrolüne girmektedir. Nano ölçeklerdeki bir yapıya yeni eklenen her atomun fiziksel özelliklerde neden olduğu değişiklikler, bu atomun cinsine, nanoyapının türüne ve geometrisine bağlı olarak belirginleşiyor. Örneğin, nanoyapının iletkenliği, o yapıya tek bir atom eklense bile değişebilmektedir. Benzer şekilde, 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 sergiliyor. Diğer ilginç bir malzeme de karbon elementidir. Yapıtaşını karbon atomunun oluşturduğu elmas kristali, bilinen en sert ve yalıtkan malzemedir. Kurşunkalemlerden tanıdığımız, 2 boyutlu, düzlemsel grafit tabakalarıysa karbon atomunun yumuşak ve iletken bir yapıdır. Bir boyuttaysa, karbon atomları çelikten çok daha yüksek bir çekme mukavemetine sahip olan ve normal koşullarda çok iyi bir iletken olan kararlı sicimleri (atom zincirlerini) yapıyorlar. Teknolojinin yeni taleplerine yanıt verebilen bu olağanüstü özellikler, nanometre boyutlarında yapay malzeme sentezlenmesini özendiriyor.

Nanoyapıların olağanüstü özellikleri çok öncelerden tahmin edilmekteydi. Nitekim 1960'lı yıllarda, Feynman nanoyapıların bu yönünü vurgulayarak bilim insanlarının dikkatlerini nanometre boyutlarına çekmek için çaba gösterdi. O sıralarda kimyacılar da mikroelettronik sanayiine seçenek oluşturmak üzere moleküllerden transistör yapmayı önerdiler. Moleküler transistör yapımının başarılmaması, Bell Laboratuvarları'nda 1940'lı yıllarda Shockley, Bardeen ve Brattain tarafından yapılan ve bir yumruk büyüklüğünde olan katıhal transistor ün boyutunun, yaklaşık yüz milyonda bir küçülmesi anlamına gelmekte. Ancak, moleküler transistörlerin birbirlerine iletken tellerle bağlanmaları ve bu transistörlerden bütünleşik devre yapılması, çözümü zor problemleri de beraberinde getirdi. Bu nedenle silisyum mikroelettronik teknolojisi hâlâ egemenliğini sürdürebilmektedir.

1980' li yıllarda peşpeşe gelen Nobel Fizik Ödüllerine konu olan çeşitli bilimsel çalışmalar hem nanometre ölçeklerinde saklı yeni davranışları ortaya çıkardı, hem de atomu görüp onu istediğimiz yere taşıyabilmemize olanak verecek yeni gelişmelere yol açtı. Önce taramalı tünelleme mikroskobunun (STM) daha sonra atomik kuvvet mikroskobunun (AFM) keşfi, yüzeyde bulunan atomların ve moleküllerin gözlenmesine, atomsal düzeyde tepkimelerin izlenmesine olanak tanıdı. Dr. Eigler yüzeyde bulunan bir atomun STM ucuyla başka bir yere nasıl taşınabileceğini, yüzeyle uç arasında atomun isteğe bağlı olarak hareket ettirilerek nasıl akım şiddetini ayarlayan atom-anahtarı yapılacağını gösterdi. Böylece 20. Yüzyılın son çeyreğinde, doğada bulunmayan yeni nanoyapıların atomsal düzeyde tasarlanarak sentezlenmesi devri başladı.

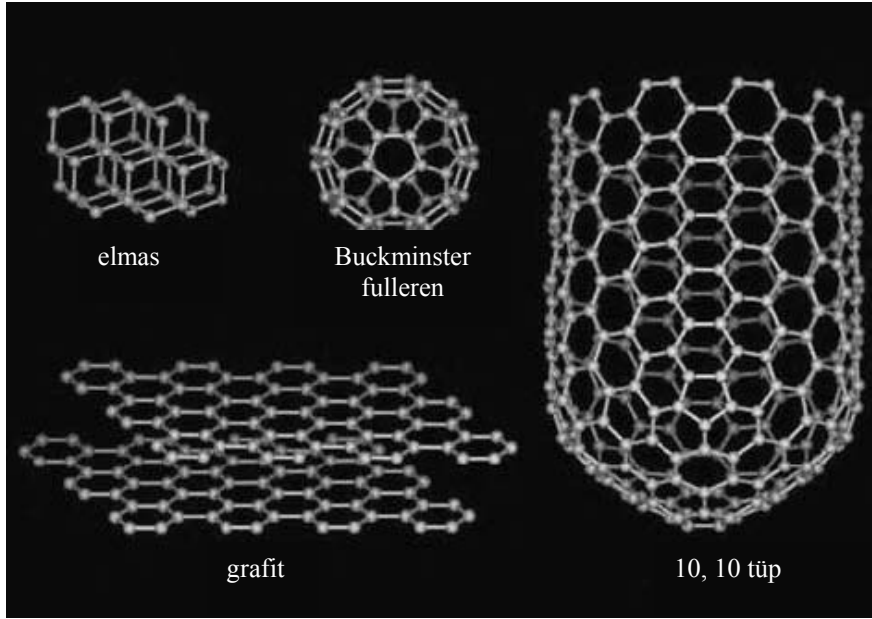
Karbon nanotüplerin bilimsel macerası 1985'te 60 ya da daha fazla karbon atomunun birleştirilmesiyle oluşan futbol topu şeklindeki moleküllerin (fulleren) keşfiyle başlamıştır. Bu keşiften sonra birçok laboratuvar sıcak karbon buharını yoğunlaştırarak futbol topu şeklindeki molekülleri elde etmeye çalışmış; 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 katodda biriken malzemeyi araştırma sırasında bulunmuştur. Kısa bir süre sonra Thomas Ebbeson ve Pulickel Ajayan (Iijima'nın laboratuvarından) çeşitli ark boşalımı koşulları altında büyük miktarlarda nanotüp üretilebileceğini göstermiştir. Ama standart ark boşalımı metoduyla ancak çok katmanlı tüpler üretilebilmiştir. 1993'de tek katmanlı nanotüplerin 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 açılmış oldu. Arzu edilen nanotüpler 1200°C fırında karbonun lazer-buharlaştırılmasıyla elde edildi. İnsanlık, 60 yıl içinde metre-milimetre büyüklüğünde malzemeyi kesici takımlarla işleyen ya da yüksek sıcaklıklarda kalıplara dökerek ya da döverek şekillendiren imalat teknolojisinden, atomsal düzeyde malzemeyi tasarlayıp yeni moleküller oluşturmaya yönelik bir imalat yöntemine geçti ve nanoteknolojiyle tanıştı. Nanoteknoloji nanoölçeklerde malzeme

tasarlayıp üretmeyi, bu malzemelerden yeni yöntemlerle aygıt, alet üretmeyi amaçlar [Çıracı, 2005].

Karbon periyodik tablonun çok yönlü elementidir. Karbon, doğada yaygın bulunan ametal bir elementtir. Evrende bolluk bakımından altıncı sırada yer alan karbon, kızgın yıldızlarda hidrojenin termonükleer yanmasında temel rol oynar. Dünyada hem doğal halde, hem de başka elementlerle bileşik halinde bulunan karbon, ağırlık olarak yerkabuğunun yaklaşık % 0,2'sini oluşturur. Çeşit, dayanım ve çok sayıdaki farklı diğer elementlerle yaptığı bağ sayısı bunda etkindir. Bağ çeşitliliği ve onların uygun geometrisi, yapısal izomerlerin, geometrik izomerlerin ve enantiomerlerin oluşumunu mümkün kılar. Bunlar, büyük, karmaşık ve farklı yapılarda bulunur ve organik moleküllerin sonsuz çeşitli olmasına izin verir.

Katı fazdaki karbon üç allotropik yapıda ortaya çıkar: grafit, elmas ve buckminster fulleren (Şekil 6.1). Kristal bağ yapı elmasa (bilinen en sert madde) sertliğini ve eşsiz ısı iletim özelliklerini (bakırdan yaklaşık beş kat daha iyi) kazandırır. sp^3 hibritli bağlar, elektriksel yalıtım özellikleri ve optik geçirgenliği izah etmektedir. Grafit hekzagonal ağ yapısında, sp^2 hibritli karbon atomlarının katmanlı düzlemsel tabakaların birleşmesi ile yapılır. Kimyasal bağların farklı geometrisi grafiti yumuşak, kaygan, opak ve elektriksel olarak iletken hale getirir. Elmasa zıt olarak grafit tabakadaki her bir karbon atomu sadece diğer üç atoma bağlanır; elektronlar hibritleşmemiş p orbitallerinden bağımsız olarak diğerine serbestçe hareket ederler, elektriksel iletkenliği artıran hareket kabiliyeti sonsuz artırılmış π bağ ağı oluşur.

Buckminsterfullerenler ya da fullerenler karbonun üçüncü allotropudur ve küresel ya da silindirik moleküller ile sp^2 hibritli karbon atomlarının hepsinden oluşan bir gruptan müteşekkildir [Hennrich ve ark. 2006].



Şekil 6.1. Karbonun üç allotropu

6.2. Karbon Nanopartiküllerin Özellikleri

Karbon nanopartiküller, boyutları fullerenler ile grafit arasında ara boyuta sahip olan π -konjüge moleküllerini temsil eden eşsiz nano ölçekli cisimlerdir. Çizelge 6.1’de olağanüstü özelliklere sahip bu karbon allotropunun en önemli özellikleri görülmektedir.

Çizelge 6.1. Karbon nanopartiküllerin bazı özellikleri

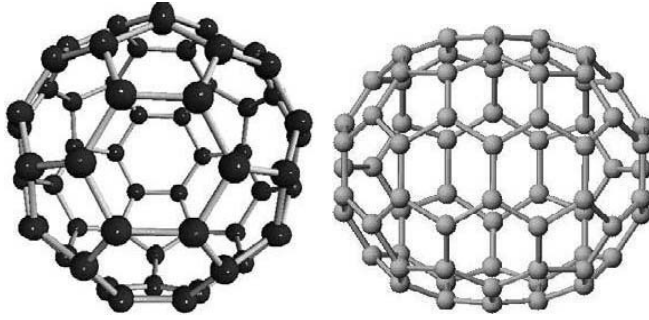
Özellik	Değerlendirme
Isıl iletkenlik: $\sim 6000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	> Elmas
Young modülü: $\sim 1 \text{ TPa}$	Diğer maddelerden daha katı
Çekme dayanımı: 150 GPa	$\sim$ Çelikten 100 kat daha sert
Desteklenen maksimum akım yoğunluğu: $> 10^9 \text{ A/cm}^2$	$\sim$ Bakır telden 100 kat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

1990'ların başlarında, onlu grafitik tabakalardan oluşan çok duvarlı karbon nanotüpler ile alakalı nanotüp araştırmalarının ilk aşamasının ardından ilgi tek kabuktan oluşan tek duvarlı karbon nanotüplere (SWCNTs) kaymıştır ve en son aktiviteler iki kabuklu yapılardan oluşan tüplere odaklanmıştır. Bu arada ortaya çıkan çalışmalar, karbon nanotüplerin temel mekanik ve elektronik özelliklerine ilaveten sentez ve karakterizasyonu ile ilgilidir.

Çok yüksek yüzey-hacim oranı karbon nanotüpleri, gaz adsorpsiyonu araştırmaları için uygun hale getirir. Nanotüplerin iç bölümleri, mikro gözenekli malzemeler için iyi bir emsal teşkil eder ve fiziksel adsorpsiyon için derin bir olanak sunmaktadır [Burghard, 2005].

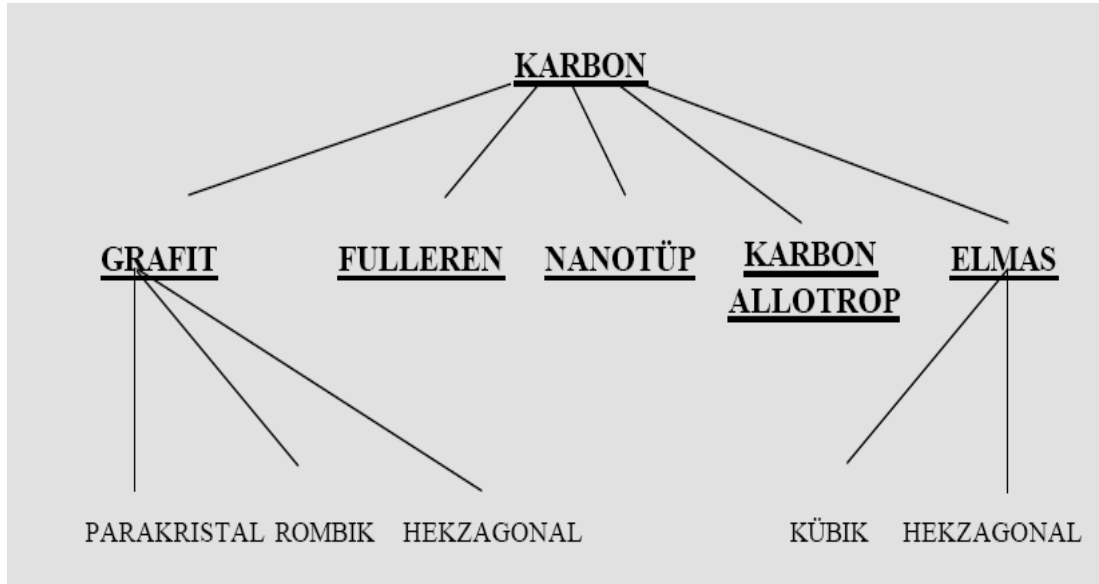
Fullerenler 1985 yılında Rick Smalley tarafından keşfedilmiştir. C₆₀, bulunan ilk fullerendir. C₆₀, beşgen ve altıgen biçimli birbirine bağlı 60 karbon atomu ile bağlı futbol topu şekline (icosahedral) sahip bir moleküldür. Karbon atomları sp² hibritleşmesi yaparlar, ancak grafitte ters olarak bir düzlem üzerinde sıralanmazlar. Fulleren geometrisi, sp² hibritli karbon atomlarının bağlarını fulleren için yeni özellikler oluşturmak için zorlar. Grafit yarı-metaldir, hâlbuki fulleren yarı iletkenidir.

Diğer bilimsel buluşlara benzer şekilde fullerenin keşfi de kaza ile olmuştur. Kroto yıldızlararası toz ile ilgilenmektedir ve kırmızı muhteşem yıldızdan oluşan uzun zincirli polinlerle çalışmaya başlamıştır. Smalley and Curl, Kroto'nun ilgisini çeken lazer buharlaştırması ile kütle spektroskopisini kullanarak atom kümelerini analiz eden bir yöntem geliştirmişlerdir. İleri reaktivite deneyleri ile büyük ihtimalle küresel yapılar tayin edilerek fullerenin 12 beşgen ve 20 altıgen dizilişine sahip kesik icosahedron yapısına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 6.2) [Hennrich ve ark., 2006].



Şekil 6.2. İlk keşfedilen fulleren modeller, C60 ve C70.

6.3. Karbon Nanopartiküllerin Yapıları

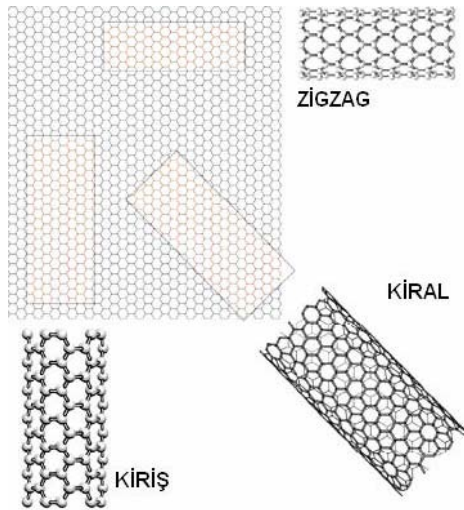


Şekil 6.3. Karbon yapıları

Şekil 6.3’de karbon nanopartiküllere ait yapılar görülmektedir. Karbon nanotüpler karbon atomlarının çapı 1nm den küçük olan silindir şeklindeki bir tüp biçiminde şekillenmesi sonucunda oluşan uzunluğu birkaç mikrondan birkaç nanometreye kadar olabilen ve sadece karbon atomlarından meydana gelen yapılardır. Nanotüpler silindirik eşmerkezli kabukların toplanmasıyla, yani birleşmesiyle oluşan yapılardır [Bundy, 1963].

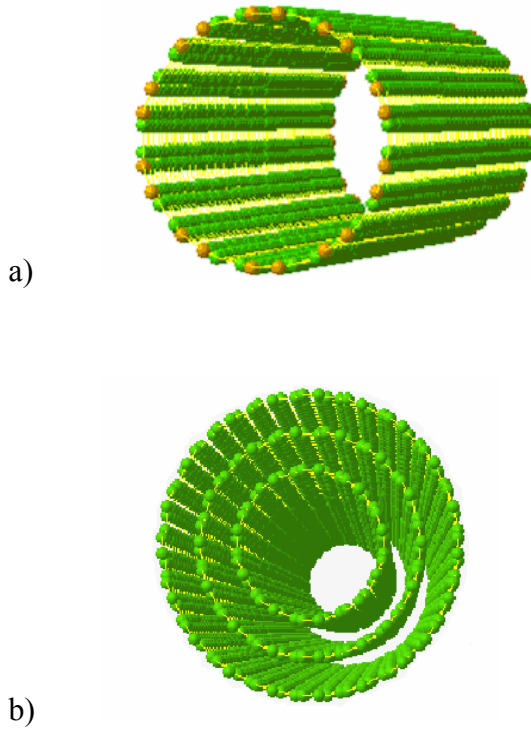
Kurşun kalemdeki grafit, bal peteği deseninde sıralanmış karbon atomlarının bir araya gelmesiyle oluşur. Grafit, atmosferik basınç ve oda sıcaklığında karbonun çok kararlı şeklidir. Grafit karbon atomlarının sp^2 hibriti ile karakterize edilir [DeVries, 1987]. Peteğin katmanları birbirlerinin üzerine yığılmış durumda olan grafitin her bir katmanı, çok kararlı, güçlü ve esnek bir yapıdadır. Her bir katman, kendi başına da kararlılığını koruyabildiğinden, komşu katmanlara çok zayıf bağlarla bağlanır. Petek şeklindeki örüntü kendi üzerinde döndürülerek sarılır ve kenarları birleştirilirse bir grafit tüpü, yani karbon nanotüp oluşturulur. Bu nanotüpler, bilinen en güçlü fiberlerdir. Tek bir nanotüp, birim alanda taşıyabildiği yük göz önüne alındığında, çelikten 10^{100} kat daha güçlüdür.

Karbon nanotüplerin yapısını anlamak için altıgen biçimindeki benzen halkalarından meydana gelen iki boyutlu bir grafit yaprağının bir eksen etrafında dönerek silindir şeklinde katlanmasını hayal etmek yardımcı olur. Yaprığın boyutlarına ve nasıl katlandığına bağlı olarak nanotüplerin birkaç çeşidi oluşabilir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Karbon nanotüplerin biçimlenim şeması

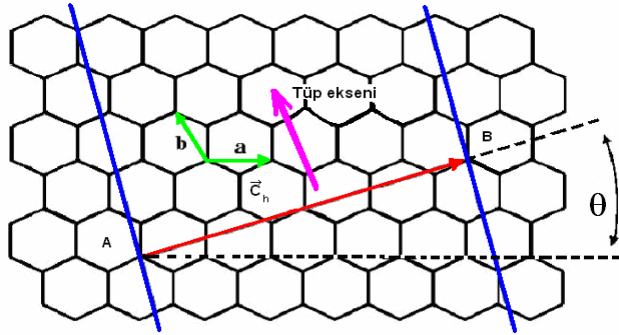
Ayrıca grafitin doğası gereği tek veya çok katmanlı olmasına benzer şekilde nanotüpler tek veya çok duvarlı (SWCNT veya MWCNT) (Şekil 6.5-a, b) olarak da sınıflandırılabilirler [Oral, 2005; Eser, 2006,].



Şekil 6.5. Tek ve çok duvarlı karbon nanotüpler
a) SWCNT b) MWCNT

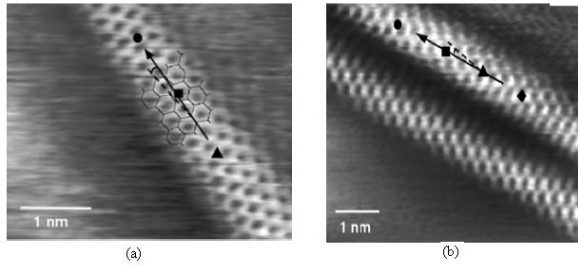
6.4. Karbon Nanotüplerin Oluşumu ve Çeşitlenimi

Şekil 6.6’da nanotüpün oluşması ve çeşitlenimi görülmektedir. Mavi çizgiler tüp eksenini göstermektedir; yani bu çizgiler boyunca şekli keser ve uçlarını silindirik şeklinde birleştirirsek bir nanotüp elde edilmeye başlanır. Eksenlerden birinin üzerine gelen bir karbon atomu belirlenerek (A noktası) bir karbon atomu ile kesiştirilir. Sonra her bir altıgenin karşısına gelen ve onları iki eşit parçaya bölen kırış çizgisini çizilir ve kırış çizgisinden geçen tüp eksenini ile kesişen en yakındaki karbon atomunun yeri (B noktası) belirlenir ve daha önce belirlenen(A) ile birleştirildiğinde nanotüpün karakterini belirleyen bir C_h vektör elde edilir. Bu vektör boyunca grafit yaprak bir tüp şekline doğru yuvarlanır.



Şekil 6.6. Karbon nanotüplerin oluşumu ve çeşitlenimi

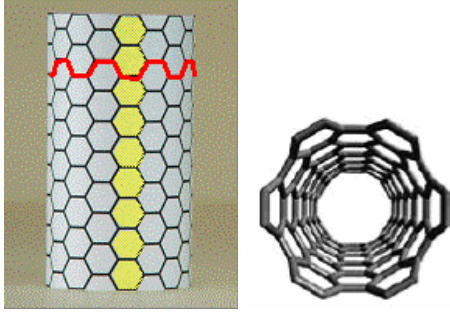
Yuvarlama vektörü (rolling vector) $\vec{C}_h = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2$ denklemi ile verilir. Denklemden $\vec{a}_1$ ve $\vec{a}_2$ grafit yaprak düzleminde bir birim hücreyi belirleyen birim vektörlerdir. $\vec{C}_h$ vektörü ile kiriş çizgisi arasında kalan açıya bağlı olarak nanotüpler sınıflandırılabilir [Zhao, 2003; Eser, 2006].



Şekil 6.7. SWCNT'lerin atomik yapısı a) Zigzag b) Kiriş(Armchair)

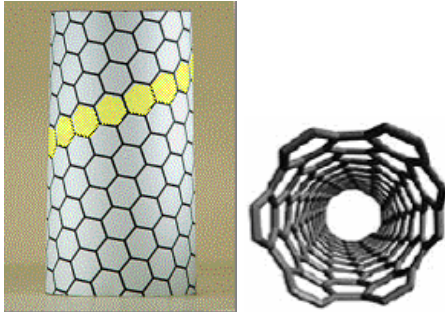
Eğer $\vec{C}_h$ koltuk eksenini boyunca uzanırsa ki bu durumda açı 0° , $n = m$ olur ve kiriş (armchair) nanotüp adı verilir (Şekil 6.7 ve 6.8).

Eğer açı 30° yani $m = 0$ olursa zigzag tüp denir. Açı 0° ile 30° arasında ise Zigzag nanotüp olarak adlandırılır (Şekil 6.7).



Şekil 6.8. Kiriş(Armchair) nanotüp

Eğer açı $0 < \theta < \pi/6$ arasında ise ($n \neq m$) kiral tüp adı verilir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Kiral nanotüp

Aynı sınıflandırma altıgen benzen halkalarının yerleşimi temel alınarak da yapılabilir. Bu yerleşim tüp eksenine paralel ise zigzag tüp denilir ve nanotüp yarı iletken gibi davranır. Yerleşim eksene dik olduğunda koltuk tüp adını alır ve nanotüp metal özellik gösterir. Eğer iki sınır arasında ise $\{(n - m) / 3 \text{ tamsayı olmalıdır}\}$ kiral nanotüptür ve yarımetal özellikler sergiler.

Daha detaylı yapılarına bakılırsa SWCNT'lerin ortalama çapı 1.2 nm'dir. Bununla birlikte nanotüplerin boyutları değişebilir ve onlar her zaman kusursuz silindir yapısına sahip değildir. En geniş nanotüpler örneğin a(20,20) bir tüp kendi ağırlığından dolayı bükülmeye eğilimlidir. Bu noktada karbon atomları arasındaki bağ uzunluğu ve bağlanma enerjisi değerleri önem kazanır. C–C bağ uzunluğu 1,42 Å°, bağlanma enerjisi 2,5 eV'dir. Bunun yanı sıra karbon nanotüpler sıra dışı mekaniksel özellikler de sergiler, mesela young modülü 1 tera paskalın üzerindedir

ve eksen boyunca nanotüp bir elmas kadar serttir. Tahmini gerilim kuvveti 200 GPa civarındadır ki bu değer çelikten çok çok daha fazladır. Eğer klasik mekanik çerçeveye uygun boyutta nanotüp üretimi gerçekleşirse yapı endüstrisinde önemli bir sorun ortadan kalkacaktır.

Tüplerin özellikleri 2 faktörden dolayı dikkat çekicidir. Birincisi onları tek boyutlu bir nesne durumuna getiren boyutları, ikincisi karbonun sıra dışı özellikleridir. Öklid bakış açısına göre dünyada tüm nesneler, nanotüpler dâhil, 3 boyutludur. X eksenini yatay, Y eksenini düşey, Z eksenini derinlik boyutudur. Bilim adamları bunun geçersiz olduğu durumlar göstermişlerdir. Negatifler Z eksenine sahiptirler, fakat bu kullanılmaz. Tek boyutlu nanotüplerde yükseklik ve en yoktur. Bunun sonucu, elektronlar bir yörüngede hareket ederler. Malzemedeki yarıklarda, bozuk alanlarda dağılmaz ve kaybolmazlar.

Bu tek boyutluluk nanotüplerin, ısıyı şu ana kadar bilinen, elmas dâhil, tüm malzemelere göre daha iyi iletmesini sağlar. Bunun sonucu evlerde ve enerji santralleri arasındaki enerjiyi iletmede eşsiz bir yoldur. Fiber optiklerde de ışığı taşımakta benzersizdir.

Bağlamak, nanotüpleri çekici kılan başka bir özellikleridir. Karbon atomları birbirine sınıksız ve karmaşık uzun zincirli sabit altıgen moleküller oluşturacak biçimde bağlanabilmekte ve bunu yaparken her bir karbon atomunun kendisine başka atomların da bağlanmasına izin verecek şekilde boş yeri kalabilmektedir. Bu özellik, tüm elementler arasında karbona özgü karakteristik bir özelliktir.

Nanotüpler ayrılan atomun yerine başka bir atom kaydırarak kendilerini onarırlar. Silikonlar hataya karşı çok hassastırlar. Nanotüpler ise hataya karşı hoşgörülüdürler. Kendini onaran, hatayı düzelten tüpler üretimdeki birçok makineyi işlevsiz hale getirecektir. Başka uygulamalar da bundan faydalanacaktır.

Tek duvarlı nanotüpler, fiziksel eğme ve bükmeyle inanılmaz derecede dayanıklıdır. 120 derecelik açıyla eğilmekte, sonra hasarsız olarak eski durumuna gelmektedirler.

Bunlar aynı zamanda uzundurlar. Araştırmacılar 4 mikron uzunluğunda hatasız nanotüpler üretmişlerdir. Bu da ortalama bir silikon yongasının uzunluğunun yaklaşık 40 katıdır. Bazı küçük kusurları olan nanotüplerin uzunluğu 120 mikrona çıkabilmektedir [Eser, 2006; msu, 2006].

6.5. Karbon Nanotüplerin Sıvı Kristallerde Yönlenimi

Karbon nanotüp malzemeler çeşitli teknolojik avantajlar sağlayan sıra dışı özellikleriyle dikkat çekmektedir. Tüp boyunca gösterdikleri yüksek mekanik dayanıklılığın yanı sıra, aynı zamanda esnektirler. Ayrıca tüp boyunca iletken, tüpe dik doğrultuda yalıtıcıdır. Nanometre mertebesinde çapa sahip olmalarına rağmen boyları mikrometre mertebelerinde olabilmektedir. Dolayısıyla karbon nanotüpler geleceğin cihazlarındaki minyatürleştirme çalışmaları için potansiyel malzeme konumundadır. Nanotüpler hemen hemen tüm uygulamalarında seçilen bir doğrultu boyunca homojen olarak yönlendirilmeye ihtiyaç duymaktadırlar. Son yıllarda bu konuda sadece sınırlı yol kat edilmiş olup çubuk şekilli sıvı kristallerin nanotüp yönlendirilmesinde kullanılmasının önemli getirilerinin olacağı düşünülmektedir.

Nematik sıvı kristaller uzun moleküler eksenleri boyunca yönlenimsel düzen sergilemektedirler. Moleküllerin istatistiksel yönlenme doğrultusu “direktör” olarak isimlendirilmektedir. Sıvı kristaller gerek teknolojik uygulamalarında gerekse araştırma deneylerinde aynı anda 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 yönlenme söz konusudur. Birinde moleküller hücre çeperlerine paralel olmaktadır. Bu geometri “planar” olarak isimlendirilmekte, moleküllerin hücre çeperlerine dik olduğu yönlenme geometrisi ise “homeotropic” yönlenme olarak bilinmektedir [Collings ve Hird, 1997; Akar, 2006].

Literatür incelendiğinde karbon nanopartiküller ile katkılandırılmış nematik sıvı kristallerin elektriksel iletkenlik ve dielektrik ölçümleri ile faz geçişlerinin belirlenebildiği anlaşılmaktadır [Okutan ve ark., 2005].

Ayrıca nanotüp katkılı olarak sıcaklığa bağlı olarak sıvı kristallerin elektriksel karakterizasyon işlemi de gerçekleştirilmiş olup nanotüp katkısı ile iletkenliğin arttığı sonucuna ulaşılmıştır [San ve ark., 2007].

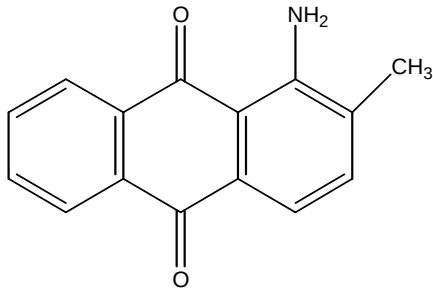
7. MATERİYAL VE METOT

7.1. Araç ve Gereçler

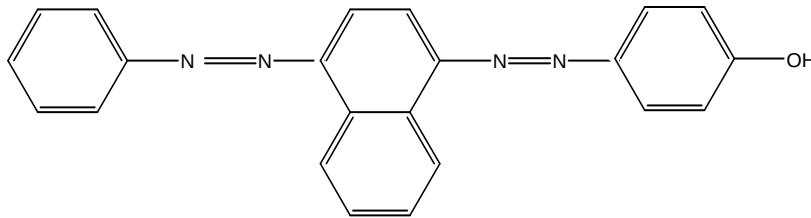
7.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler

Bu çalışmada kullanılan Dispers Turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddeleri Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır. Tek duvarlı karbon nanotüp ve fulleren C60 da yine aynı firmadan alınmıştır. Çözünürlük tayininde kullanılan aseton ise Reiedel firmasından temin edilmiştir. Bunların yanı sıra, siyanobifenil ve terfenil karışımı olan sıvı kristal E7 Merck firması tarafından karşılanmıştır. Düzen parametresinin tayin edildiği planar yönelime sahip hücreler ise ForeSea Technologies firmasınca hazırlanmıştır. Boya ve sıvı kristalin yapıları Şekil 7.1’de [Ono ve Ito, 2003], sıvı kristalin bazı özellikleri Çizelge 7.1’de görülmektedir.

a)

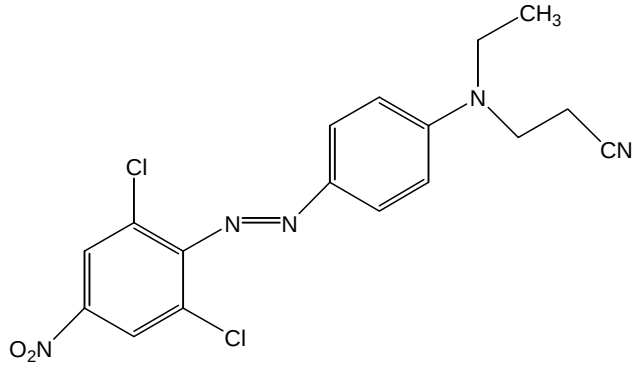


Dispers Turuncu 11



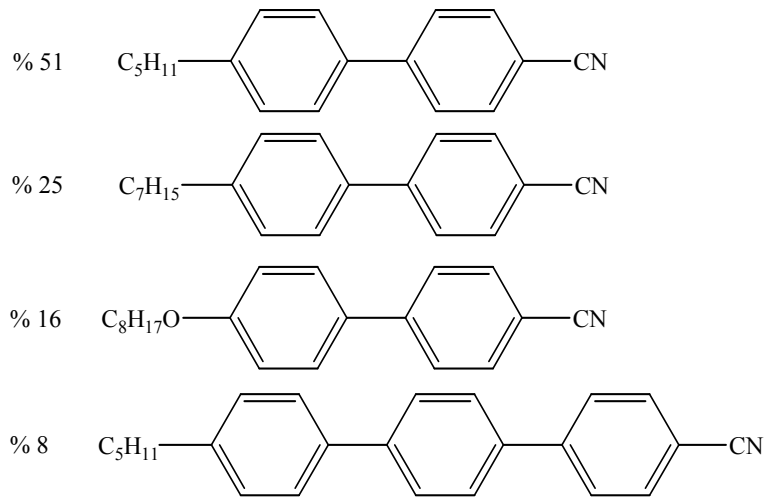
Dispers Turuncu 13

Şekil 7.1. Dispers Turuncu boyarmaddelerin (a) ve nematik sıvı kristal E7’nin moleküler yapıları (b).



Dispers Turuncu 37

b)



E7

Şekil 7.1. (Devam) Dispers Turuncu boyarmaddelerin (a) ve nematik sıvı kristal E7'nin moleküler yapıları (b).

Çizelge 7.1. E7 sıvı kristaline ait bazı değerler

	Erime Noktası (°C)	İzotropik faz geçiş noktası (°C)	n_e	n_o	Δn	K11[pN]	K33[pN]	K33/K11
E7	-10	58	1,7464	1,5211	0,2253	11,1	17,1	1,87

Değerler oda sıcaklığında ve 589 nm dalga boyu için verilmiştir [Merck teknik veri sayfası].

7.1.2. Kullanılan cihazlar

- Boyarmaddelerin çözünürlük tayinlerine dayalı absorpsiyon spektrumları ile düzenlilik parametresinin belirlendiği absorbans ölçümleri Perkin Emler Lambda 900 UV-VIS-NIR cihazı ile tayin edildi.
- Düzen parametresinin voltaja bağlı tayini GW Instek marka DC Supplier ile gerçekleştirildi.
- Numunelerin çalkalama işlemi Selecta marka su banyosu ile gerçekleştirildi.
- Numunelere ultrasonik etki Bandelin Sonorex marka ultrasonik banyo ile sağlandı.
- Çözünürlük tayinini gerçekleştirmek için Eppendorf marka santrifüj cihazı kullanıldı.
- Termal özellikler Shimadzu DSC60 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

Bu amaçla öncelikle Dispers Turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddelerin çözücü aseton içerisinde 100 mL 10^{-2} M stok çözeltileri ayrı ayrı hazırlandı. Hazırlanan çözeltilerin öncelikle maksimum absorbans verdikleri dalga boyları tespit edildi. Daha sonra kalibrasyon grafiklerinin oluşturulması amacıyla numuneler sırası ile 10^{-4} , 2×10^{-4} , 4×10^{-4} , 5×10^{-4} , 10^{-5} ve 5×10^{-6} M'a seyreltildi ve her bir konsantrasyonda absorbanslar ölçülerek, her bir boyarmadde için kalibrasyon grafikleri oluşturuldu (Ek-1).

Çalışılan çözeltiler ile ilgili bilgiler Çizelge 8.1'de yer almaktadır. Bu numuneler önce oda sıcaklığında Selecta marka su banyosunda 18 saat süre ile çalkalama işlemine tabii tutuldu. Bu aşamanın ardından Eppendorf santrifüj cihazı için özel olan 1,5 mL'lik santrifüj tüplerine boyarmadde + sıvı kristal karışımları konuldu. Numuneler 14500 devir/dakika kapasiteli cihaz ile santrifüjlendi. 20 dakikalık bu işlemin ardından dipteki çökelti ile çözelti birbirinden ayrıldı ve çözelti tekrar santrifüj işlemine tabi tutuldu. Çöken katının tamamı aseton içerisinde çözülerek ve gerekli seyreltme uygulanarak belirlenen dalga boylarında absorbansları ölçüldü ve kalibrasyon grafikleri yardımıyla çözünürlükler spektrofotometrik olarak tayin edildi.

Çizelge 8.1. Çözünürlük tayininde kullanılan boyarmaddelere ait miktarlar

Numune	Boyarmadde Miktarı (g)	E7 Miktarı (g)	% (wt/wt)
Dispers Turuncu 11	0,0568	1,0531	5,11
Dispers Turuncu 13	0,0635	1,1760	5,12
Dispers Turuncu 37	0,0575	1,0932	4,75

8.2. Boyarmadde ve Karışımlarının Düzen Parametre Değerlerinin Belirlenmesi

Numune hazırlama işlemi esas olarak iki basamakta gerçekleşir. Birincisi sıvı kristal numunelerin hazırlanması, ikincisi bu numunelerin iki tarafı içten ITO(İndiyum Kalay Oksit) kaplı cam elektrotlar arasına konulması şeklindedir.

8.2.1. Sıvı kristal karışımların hazırlanması

Öncelikle Dispers Turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddelerin sıvı kristal E7 içerisinde kütlece %1'lik çözeltileri hazırlandı. Hazırlanan bu numuneler oda sıcaklığında 18 saat civarında çalkalamalı banyoda bekletildi.

Bu işlemin ardından hazırlanan numuneler iki parçaya ayrıldı. Ayrılan numunelerin ilk setine tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT), diğer setine ise fulleren C60 ilavesi yapıldı. Numunelere eklenen nanopartikül miktarı kütlece %0,05 oranında idi.

Ayrıca Dispers Turuncu 11 ve 13 ile Turuncu 13 ve 37 boyarmaddeleri eşit oranda karıştırılarak, bireysel boyalar için uygulanan yöntem tekrar edildi. Bu amaçla ikili boyarmaddelerin iki farklı karışımına da kütlece %0,05 oranında tek duvarlı karbon nanotüp ve fulleren ilavesi yapılarak, hücre dolumu öncesi numuneler hazır hale getirilmiştir. Çizelge 8.2'de hazırlanan numunelere ait bilgiler yer almaktadır.

8.2.2. Numunelerin hücrelere doldurulması

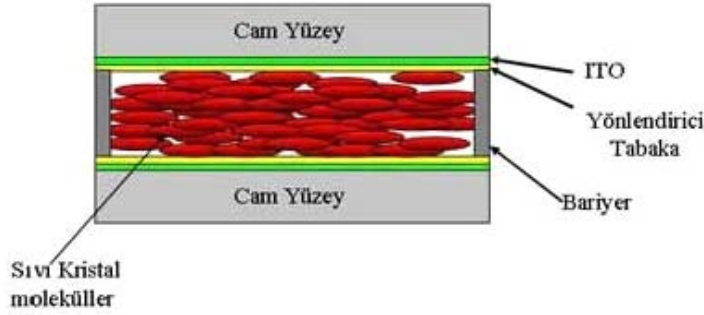
Bu aşama, bir önceki bölümde hazırlanan numunelerin hücrelere doldurulması işlemidir. Bu amaç için 25 mm^2 'lik aktif alanı mevcut olan $5 \mu\text{m}$ kalınlığındaki planar yönlenime sahip sıvı kristal hücreler seçilmiştir.

Tek duvarlı karbon nanotüp ve fulleren C60 içeren numuneler hücreye konulmadan önce 45 dakika süre ile ultrasonik banyoda bekletilmiştir.

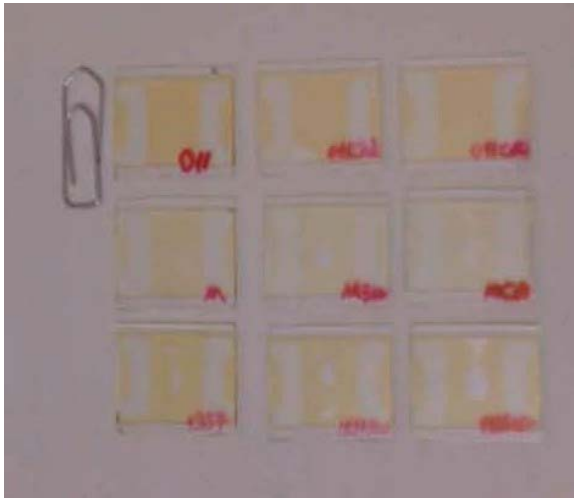
Çizelge 8.2. Numuneler ve bileşimleri

Sıra	Numune	Boyarmadde Bileşimi (%)	Nanopartikül Bileşimi (%)
1	Disperse Turuncu 11 + E7	1	-
2	Disperse Turuncu 11+E7+SWCNT	1	0,05
3	Disperse Turuncu 11+E7+C60	1	0,05
4	Disperse Turuncu 13 + E7	1	-
5	Disperse Turuncu 13+E7+SWCNT	1	0,05
6	Disperse Turuncu 13+E7+C60	1	0,05
7	Disperse Turuncu 37 + E7	1	-
8	Disperse Turuncu 37+E7+SWCNT	1	0,05
9	Disperse Turuncu 37+E7+C60	1	0,05
10	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7	1(=0,5+0,5)	-
11	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7+SWCNT	1(=0,5+0,5)	0,05
12	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7+C60	1(=0,5+0,5)	0,05
13	Disperse Turuncu 13+ Disperse Turuncu 37+ E7	1(=0,5+0,5)	-
14	Disperse Turuncu 13+ Disperse Turuncu 37+ E7+SWCNT	1(=0,5+0,5)	0,05
15	Disperse Turuncu 13+ Disperse Turuncu 37+ E7+C60	1(=0,5+0,5)	0,05

Hazırlanan sıvı kristal numuneler seçilen bu hücrelere kapiler yöntem tekniği ile doldurulup moleküllerin düzgün bir şekilde yönlenebilmesi için minimum 2 saat bekletilmiştir. Şekil 8.1’de kullanılan sıvı kristal hücrenin kesit görüntüsü görülmektedir. Resim 8.1’de ise kullandığımız numunelerden bazılarının gerçek fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 8.1. Sıvı kristal ile doldurulmuş planar yönelime sahip bir hücrenin kesiti.



Resim 8.1. Deneylerde kullanılan boya ve nanopartikül katkılı bazı SK hücrelerin resmi

8.2.3. Numunelerin düzen parametre değerlerinin belirlenmesi

Yukarıda anlatılan tarzda hazırlanan ve hücreye doldurulan numunelerin düzen parametre değerlerinin belirlenmesinde çift polarizörlü spektrofotometrik yöntemler kullanıldı [West ve ark., 1995]. Daha önce yapılan çalışmaların ışığında [Matsui ve ark., 1999] numunenin ön kısmına polarizör yerleştirildi. Referans hücre için kullanılan polarizör de referans hücrenin ön kısmına konuldu. Önce hücrelere paralel, sonra da dik olacak konumda polarizörler ayarlanarak absorbans ölçümleri gerçekleştirildi.

8.3. Numunelerin Düzen Parametre Değerlerinin Voltaja Bağlı Değişimi

Hazırlanan hücrelerin düzen parametre değerleri için değişik voltaj değerleri GW Instek marka DC Supplier vasıtasıyla sağlanmıştır. Bu amaçla 0 Volttan başlayarak 10 V'a kadar 15 farklı gerilimde (0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 8; 9 ve 10 V) düzen parametre değerleri ölçülmüş ve parametredeki ani değişime karşılık gelen voltaj değerleri belirlenmiştir.

8.4. Düzen Parametresinin Sıcaklıkla Değişimi

Bu aşamada S değeri yüksek olan antrakinon yapılı (Dispers Turuncu 11) ve azo yapılı (Dispers Turuncu 13) boyarmaddelerin karışımı ve bu karışımın tek duvarlı ve fulleren katkılı numunelerinin düzen değerinin sıcaklıkla değişiminin incelenmesi amacıyla 3 farklı sıcaklıkta (18, 24 ve 30°C) benzer deneyler tekrarlandı.

8.5. Numunelerin Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu aşamadan sonra boyarmadde ve karışımlarından oluşan numunelerin ısı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla DSC analizleri gerçekleştirildi. Bu bölümde saf sıvı kristal E7 ile Çizelge 8.2'de yer alan 1-6 ve 10-12 numaralı numunelerin analizleri gerçekleştirilmiştir. S değeri ve çözünürlükleri düşük olduğundan Turuncu 37 boya bulunan numuneler çalışılmamıştır. Isıl özelliklerin belirlendiği bu bölümde -20 ila 100°C aralığında 5°C/dakika ısıtma hızı ile analiz gerçekleştirildi.

8.6. Numunelere Ait Tekstürlerin Eldesi

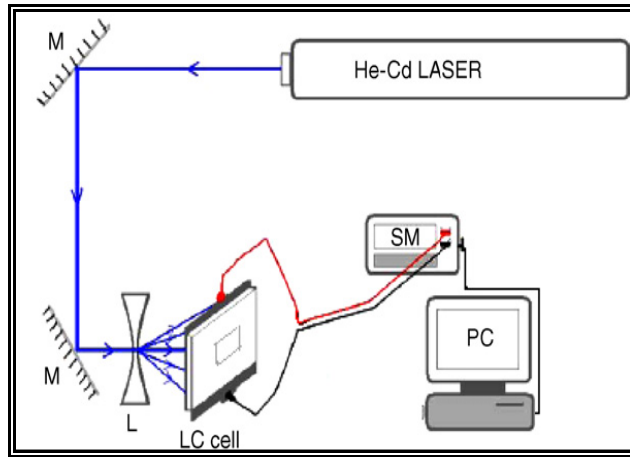
Bu süreçte Dispers Turuncu 11, 13 ve 37 boyarmaddelerinin tekli ve Dispers Turuncu 11 ile 13 boyarmaddelerinin ikili karışımının tekstürleri Linkam marka ısıtma-soğutma donanımlı, Leica Marka polarize mikroskop ile belirlendi. Bu aşamada oda sıcaklığından 55°C'a kadar 5°C/dak hızla ve bu sıcaklıktan 63°C'ye kadar 1°C/dak hızla ısıtma yapıldı. Soğutma işlemi de aynı şekilde tekrarlandı.

Yukarıdaki işlemler, Bölüm 8.4’de yer alan karışımlara SWCNT ve fulleren C60 eklenerek tekrar edildi.

8.7. Elektriksel Karakterizasyon İşlemi

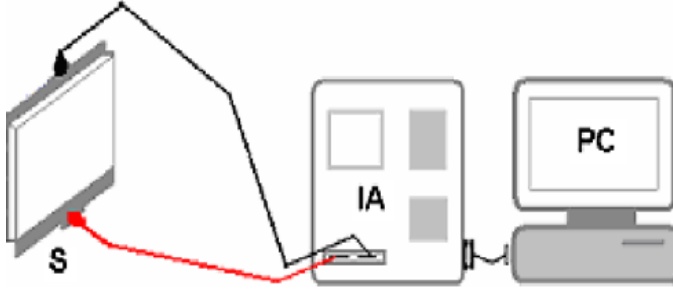
Bu aşamada S değeri yüksek olan antrakinon yapılı (Dispers Turuncu 11) ve azo yapılı (Dispers Turuncu 13) boyarmaddelerin karışımı ve bu karışımın tek duvarlı ve fullerenli numunelerinin elektriksel karakterizasyonları gerçekleştirildi. Analiz iki basamakta gerçekleştirildi.

Elektriksel karakterizasyon işleminin ilk basamağı Keithley 4200 Yarıiletken Karakterizasyon Sistemi (Şekil 8.2) ile fotoiletkenlik ölçümleri ve voltaja bağlı akım değerleri önce karanlık, sonra aydınlık ortamda gerçekleştirildi (sweep type:linear, 0-10 V, Step:0,1 V Data points: 101).



Şekil 8.2. Keithley 4200 Yarıiletken karakterizasyon sistemi

Hewlett Packard 414194 A empedans analizörü (Şekil 8.3) ile elektriksel karakterizasyon işlemi tamamlandı. Burada frekans sabit tutularak permittivite değerleri belirlendi.



Şekil 8.3. Hewlett Packard 414194 A empedans analizörü

9. SONUÇLAR

9.1. Boyarmaddelerin Çözünürlükleri

Çözünürlük tayinleri literatüre benzer tarzda gerçekleştirildi [Basturk ve ark., 1983]. Literatürde 10000 devir/dakika'dan fazla santrifüj hızı gözlemlenememesine rağmen, deneylerde 14500 devir/dakika hız ile santrifüj işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözünürlük tayini ile alakalı sonuçlar Çizelge 9.1'de görülmektedir.

Çizelge 9.1. Boyarmaddelerin çözünürlük değerleri

Boyarmadde	Maksimum Absorpsiyon Gözlenen Dalga Boyu (nm)	Başlangıçta Çözücüdeki Boya Yüzdeleri (%m/m)	Boya Çözeltilerinin Absorbans Değerleri	Yüzde Çözünürlük
Disperse Turuncu 11	472	5,11	0,2240	2,24
Disperse Turuncu 13	428	5,12	0,5703	2,6
Disperse Turuncu 37	424	5	0,5094	0,20

Çözünürlük değerleri literatüre göre değerlendirildiğinde; özellikle Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmaddelerinin sıvı kristal içerisindeki çözünürlüklerinin gayet iyi olduğu anlaşılmaktadır. Dispers Turuncu 11'in çözünürlük değeri ise, antrakınonlar için iyi bir değer olan %1,5'ler düzeyinden daha yüksek durumdadır [Pellatt ve Roe, 1980]. Literatürde yapılan çalışmalar[Köysal ve ark., 2009; San ve ark., 2008; Kayacan ve ark., 2007; Köysal ve ark., 2007; San ve ark., 2005; San ve ark., 2004]

incelendiğinde Dispers Turuncu 37 boyarmaddesinin holografik çalışmalar için uygun olduğu söylenebilir.

Çözünürlük sonuçları incelendiğinde özellikle disazo yapılı boyanın çözünürlüğünün diğer iki boyaya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Nitekim disazo yapılı boyarmaddelerin çözünürlüklerinin benzer yapılı boyalara göre daha yüksek olduğu bilinmektedir [Matsui ve ark., 1999].

9.2. Boyarmadde ve Karışımlarının Düzen Parametre Değerleri

Gösterge sistemlerinde yolcu-hancı aygıtların kalite ölçütü olarak düzen parametresi ve kontrast oranı gibi esas karakteristikleri baz alınmaktadır [Ghanadzadeh ve ark., 2007]. Yapılan kaynak araştırmalarına göre, sıvı kristalde kütlece %1'lik boyarmadde kullanılmasının uygun olacağı anlaşıldı [Jones ve Reeve, 1980; Ivashchenko ve ark., 1985; Haase ve ark., 1987]. Hazırlanan karışımlara tek duvarlı karbon nanotüp ve fulleren ilave edildikten sonra ultrasonik banyo kullanılmıştır. Ultrasonik etki, kümeleşmiş dispers haldeki nanotüplerin dağıtılması için yaygın biçimde kullanılan bir yöntemdir [Park ve ark., 2002].

Yapılan çalışmada, sıvı kristale katkı olarak tek başına boya eklendiği durumda en yüksek değerde düzen parametresi 0,62 olarak belirlendi. Bu değer Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait idi (Çizelge 9.2).

Dispers Turuncu 11 dışındaki katkısız numunelere ait S değerlerine bakıldığında, değerlerin (0,51 ve 0,59) bu boyarmaddenin S değerine göre daha düşük olduğu görülmektedir ki bu da Y-H sistemlerinin düzen parametre değerlerinin boyarmaddenin moleküler yapısından etkilendiğini göstermektedir [Ghanadzadeh ve ark., 2007; Grabchev ve ark., 2003].

Çizelge 9.2. Boyarmadde ve karışımlarına ait düzen parametre değerleri

Numune	Boyarmadde Bileşimi (%)	Nanopartikül Bileşimi (%)	S
Disperse Turuncu 11+ E7	1	-	0,62
Disperse Turuncu 11+E7+SWCNT	1	0,05	0,66
Disperse Turuncu 11+E7+C60	1	0,05	0,74
Disperse Turuncu 13+E7	1	-	0,59
Disperse Turuncu 13 +E7+SWCNT	1	0,05	0,60
Disperse Turuncu 13+E7+C60	1	0,05	0,66
Disperse Turuncu 37+ E7	1	-	0,51
Disperse Turuncu 37+E7+SWCNT	1	0,05	0,56
Disperse Turuncu 37+E7+C60	1	0,05	0,57
Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7	1(=0,5+0,5)	-	0,84
Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7+SWCNT	1(=0,5+0,5)	0,05	0,79
Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7+C60	1(=0,5+0,5)	0,05	0,76
Disperse Turuncu 13+ Disperse Turuncu 37+ E7	1(=0,5+0,5)	-	0,91
Disperse Turuncu 13+ Disperse Turuncu 37+ E7+SWCNT	1(=0,5+0,5)	0,05	0,92
Disperse Turuncu 13+ Disperse Turuncu 37+ E7+C60	1(=0,5+0,5)	0,05	0,93

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]. Yapılan çalışmada en yüksek değer antrakinon yapılı boyarmaddede elde edilmesi de ilginç bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

Planar nematik hücrede boya ile katkılanmış sıvı kristal içerisinde çok düşük miktarlarda karbon nanopartikül bulunduğu durumda düzen parametresinde artış gözlemlendi ki bu literatür ile uyumluydu [Suleiman ve ark., 2008; Ghosh ve Carisle, 2005]. Üç farklı yapılı boyarmadde ve iki farklı nanopartikül (SWCNT ve Fulleren) ile yapılan ve artış gözlenen tekli boyarmadde çalışmalarında en yüksek düzen parametresi değerine (0,74), Disperse Turuncu 11 boyarmaddesine fulleren ilave edildiği durumda erişildi. Her iki nano partikül de Turuncu 37 boya üzerinde benzer etki göstermesine rağmen, daha yüksek düzen parametre değerine sahip diğer iki boyarmaddede (Disperse Turuncu 11 ve 13) üzerinde fulleren daha etkin bir rol oynamıştır. Bu yüksek değerler fulleren/boya karışımlarının sıvı kristal direktör boyunca iyi yönlendiğini yansıtmaktadır ki bu durum, moleküllerin arasında oluşan fulleren köprüleri vasıtasıyla hücre üzerinde konjüge yapının süreklilik kazanması şeklinde açıklanabilir. Konjüge sistemler yük enjeksiyonu ve transferinin geliştirilmesi amacıyla geniş ölçüde kullanılır. Moleküler teller kullanıma örnek olarak verilebilir [Yim ve ark., 2008; Fages ve ark., 2008].

Bu artışlar tüm boyarmaddelerde görünmesine karşın, antrakinon yapılı (Turuncu 11) ve bisazo yapılı (Turuncu 13) boyarmaddelerde daha baskındır ve bu durum muhtemelen hidrojen bağlarının oluşumundan kaynaklanmaktadır. Hidrojen bağlarının Turuncu 11 boyadaki amino grupları ve Turuncu 13'deki hidroksi grupları ile sıvı kristal E7'deki siyano grupları arasında olabileceği düşünülmektedir. Hidrojen bağı oluşturan bu üçlü kombinasyon (E7/nanopartikül/boya) ve konjüge yapılar, düzen parametre değerinde bir artışa neden olan sıvı kristal fazın yönlenmesinde olumlu katkı sağlamaktadırlar.

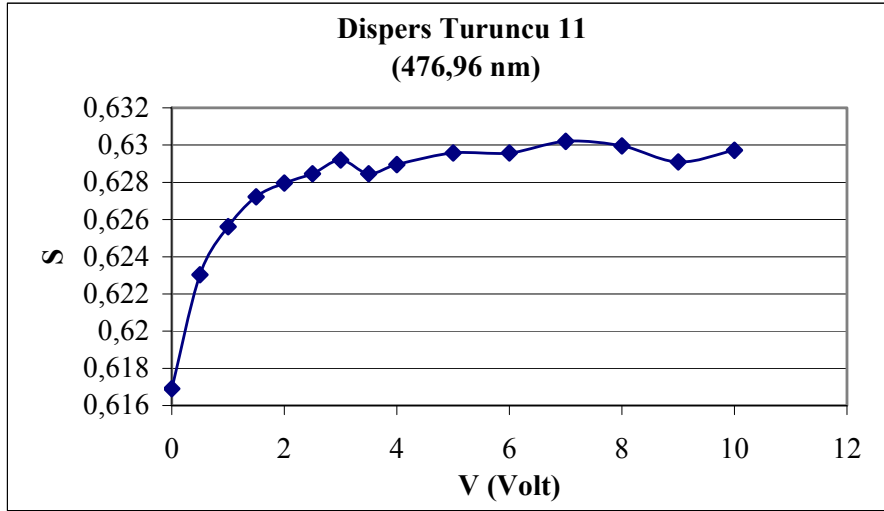
Tekli boyalarla erişilen değerler yüksek olmasına rağmen, ikili boya karışımlarında daha da yüksek değerlerin oluştuğu görüldü. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımından elde edilen değer 0,84 idi ve nanopartikül ilave edildiğinde bu değerde düşme görüldü. 13 ve 37 boya karışımı ile erişilen 0,91'lik değer ise partikül ilavesi ile arttı ve fullerende 0,93'lük değer elde edildi. Yani yüksek S değerli iki boyarmaddenin karışımına nanopartikül ilave edildiğinde S'de azalma gözlenirken, birisi düşük değerli boyaların karışımında ters etki yaparak artışa sebep oldu.

Bir başka deyişle aralarında hidrojen bağı yapabilecek boya karışımlarında nanopartikül ilavesi bu kombinasyonu bozucu etki yaparken, aralarında bağlanma gerçekleşmeyen iki boyayı irtibatlandırabilmektedir.

9.3. Boyarmadde ve Karışımlarının Düzen Parametre Değerlerinin Voltajla Değişimi

Düzen parametre değerinde değişikliğe sebep olan eşik voltajların belirlenmesi amacıyla deneyler farklı doğru akım voltajlarında gerçekleştirildi ve S değerleri uygulanan voltajın fonksiyonu olarak grafiğe geçirildi. Şekil 9.1'de Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait grafik verilmiş olup diğer grafikler Ek-2 bölümündedir. Voltaja bağlı düzen parametresindeki değişimin, literatürle uyumlu olduğu görülmüştür [Karapınar ve ark., 2002].

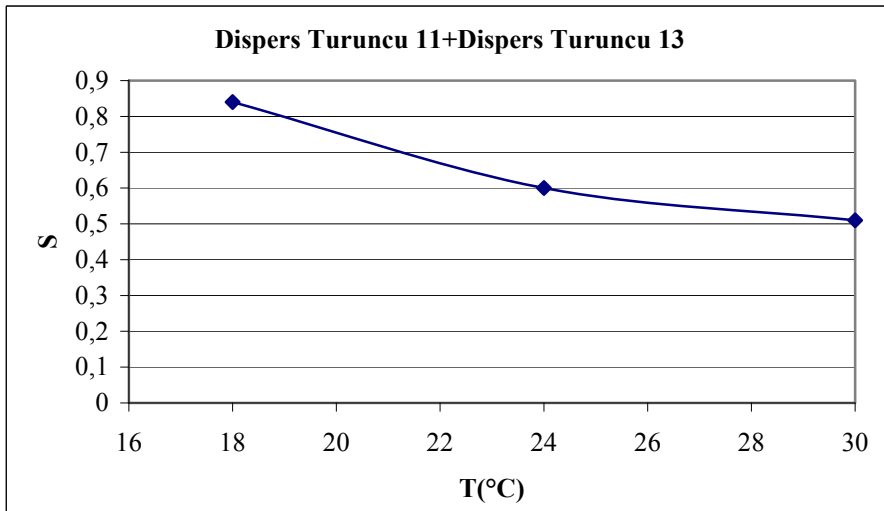
Grafikten de anlaşılacağı üzere belli bir voltaj değerine ulaşıldığı anda düzen parametre değeri aniden artmakta ve eşik değerinden sonraki yüksek voltajlarda kararlı hale erişerek sabit kalmaktadır. Diğer numuneler için de elde edilen sonuçlar yukarıdaki sonuçlarla paraleldir.



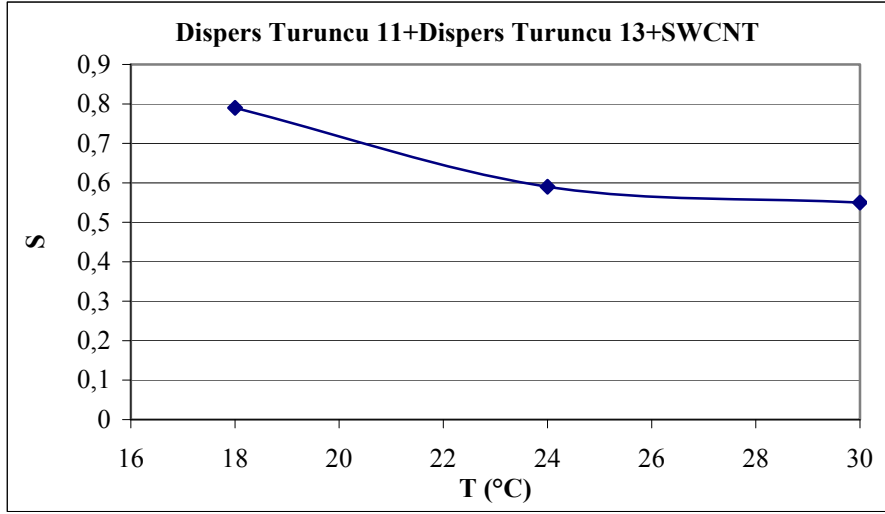
Şekil 9.1. Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait S-V grafiği

9.4. Düzen Parametre Değerinin Sıcaklıkla Değişimi

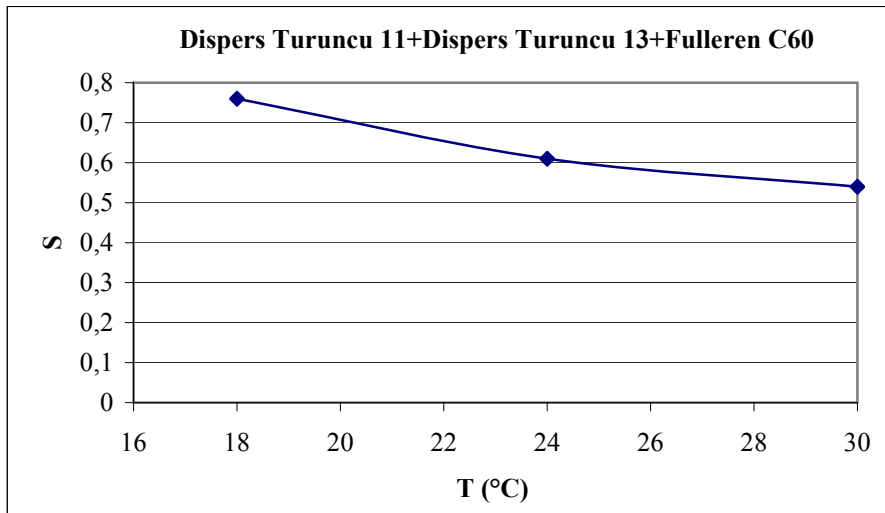
Dispers 11 ve 13 boyarmaddelerinden oluşan karışımın ve bu karışıma SWCNT ve C60 eklenmesi durumunda elde edilen düzen parametre değerlerinin sıcaklıkla değişimi Şekil 9.2, 9.3 ve 9.4’de görülmektedir. Bu değerler Çizelge 9.3’te özetlenmiştir.



Şekil 9.2. Nanopartikül katkısız numunenin düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 9.3. SWCNT katkılı numunenin düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 9.4. C60 katkılı numunenin düzen parametresinin sıcaklıkla değişimi

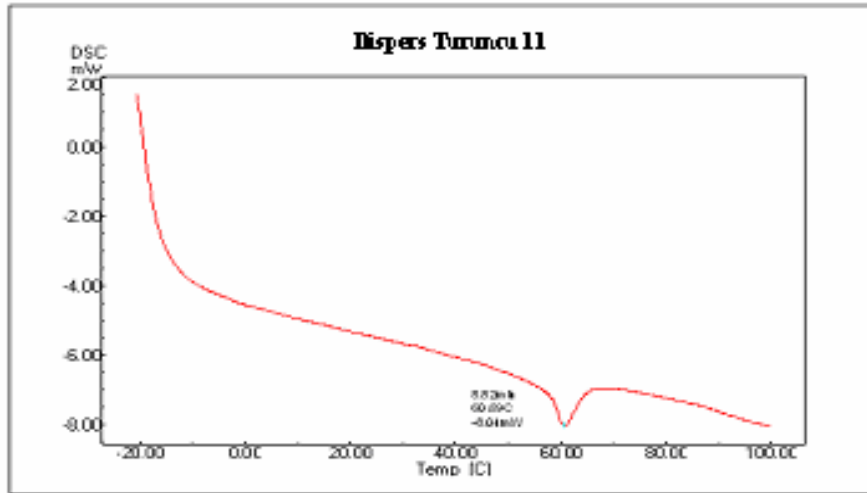
Bu sonuçlar incelendiğinde düzen parametre değerlerinin her üç karışım içinde sıcaklıkla azaldığı görülmektedir ki beklenen bir sonuçtur [Grabchev ve ark., 2003]. Buna ek olarak nanopartiklü eklenmesi ile düzen parametre değerlerinin sıcaklığa bağımlılığı azalmaktadır.

Çizelge 9.3. Numunelerin düzen parametre değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Sıcaklık (°C)	Numune	Dalga Boyu (nm)	S
18	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+	478	0,84
	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+SWCNT	476	0,79
	Disperse Turuncu 11 Disperse Turuncu 13+C60	475	0,76
24	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+	457	0,60
	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+SWCNT	459	0,60
	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+C60	454	0,61
30	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+	456	0,51
	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+SWCNT	458	0,55
	Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+C60	453	0,54

9.5. Boyarmadde ve Karışımlarının Isıl Özellikleri

Literatürdeki DSC taramalarında 10°C/dak [Hattori ve Uryu, 1999] ve 5°C/dak [Ghanadzadeh ve Beevers, 2001] gibi farklı hızlar göze çarpmaktadır. Yapılan çalışmada -20 ila 100°C aralığında 5°C/dak tarama hızı seçilerek DSC analizleri gerçekleştirildi. Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait DSC termogramı Şekil 9.5’de verilmiş olup diğer numunelere ait pikler Ek-3 bölümünde yer almaktadır. Çözünürlük ve düzen parametre değerleri diğer numunelere göre daha düşük olan Dispers Turuncu 37 boyarmaddesinin DSC analizleri yapılmamıştır.



Şekil 9.5. Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait DSC termogramı

Bunun yanı sıra Çizelge 9.4’de DSC analizinin sonuçları özet olarak verilmiştir.

Numunelerin ısı özelliklerinin yer aldığı Çizelge 9.4 incelendiğinde sıvı kristale boya, boya/nanopartikül eklendiği durumlarda nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının azalmadığı tam aksine bu sıcaklığa pozitif etki yaptığı görüldü.

Çizelge 9.4. Numunelerin ısı özellikleri

Karışım	T _{NI} (°C)	ΔH _{ERİME} (MJ)
E7	59,33	5,91
Dispers Turuncu 11+E7	60,69	8,04
E7+Dispers Turuncu 11+E7+SWCNT	59,80	4,55
E7+Dispers Turuncu 11+E7+C60	60,06	4,85
Dispers Turuncu 13+E7	59,79	3,59
E7+Dispers Turuncu 13+SWCNT	60,50	3,10
E7+Dispers Turuncu 13+C60	59,64	3,93
Dispers Turuncu 11+Dispers Turuncu 13+E7	59,9	3,50
Dispers Turuncu 11+Dispers Turuncu 13+E7+SWCNT	59,39	3,37
Dispers Turuncu 11+Dispers Turuncu 13+E7+C60	59,29	4,36

9.6. Boyarmadde ve Karışımlarının Tekstürlerinin İncelenmesi

Polarize mikroskop ile belirlenen boyarmadde ve karışımlarına ait faz geçiş sıcaklıkları ($\bar{T}_{NI}$) Çizelge 9.5’de görülmektedir. Son sütunda ise katkısız sıvı kristal için belirlenen geçiş sıcaklığından olan sapmalar ($\Delta\bar{T}_{NI}$) verilmiştir [Wolarz ve ark., 1992; Grabchev ve ark., 2003].

Literatüre bakıldığında benzer tarzdaki bir çalışmada 4-amino-N-etilnaftalimit katkısından sonra kristalin kararsız hal almasından ötürü nematik-izotropik geçiş sıcaklığının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada yüksek düzen parametre değerine sahip olan boyaların faz geçiş sıcaklığını ya çok az miktarda düşürdüğü, ya da tam tersi artışa neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca boyarmaddelerdeki kararsızlığın, ΔT_{NI} değerinin -1,4 °C’den daha küçük

olmamasından ötürü önemsiz olduğu vurgulanmıştır [Martynski ve ark., 1994]. Bu yönüyle bu tez çalışmasından sapmalar, birisi hariç olumlu etkiye sahiptir. Negatif olan değer ise çok küçük olup önemsiz boyuttur.

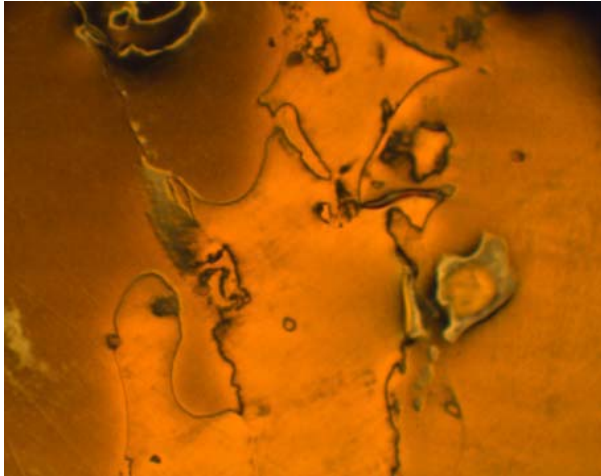
Düzen parametre değeri ile berraklaşma noktası arasında bir ilginin olduğu ve dolayısıyla düzen parametresi yüksek olan karışımların berraklaşma noktasının da daha yüksek olduğu ileri sürülmüştür [Fiksinski ve ark., 1991].

Çizelge 9.5. Numunelerin faz geçiş sıcaklıkları

Numune	T_I (°C)	T_N (°C)	$T_I - T_N$ (°C)	ΔT_I (°C)	ΔT_N (°C)	$\bar{T}_{NI}$ (°C)	$\Delta \bar{T}_{NI}$ (°C)
E7	60,7	58,7	2	0	0	59,7	0
Disperse Turuncu 11+E7	61,1	59,2	1,9	0,4	0,5	60,15	0,45
Disperse Turuncu 11+ E7+SWCNT	61,2	59,3	1,9	0,5	0,6	60,25	0,55
Disperse Turuncu 11+ E7+C60	60,4	58,9	1,5	-0,3	0,2	59,65	-0,05
Disperse Turuncu 13+E7	61,6	59	2,6	0,9	0,3	60,3	0,6
Disperse Turuncu 13+ E7+SWCNT	60,8	59,1	1,7	0,1	0,4	59,95	0,25
Disperse Turuncu 13+ E7+C60	60,6	58,9	1,7	-0,1	0,2	59,75	0,05
Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7	60,9	59,2	1,7	0,2	0,5	60,05	0,35
Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7+SWCNT	60,9	58,8	2,1	0,2	0,1	59,85	0,15
Disperse Turuncu 11+ Disperse Turuncu 13+ E7+C60	61,3	59,1	2,2	0,6	0,4	60,2	0,5

Ancak yaptığımız çalışmada bunu kısmen destekleyici sonuçlara ulaşıldı. Şöyle ki: Dispers Turuncu 11 ile ilgili düzen parametre değerleri ile polarize mikroskop sonuçlarına beraber bakıldığında fulleren ilavesi ile bu durumun tersi sonuçlara ulaşıldığı görüldü. Dispers Turuncu 13'e bakıldığında da hem tek duvarlı nanotüp, hem de fulleren ilavesi ile bu durumun tam ters biçimde vuku bulduğu görülmektedir. Bu iki boyarmaddenin karışımı incelendiğinde ise bu görüşü tamamen destekleyen sonuçların ortaya çıktığı anlaşıldı.

Polarize mikroskop ile yapılan tayinlerde faz geçiş sıcaklıklarının yanısıra tekstürler de elde edilmiştir. Dispers Turuncu 11 boyarmadde katkılı sıvı kristale ait tekstür Resim 9.1'de verilmiş olup diğer numunelere ait resimler Ek-4 bölümünde yer almaktadır. Bu görüntülerin tamamı incelendiğinde, tekstürlerin literatürdekiler ile benzer olduğu sonucuna ulaşılmıştır [Dierking, 2003].

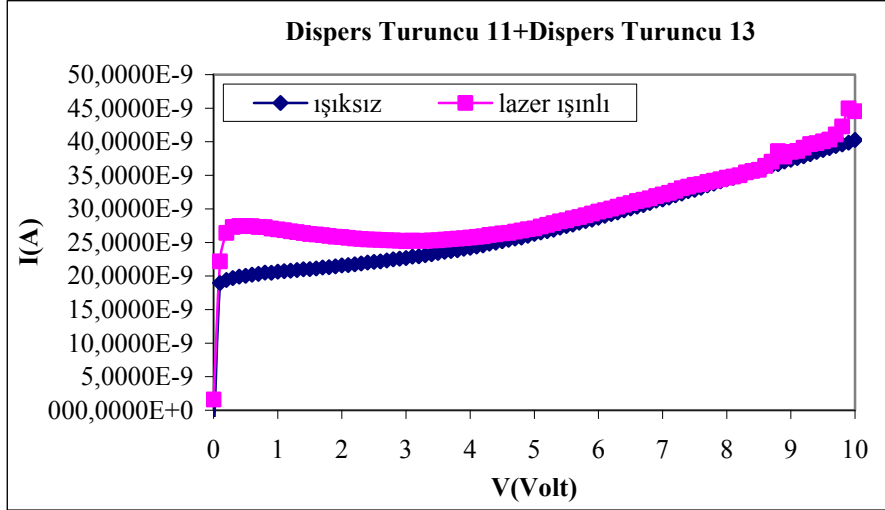


Resim 9.1. Dispers Turuncu 11 boya katkılı sıvı kristalin 25°C'deki tekstürü

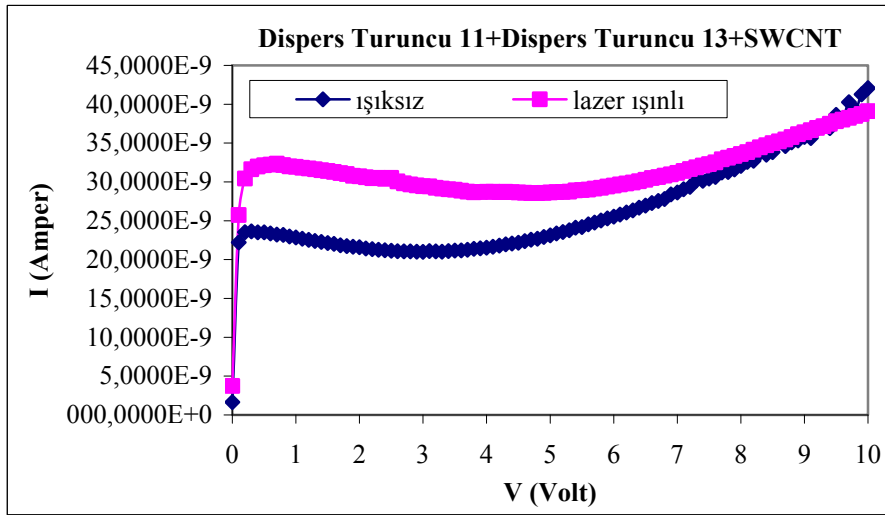
9.7. Boyarmadde ve Karışımlarının Elektriksel Özellikleri

Elektriksel karakterizasyon işleminin ilk aşamasında fotoiletkenlik ölçümleri ışıksız ve 40mW He-Cd lazer ile ışıklandırılarak gerçekleştirildi. Şekil 9.6, 9.7 ve 9.8'e bakıldığında, indüklenen iletkenliğin uygulanan voltajın bir fonksiyonu olduğu görülür. Her üç grafikten görüldüğü gibi artan voltaja bağlı olarak iletkenlikte artış

gözlenir. Bu etkinin numunedeki iyonik safsızlıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir [Köysal ve ark., 2008].



Şekil 9.6. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımlarına ait fotoiletkenlik sonuçları

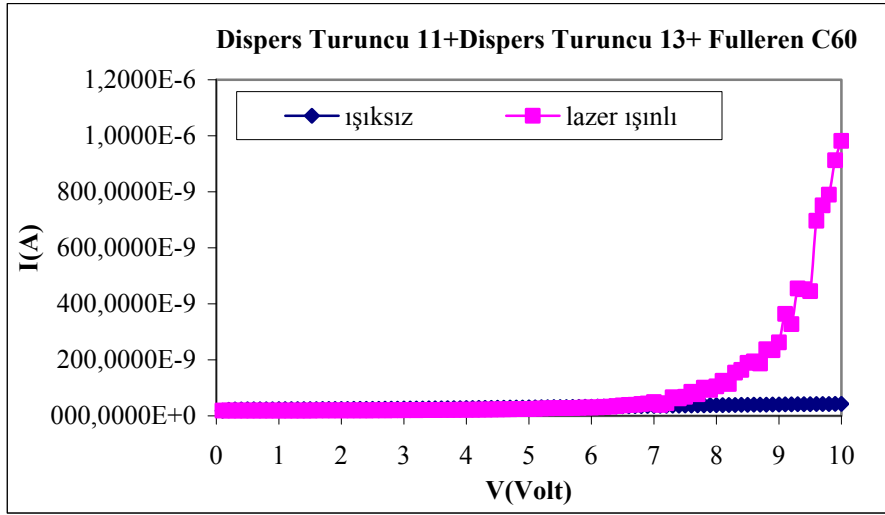


Şekil 9.7. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımlarına SWCNT eklenmesi ile elde edilen karışımlara ait fotoiletkenlik sonuçları

Şekil 9.6 ve 9.7'ye bakıldığında yaklaşık 0,5-1 V aralığında iletkenliğin ani bir şekilde farklılaştığı görüldü. Katkısız boya karışım numunesinin ışıkla etkileşimi sonucunda iletkenlik çok az miktarda değişmiştir. Grafiğe göre dc gerilim 4 volta

gelineceye kadar iletkenlik karanlık bir ortamda yapılan ölçüme göre daha yüksek, bu dc gerilim değerinden sonra aynı seviyededir denilebilir.

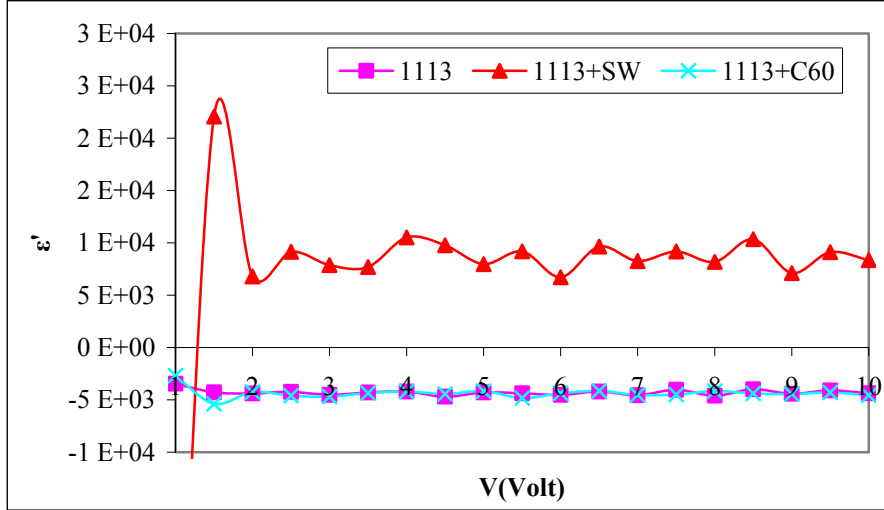
Şekil 9.6 ve 9.7'ye beraber bakıldığında SWCNT eklenmesinin karanlık ortamda iletkenliğe pek etkisinin olmadığı görülür. Bu örneğin üzerine ışık düşürdüğümüzde dc gerilim 9 Volta gelinceye kadar iletkenliğin karanlık ortama göre daha yüksek olduğu görülmektedir. SWCNT daha fazla yük taşıyıcısı indüklemekte etkili olmuştur. Ayrıca ışıkla fotouyarıma uğrayan elektronlar iletkenliği artırmıştır.



Şekil 9.8. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımlarına C60 eklenmesi ile elde edilen karışımlara ait fotoiletkenlik sonuçları

Şekil 9.8 incelendiğinde ise 7 V civarında iletkenliğin farklılaştığı görüldü. Bu da iyonik kirlenmeden ötürü yüksek voltajlarda lazer etkisiyle moleküler etkileşimin oluşmasına bağlanmaktadır [Köysal ve ark., 2008]. Lazer etkisiyle karanlık ortama göre iletkenlikte 25 katlık bir artış gözlemlendi ki; bu da C60'ın yük taşıyıcıları indüklemesi ile ilgilidir [Köysal ve ark., 2008]. Karışıma C60 eklenmesi ile SWCNT eklenmesi kıyaslandığında C60 daha iletken davranmaktadır ve iletkenlik yaklaşık olarak 25 kat artmaktadır. Yani C60; SWCNT ye göre elektriksel yük taşımada daha etkilidir ve daha fazla yük taşıyıcısı indüklemektedir. C60'lı karışımda DC gerilim 7 volta gelinceye kadar aydınlık ve karanlık ortamdaki numune aynı mertebede

iletkenlik göstermektedir. Ancak DC gerilim 7 Voltu geçtikten sonra ışıkla fotouyarıma uğrayan elektronlar iletkenliği önemli ölçüde artırmıştır.



Şekil 9. 9. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımlarına SWCNT ve C60 eklenmesi ile elde edilen karışımlara ait reel dielektrik sabitleri

Şekil 9.9'da verilen dielektrik sabitlerinin değişim grafiğine bakıldığında Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmaddeleri ile hazırlanan numunelerde C60'ın herhangi bir etkisi gözükmemektedir. Ancak SWCNT katkılanması ile dielektrik özellik daha baskın hale gelmiştir. SWCNT daha fazla yük taşıyıcısı indüklemesidir ve böylece iletkenlik düşmüştür. E7 nin ise bu boya numunesine göre iletkenliği neredeyse hiç yok denilebilir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Televizyon, bilgisayar ekranları, kol saatleri, hesap makineleri v.b. bir çok alanda kullanımı olan sıvı kristallerin ülkemizde üretimi yapılmamaktadır. Bu doktora çalışmasına daha önce çalışılmayan numunelerin düzen parametrelerinin belirlenmesi ile başlanmış ve bu numunelerin karıştırılması ile daha yüksek düzen değerine sahip boya-sıvı kristal (Guest-host) sistemlerinin eldesi amaçlanmıştır.

Boyarmadde karışımlarının daha önce hiçbir çalışmada kullanılmaması ile birlikte numunelere nanopartikül uygulanması işlemine de fazla rastlanamamıştır. Ayrıca düzen parametresinin dc voltaja karşı değişiminin incelenmesi de çalışmayı orijinal kılan bir diğer parametredir.

Çalışmanın ilk aşamasında boyarmaddelerin sıvı kristal içerisindeki çözünürlükleri tayin edildi. Bu aşamanın ardından boyarmaddelerin düzen parametre değerleri farklı voltajlarda belirlendi. Daha sonra karışımların düzen değerleri tespit edildi. Bu işlemler sıvı kristal numunelere üç farklı boyarmadde ve iki farklı nanopartikül eklenerek tekrar edildi.

Numunelerin termal özellikleri DSC cihazı yardımı ile belirlenmiştir. Bu işlemin ardından numunelerin tekstürleri polarize mikroskop yardımı ile elde edilmiştir. Son olarak düzen parametre değerleri yüksek olan numunelerin elektriksel karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiş ve çalışma tamamlanmıştır.

Düzen parametresi ile ilgili deney sonuçları irdelendiğinde boyarmadde karışımlarında çok yüksek değerlere çıkıldığı görülmektedir. Bu durumun, karışımı teşkil eden iki boyarmadde arasında oluşması muhtemel hidrojen bağları ile meydana gelebilecek daha uzun moleküler zincirli konjüge yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Değerler incelendiğinde nanopartikül ilavesi ile numunelerin büyük çoğunluğunun düzen parametre değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Dispers Turuncu 11 ve 13

boyarmaddelerinin karışımına nanopartikül ilave edildiğinde ise düzen parametre değerinde düşme meydana gelmiştir. Bu durumun, nanopartikül ilavesinin bu karışımdaki hidrojen bağlarına olumsuz etkisinden ileri geleceği kanısı hâkimdir.

DSC termogramları ve polarize mikroskop verileri irdelendiğinde sonuçların birbirleri ile tutarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Polarize mikroskop analizinin sonuçlarına bakıldığında sıvı kristalin, sıvı kristal özellik gösterdiği sıcaklık aralığının hem boya hem de nanopartikül ilavesi ile daralmayıp tam tersine genişlediği görülmektedir.

Bu çalışmanın farklı kalınlıklardaki hücrelerle tekrarlanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca boyarmadde karışımları farklı yüzdelerde hazırlanarak düzen parametre değerleri belirlenebilir. Bunlara ek olarak bu boyarmadde ve karışımları negatif dielektrik anizotropiye sahip bir sıvı kristalde de çalışılabilir.

KAYNAKLAR

- Abrahart, E.N., "Dyes and Their Intermediates 2nd ed.", *Pergamon Press*, London, 1-31 (1977).
- Akar, B., "Nematik sıvı kristallerin tek duvarlı karbon nanotüplerin yönleniminde kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 16-46 (2006).
- 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).
- 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).
- Blinov, L. M. and Chigrinov, V. G., "Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials", *Springer-Verlag*, New York, 1-18, 47-91 (1994).
- Bundy, F. P., "Direct conversion of graphite to diamond in static pressure apparatus", *Journal of Chemical Physics*, 38(3): 631-643 (1963).
- Burghard M., "Electronic and vibrational properties of chemically modified single-wall carbon nanotubes", *Surface Science Reports*, 58: 1-109 (2005).
- Canbulat, M., "Bazı antrakinon boyarmaddelerinin sentezlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-10 (2006).
- Cognard, J. and Phan, T. H., "Colorants Anthraquinoniques Stables de Parametre D'Ordre Eleve en Solution Dans les Cristaux Liquides", *Mol. Cryst. Liq. Cryst*, 70:1-19 (1981).
- Collings, P. J. and Hird, M., "Introduction to Liquid Crystals: Chemistry and Physics", *Taylor & Francis*, London, 177-195 (1997).
- Cox, R. J., "Liquid crystal guest-host systems", *Mol. Cryst. Liq. Cryst*, 55: 1-32 (1979).

Çıracı, S., “Metrenin milyarda birinde bilim ve teknoloji”, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Yeni Ufuklara Özel Eki: 6-10 (2005).

DeVries, R. C., “Synthesis of diamond under metastable conditions”, *Annual Review of Material Science*, 17: 161-187 (1987).

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

Erdik, E., “Denel Organik Kimya”, *Ankara Üniversitesi Fen Fak. Yayınları*, Ankara, 581-582 (1997).

Erdoğan, B., “Termal Yöntemler”, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 1-6 (2003).

Eser, H. M., “Karbon nanotüp-sıvı kristal karışımlarının elektriksel özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 3-40 (2006).

Fages, F., Wytko, J. A. and Weiss, J., “Minireview: From molecular nanowires to molecular nanocables: Synthetic strategies and conducting peoperties”, *Comptes Rendus Chimie*, 11(10): 1241-1253 (2008).

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

Foitzik, J. K. And Haase, W., “On the solubilities of pleochroic dyes in liquid crystalline phaese”, *Molecular Cryst. Liq. Cryst.*, 97: 231-240 (1983).

Gennes, P. G. and Prost, J., “The Physics of Liquid Crystals 2nd ed.”, *Oxford University Press*, New York, 10-18, 117-138, 230-244 (1998).

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

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

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

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

Gray, G. W., "Introduction and Historical Development", Physical Properties of Liquid Crystals, Demus, D., Goodby, J., Gray G. W., Spiess, H.-W. And Vill, V., *Wiley-VCH*, Weinheim, 1-16 (1999).

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).

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).

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

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).

Hennrich F., Chan C, Moore V., Rolandi M. and O'Connell M., "The element carbon", Carbon Nanotubes Properties and Applications, O'Connell, M., *CRC*, California, 1-16 (2006).

İnternet: msu "Nanotube Properties"
<http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/ntproperties> (2006).

Huh, I. K. and Kim, Y. B., "New low viscosity liquid crystal compounds containing the 2,3,4-trifluorophenyl moiety for active matrix displays", *Liquid Crystals*, 29(10): 1265-1273 (2002).

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).

Ivashchenko, A. V., Petrova, O. S. and Titov, V. V., "Heteroaromatic azo dyes exhibiting negative dichroism in liquid crystals", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 108: 165-175 (1984).

Ivashchenko, A.V., "Dichroic Dyes for Liquid Crystal Displays", *CRC Press*, USA, 3-98, 115-116 (1994).

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

Jones, F. and Kirkby, F. A., "Naphthoquinone dyes in liquid crystalline media", *Molecular Cryst. Liq. Cryst.*, 108: 165-175 (1984).

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).

Karapinar, R., Neill, M. O. and Hird, M., "Polymer dispersed ferroelectric liquid crystal films with electro-optic quality", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 35(9): 900-905 (2002).

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

Khoo, I. C., "Liquid Crystals: Physical Properties and Nonlinear Optical Phenomena", *Wiley & Sons*, New York, 5-10 (1995).

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 Durmuş, 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., San, S. E., Okutan, M. and Özder, 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).

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

Martynski, T., Mykowska, E., Stolarski, R. and Bauman, D., "Derivatives of 4-Amino-N-Ethyl-naphthalimide for Use in Nematic Liquid Crystals", *Dyes and Pigments*, 25(2): 115-129 (1994).

Matsui, M., Okada, S., Kadowaki, M. and Yamada, M., "Synthesis of perfluorobutyl-substituted ester-disazo dyes and their application to guest-host liquid crystal displays", *Liquid Crystals*, 29(5): 707-712 (2002).

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

Meng, Q., Yan, W., Yu, M. and Hunag, D., "A study of third-order nonlinear optical properties for anthraquinone derivatives", *Dyes and Pigments*, 56(2): 145-149 (2003).

Okutan, M., San, S. E., Basaran, E. and Yakuphaoglu, F., "Determination of phase transition from nematic to isotropic state in carbon nano-balls' doped nematic liquid crystals by electrical conductivity-dielectric measurements", *Physics Letters A*, 339(6): 461-465 (2005).

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).

Oral, A., "Taramalı uç mikroskopu: atomlarda magnetik girdaplara görüntüleme", *Bilim ve Teknik Dergisi*, Yeni Ufuklara Özel Eki: 18-19 (2005).

Özcan, Y., "Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği", *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 176-209, 482-491 (1978).

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).

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

Preistley, E. B., "Liquid crystal mesophases", Introduction to Liquid Crystals, *Plenum Press*, New York, 1-14 (1975).

San, S. E., "Boya katkılı nematik sıvı kristallerde optik nonlineeritenin 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., 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).

San, S. E., Yerli, Y., Okutan, M., Yılmaz, Y., Gunaydın, O. and Hames, Y., “Temperature dependency of electrical behaviors in single walled carbon nanotube/conductivity polymer composites”, *Materials Science & Engineering B*, 138(3): 284-288 (2007).

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).

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

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).

Merck KGaA, Teknik veri sayfası-E7, Darmstadt, Germany, (2004).

Venkataraman, K., “The Chemistry of Synthetic Dyes Volume 1”, *Academic Press*, New York, 240-247 (1952).

Wang, X.-J. and Zhou, Q.-F., “Liquid Crystalline Polymers”, *World Scientific*, Singapore, 1-7 (2004).

West, J. L., Magyar, G. L., Kelly, J. L., Kobayashi, S., Limura, Y. and Yoshida, N., “Dichroic ultraviolet absorption of thin liquid crystal films”, *Applied Physics Letter*, 67(2): 155-157 (1995).

Wolarz, E., Moryson, H., Bauman, D., “Dichroic fluorescent dyes for 'guest-host' liquid crystal displays”, *Displays*, 13(4): 171-178 (1992).

Wu, S. T. and Yang, D. K., “Reflective Liquid Crystal Displays”, Lowe, A. C., *New York*, 125-148 (2001).

Yim, K. H., Whiting, G. L., Murphy, C. E., Halls, J. M., Burroughes, J. H., Friend, R. H. and Kim, J. S., “Controlling electrical properties of conjugated polymers via a solution-based p-type doping”, *Advanced Materials*, 20(17): 3319-3324 (2008).

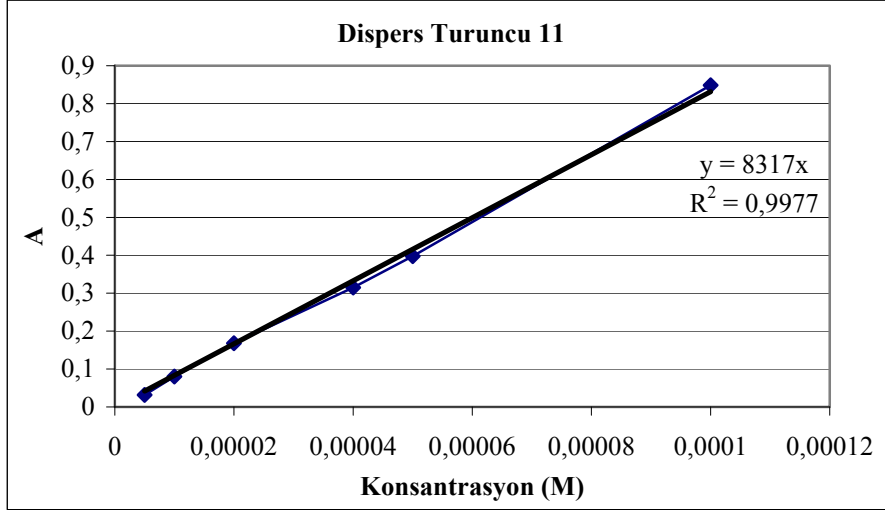
Zhang, C. H., Yang, Z. H. and Ding, N. X., “Liquid crystal alignment generated by linearly polarised UV light on photoactive low molecular mass compounds”, ***Liquid Crystals***, 30(1): 65-69 (2003).

Zhao, Q., “Mechanical and transport properties of carbon nanotube systems”, Ph. D. Thesis, ***Graduate Faculty of North Carolina University***, Carolina, 38-43 (2003).

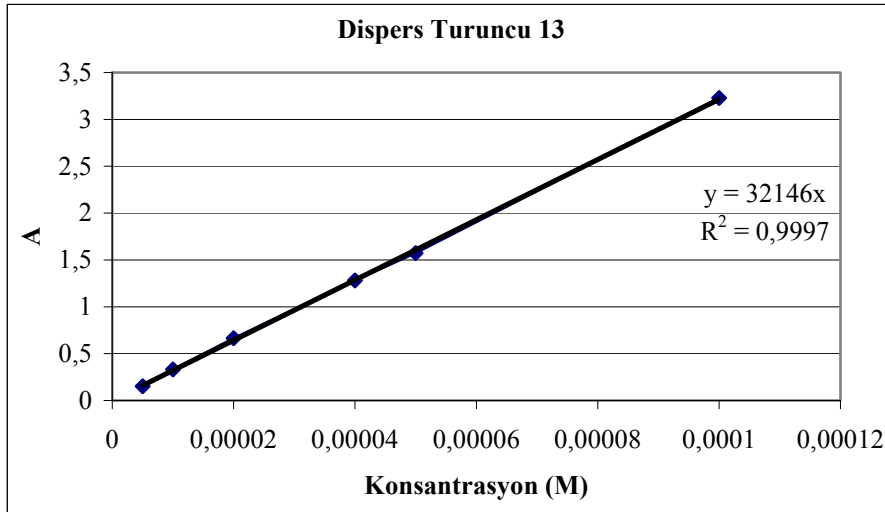
EKLER

EK-1 Boyarmaddelerin kalibrasyon grafikleri

BOYARMADDELERİN KALİBRASYON GRAFİKLERİ

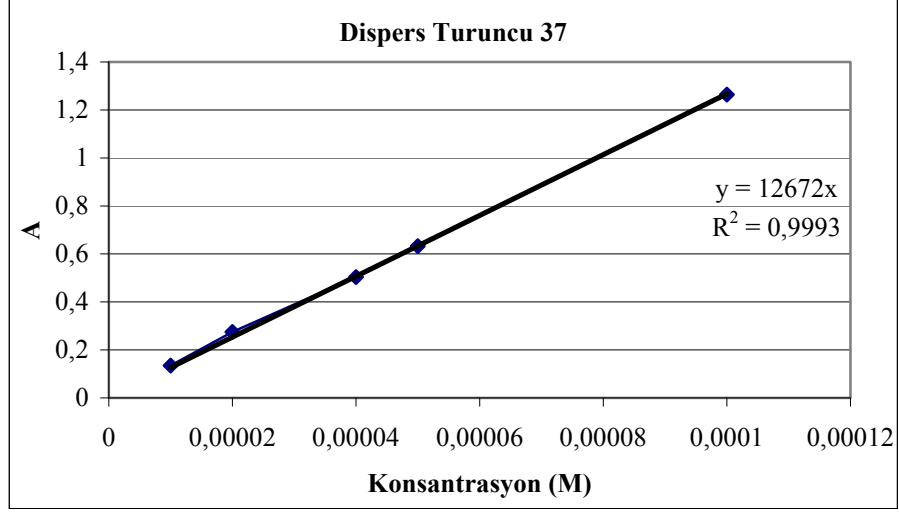


Şekil 1.1. Dispers Turuncu 11 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği



Şekil 1.2. Dispers Turuncu 13 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği

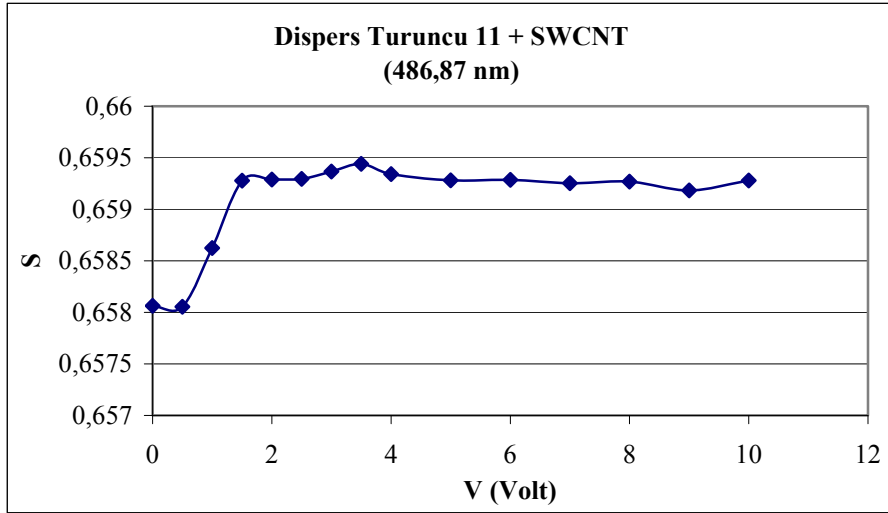
EK-1 (Devam) Boyarmaddelerin kalibrasyon grafikleri



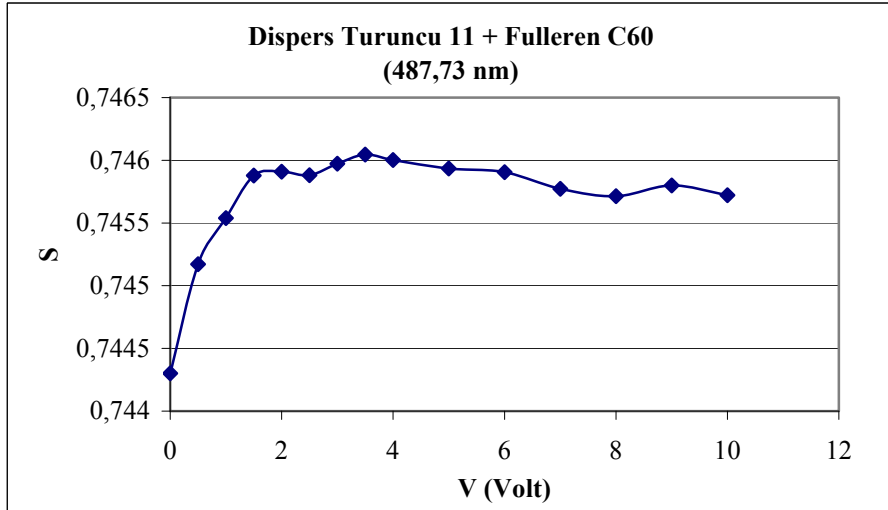
Şekil 1.3. Dispers Turuncu 37 boyarmaddesine ait kalibrasyon grafiği

EK-2 Boyarmadde ve karışımlarının düzen parametre değerlerinin voltaja bağlı değişim grafikleri

S-V GRAFİKLERİ

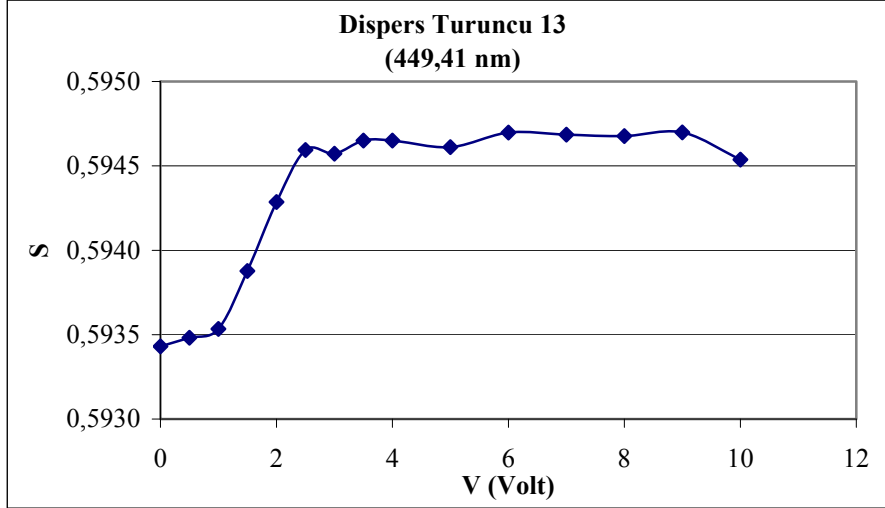


Şekil 2.1. Sıvı kristale Turuncu 11 boya ve SWCNT eklenmesi durumunda S parametresinin voltaj ile değişimi

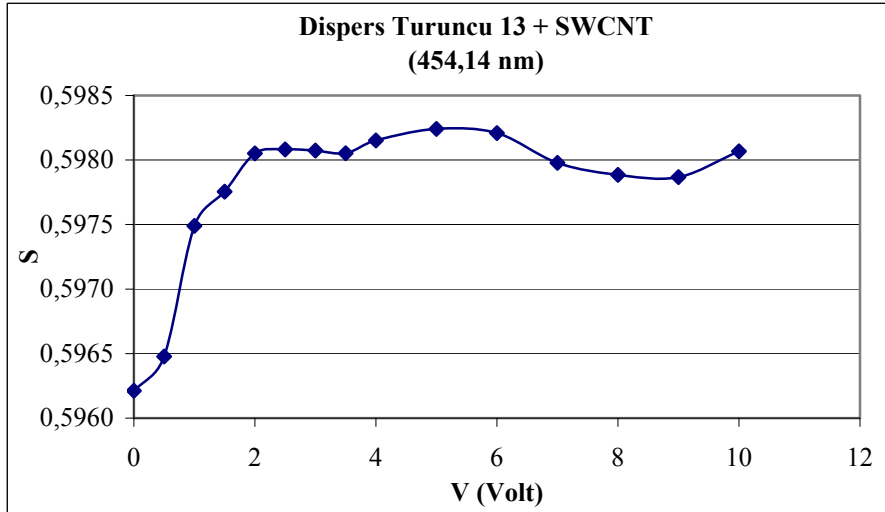


Şekil 2.2. Sıvı kristale Turuncu 11 boya ve fulleren C60 eklenmesi durumunda S parametresinin voltaj ile değişimi

EK-2 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarının düzen parametre değerlerinin voltaja bağlı değişimi

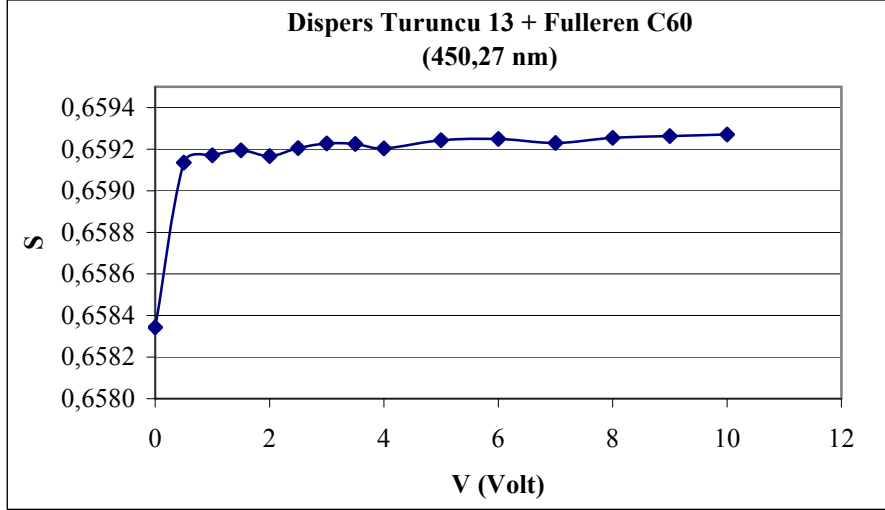


Şekil 2.3. Sıvı kristale Turuncu 13 boya eklenmesi durumunda S parametresinin voltaj ile değişimi

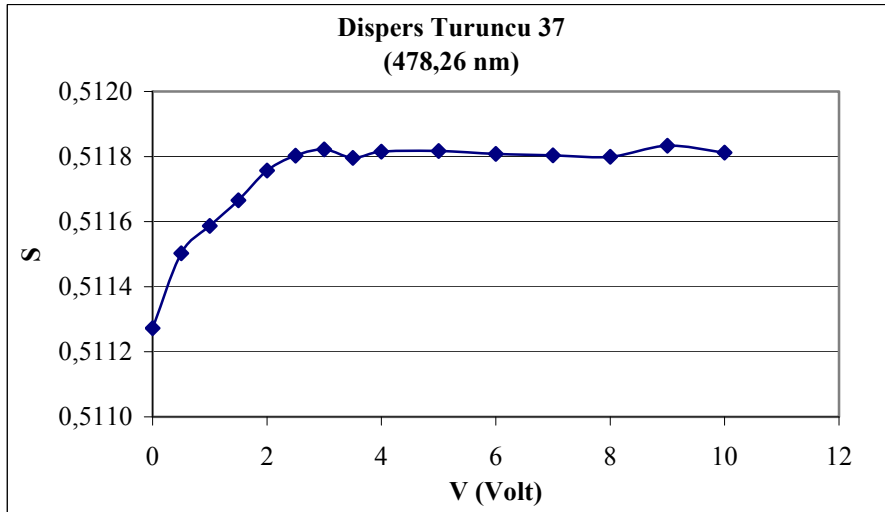


Şekil 2.4. Sıvı kristale Turuncu 13 boya ve SWCNT eklenmesi durumunda S parametresinin voltaj ile değişimi

EK-2 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarının düzen parametre değerlerinin voltaja bağlı değişimi

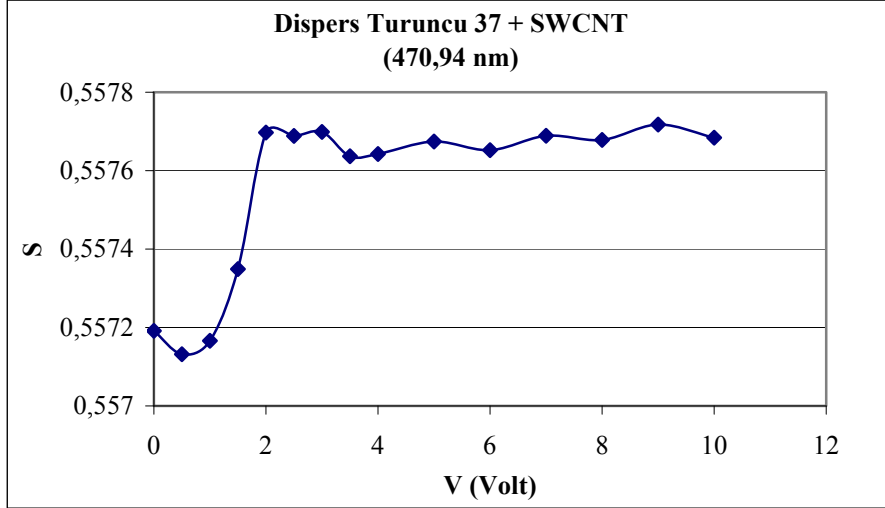


Şekil 2.5. Sıvı kristale Turuncu 13 boya ve fulleren C60 eklenmesi durumunda S parametresinin voltaj ile değişimi

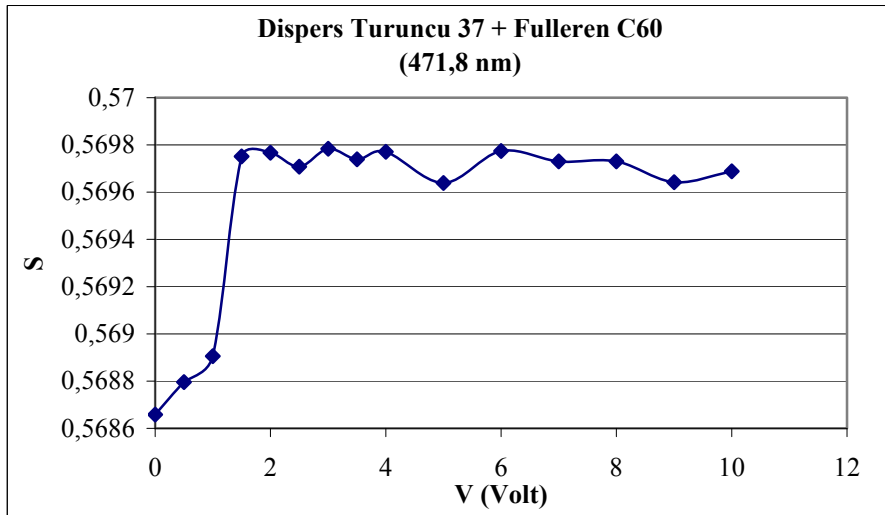


Şekil 2.6. Sıvı kristale Turuncu 37 boya eklenmesi durumunda S parametresinin voltaj ile değişimi

EK-2 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarının düzen parametre değerlerinin voltaja bağlı değişimi

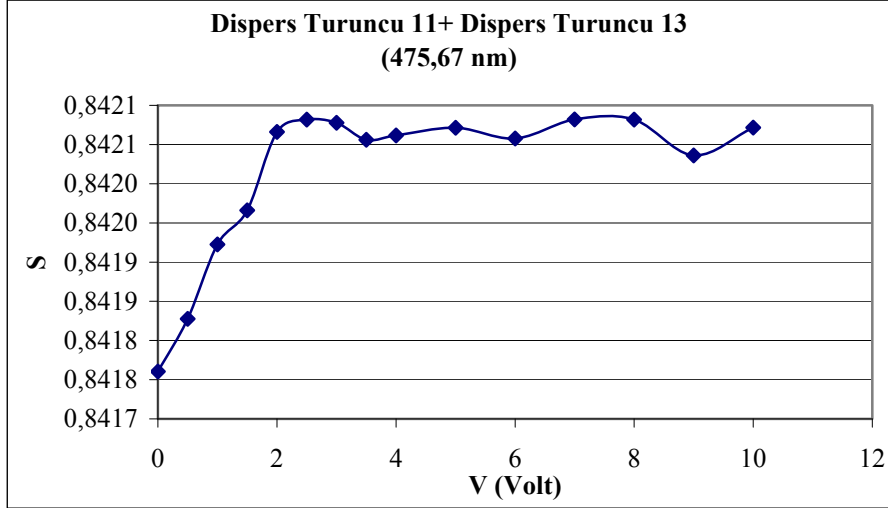


Şekil 2.7. Sıvı kristale Turuncu 37 boya ve SWCNT eklenmesi durumunda S parametresinin voltaj ile değişimi

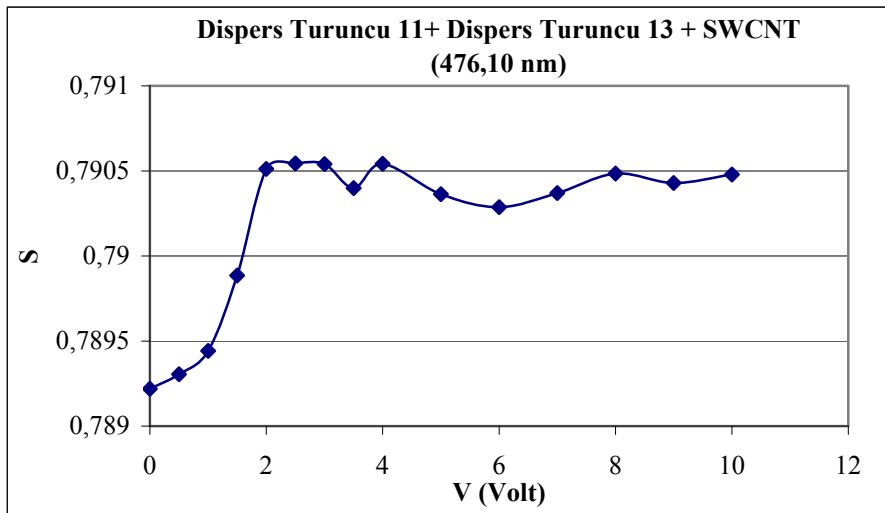


Şekil 2.8. Sıvı kristale Turuncu 37 boya ve fulleren C60 eklenmesi durumunda S parametresinin voltaj ile değişimi

EK-2 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarının düzen parametre değerlerinin voltaja bağlı değişimi

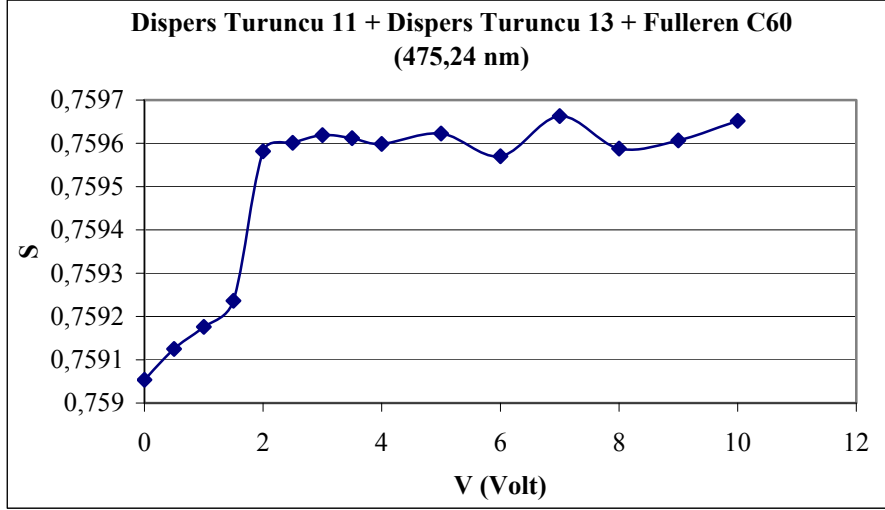


Şekil 2.9. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımına ait S parametresinin voltaj ile değişimi

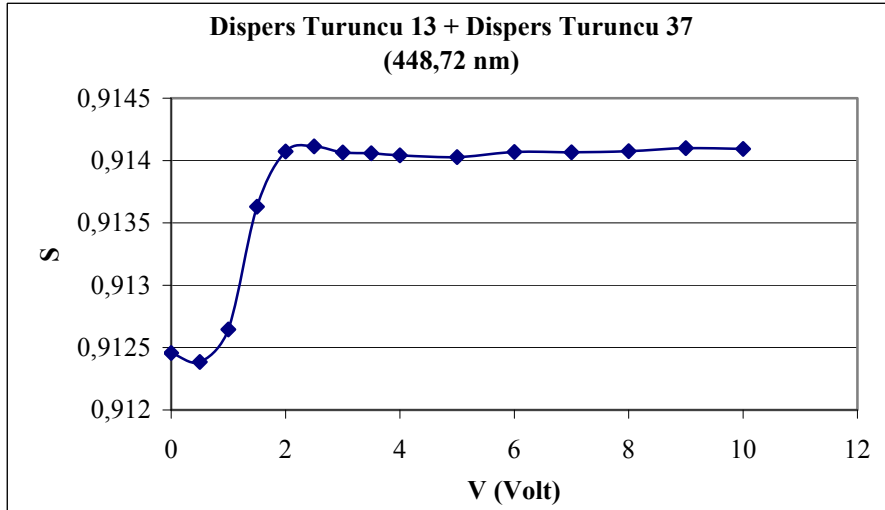


Şekil 2.10. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımına SWCNT ilave edildiği duruma ait S parametresinin voltaj ile değişimi

EK-2 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarının düzen parametre değerlerinin voltaja bağlı değişimi

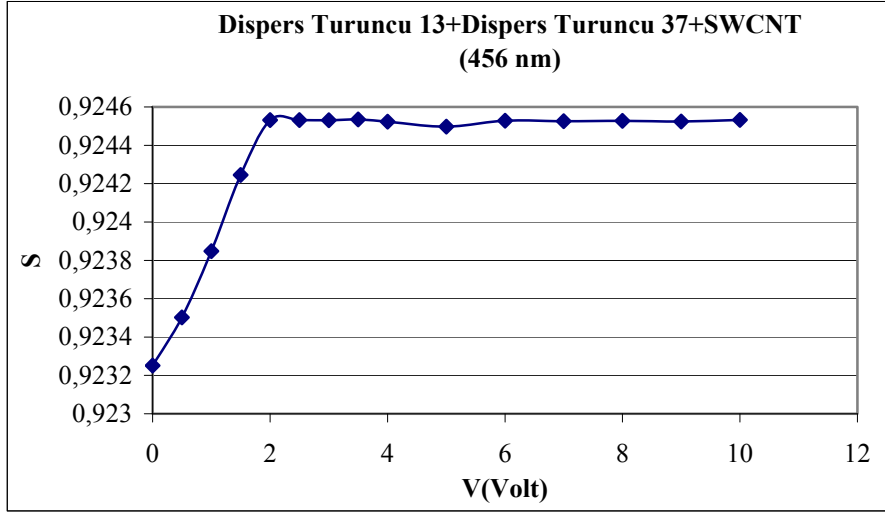


Şekil 2.11. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde karışımına fulleren C60 ilave edildiği duruma ait S parametresinin voltaj ile değişimi

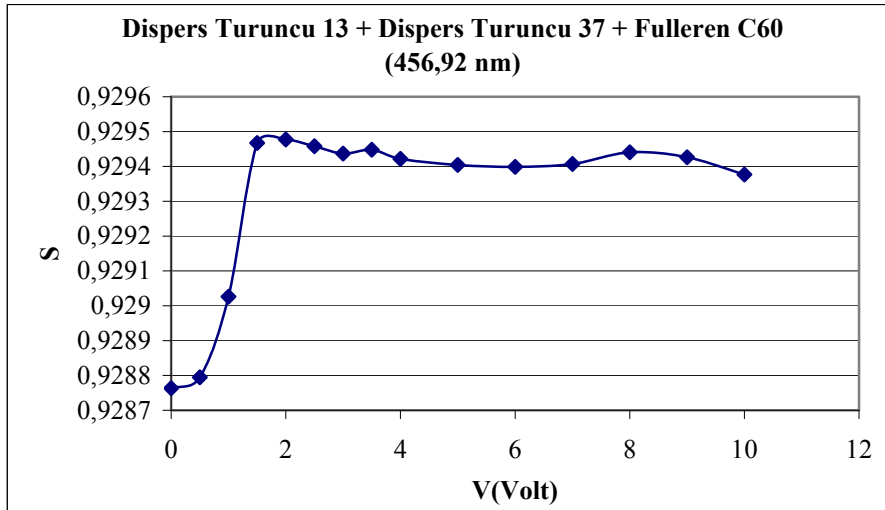


Şekil 2.12. Dispers Turuncu 13 ve 37 boyarmadde karışımına ait S parametresinin voltaj ile değişimi

EK-2 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarının düzen parametre değerlerinin voltaja bağlı değişimi



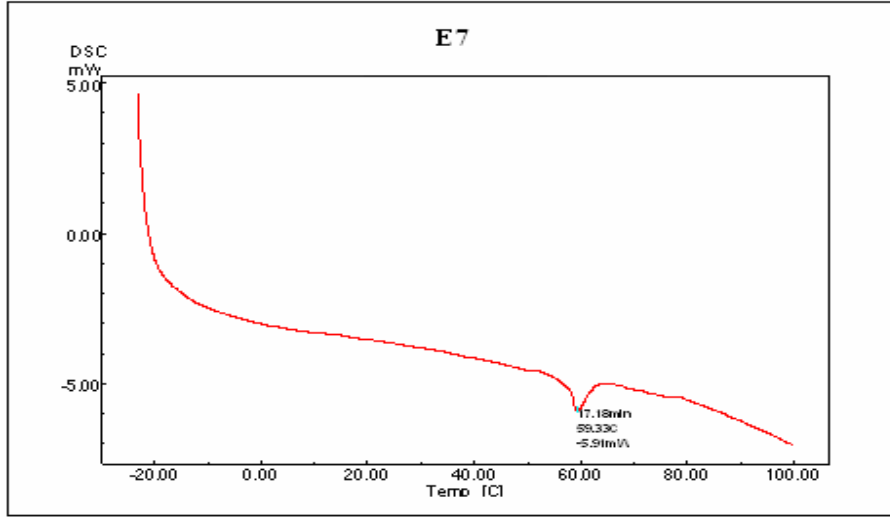
Şekil 2.13. Dispers Turuncu 13 ve 37 boyarmadde karışımına SWCNT ilave edildiği duruma ait S parametresinin voltaj ile değişimi



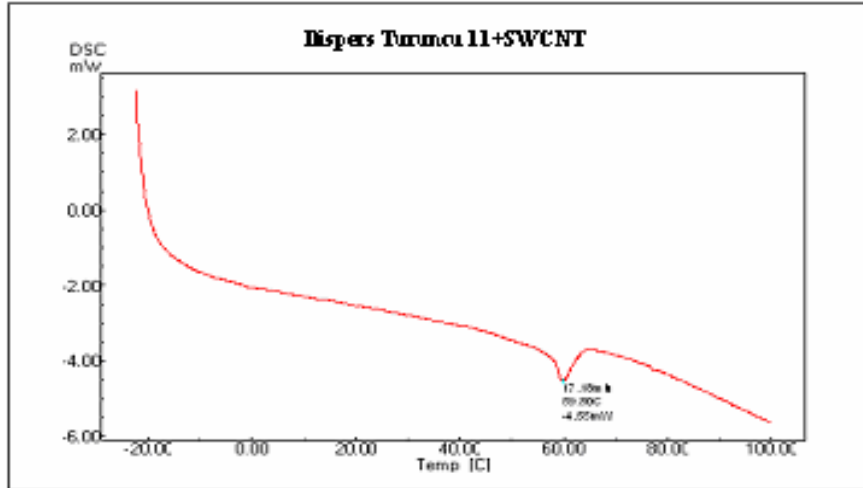
Şekil 2.14. Dispers Turuncu 13 ve 37 boyarmadde karışımına fulleren C60 ilave edildiği duruma ait S parametresinin voltaj ile değişimi

EK-3 Boyarmadde ve karışımlarına ait DSC termogramları

DSC TERMOGRAMLARI

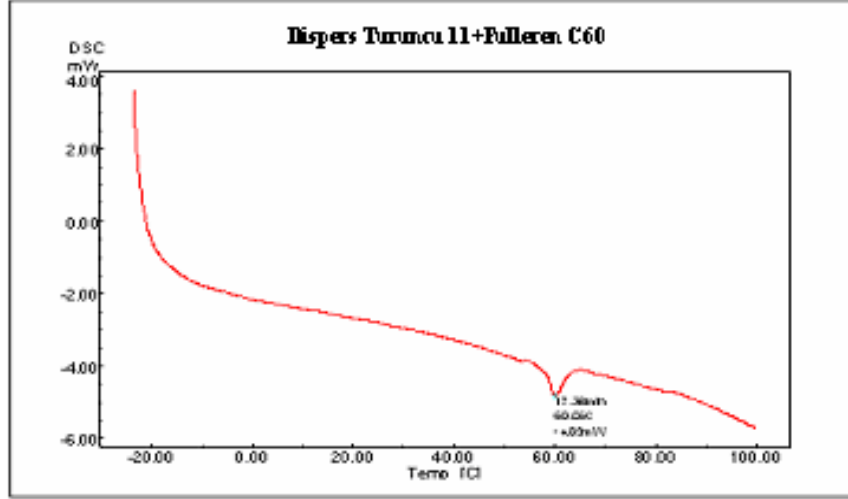


Şekil 3.1. E7'ye ait DSC termogramı

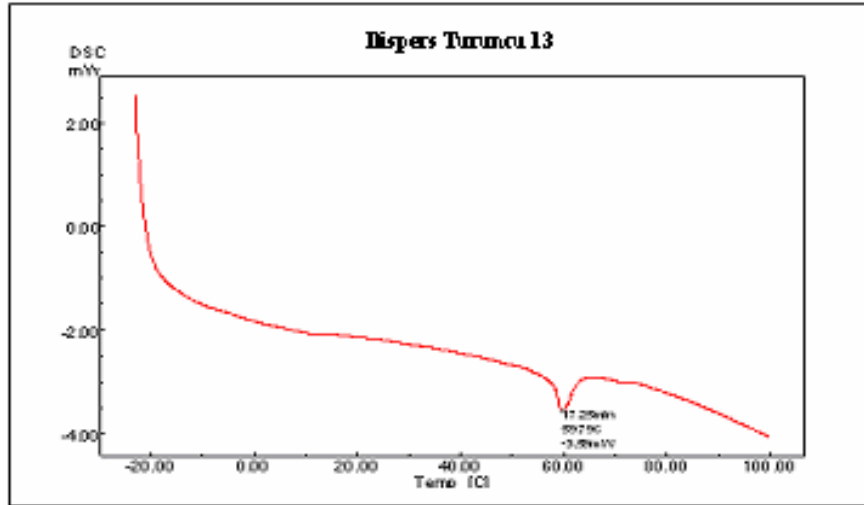


Şekil 3.2. Dispers Turuncu 11 ve SWCNT katkılı E7'ye ait DSC termogramı

EK-3 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarına ait DSC termogramları

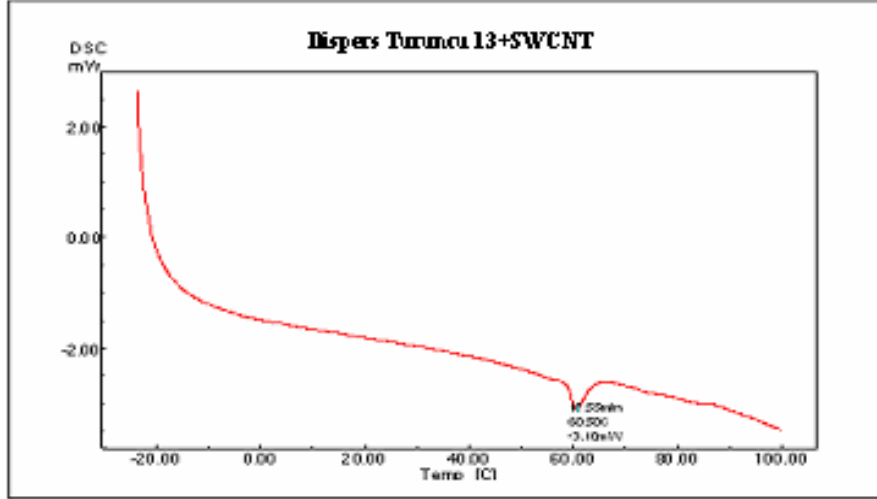


Şekil 3.4. Dispers Turuncu 11 ve Fulleren C60 katkılı E7'ye ait DSC termogramı

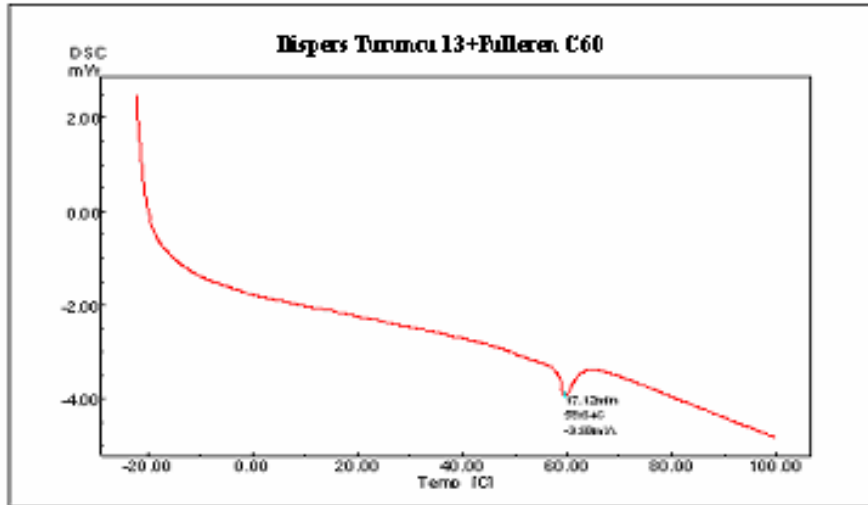


Şekil 3.5. Dispers Turuncu 13 katkılı E7'ye ait DSC termogramı

EK-3 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarına ait DSC termogramları

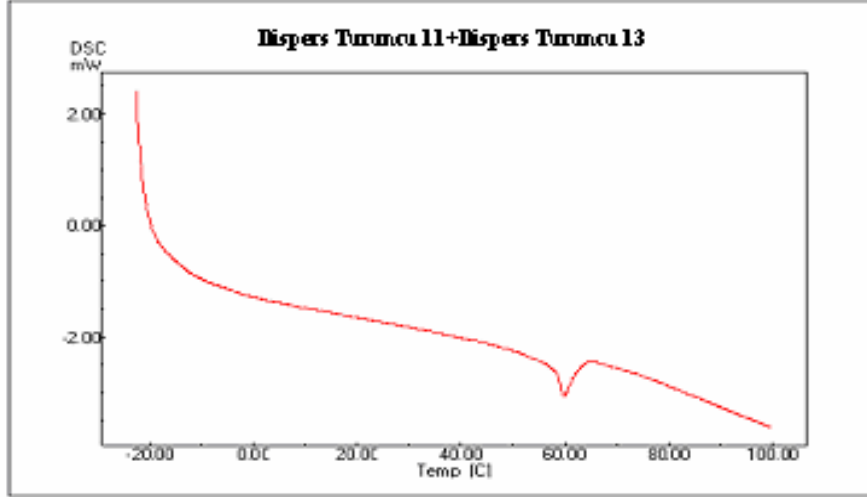


Şekil 3.6. Dispers Turuncu 13 ve SWCNT katkılı E7'ye ait DSC termogramı

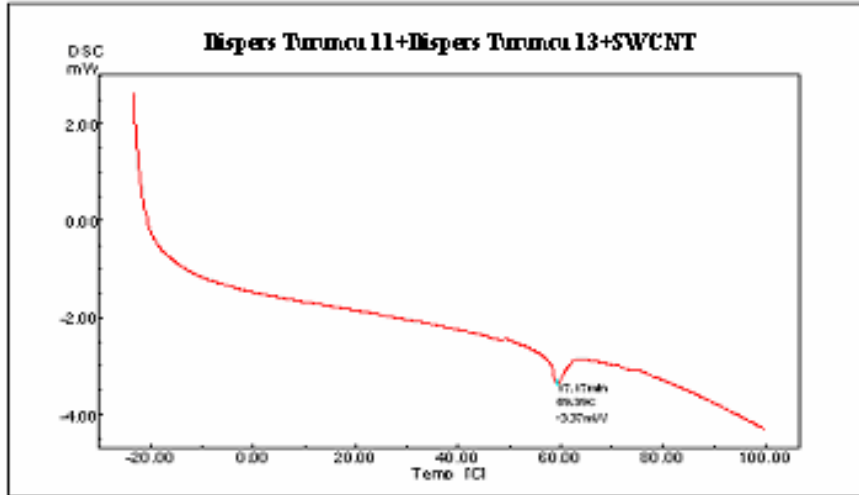


Şekil 3.7. Dispers Turuncu 13 ve Fulleren C60 katkılı E7'ye ait DSC termogramı

EK-3 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarına ait ısı özellikler

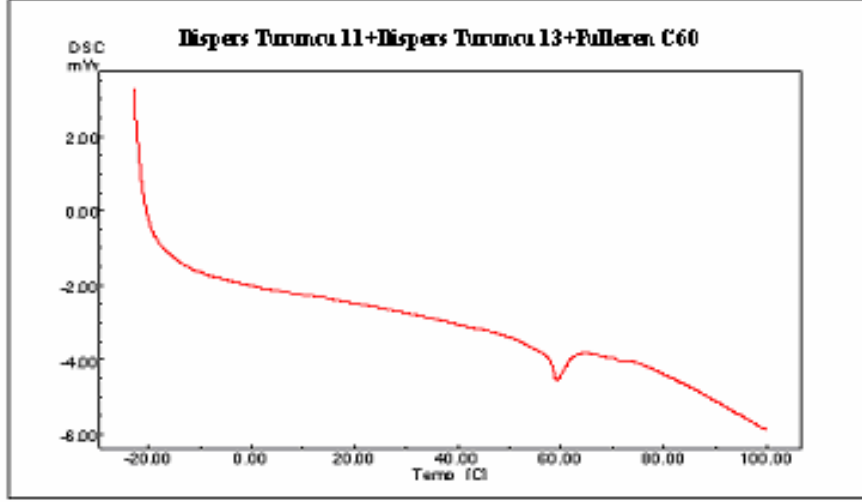


Şekil 3.8. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde katkılı E7'ye ait DSC termogramı



Şekil 3.9. Dispers Turuncu 11 ve Disperse Turuncu 13 boyarmadde ile SWCNT katkılı E7'ye ait DSC termogramı

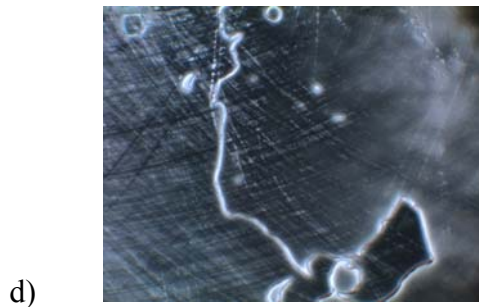
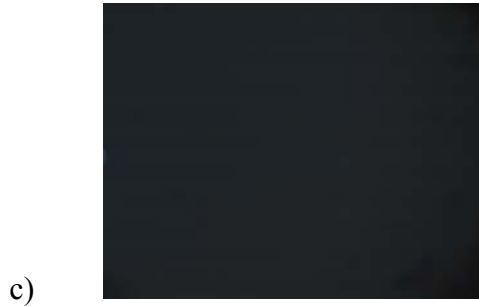
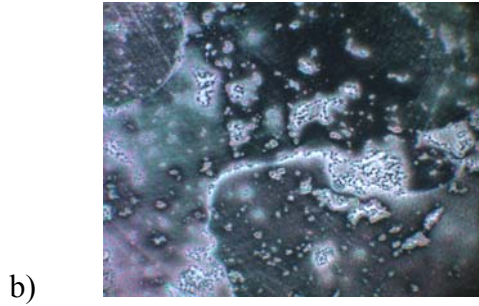
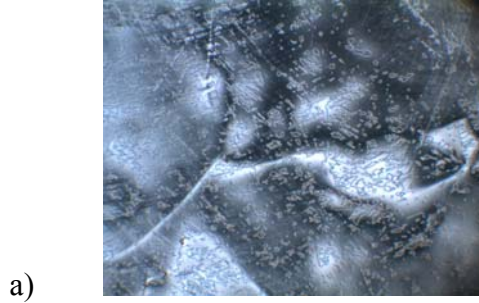
EK-3 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarına ait DSC termogramları



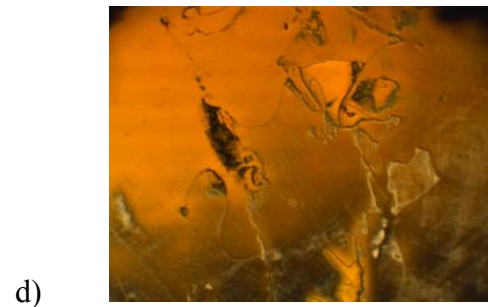
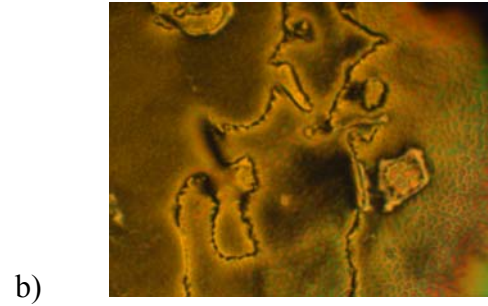
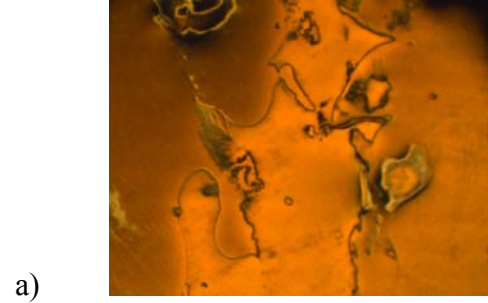
Şekil 3.10. Dispers Turuncu 11 ve Disperse Turuncu 13 boyarmadde ile fulleren C60 katkılı E7'ye ait DSC termogramı

EK-4 Boyarmadde ve karışımlarına ait tekstürler

TEKSTÜRLER

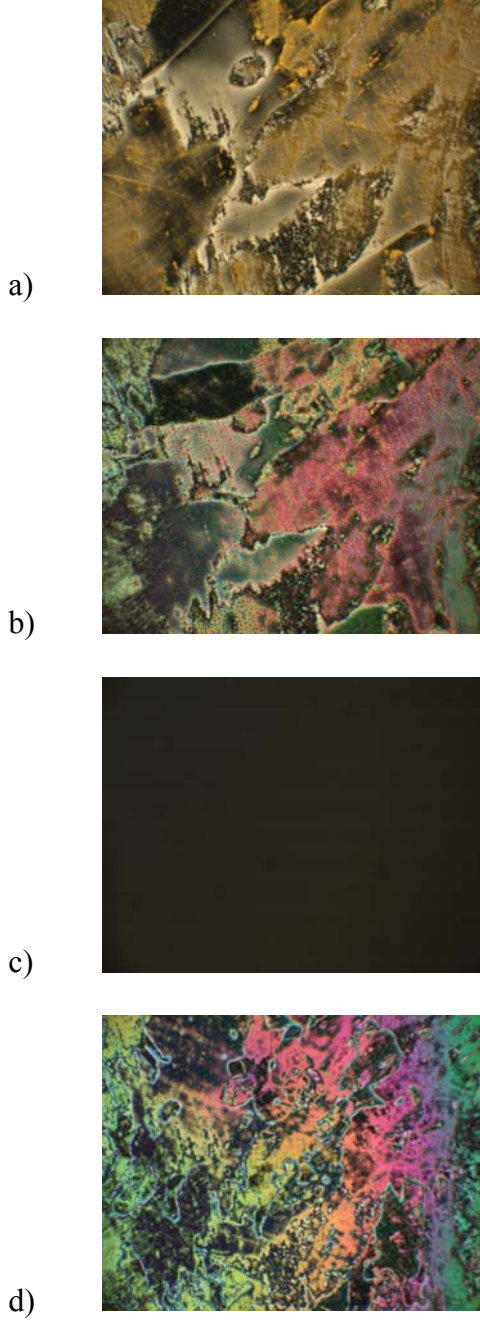


Resim 4.1. E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 58,7°C
c) 60,7°C d) 25°C

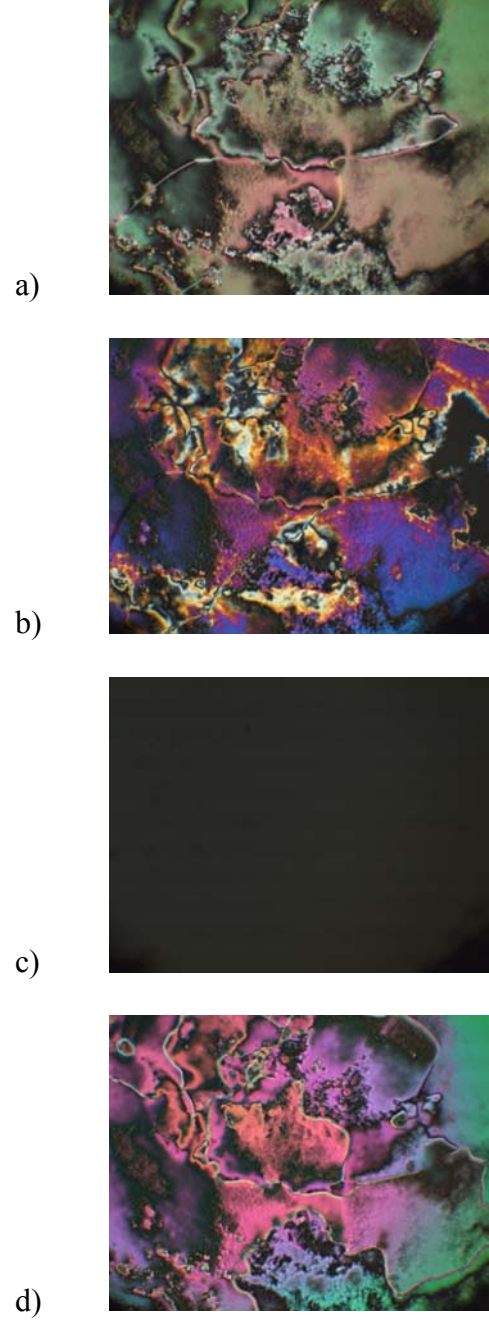


Resim 4.2. Dispers Turuncu 11 boyarmadde katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 59,2°C
c) 61,1°C d) 25°C

EK-4 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarına ait tekstürler

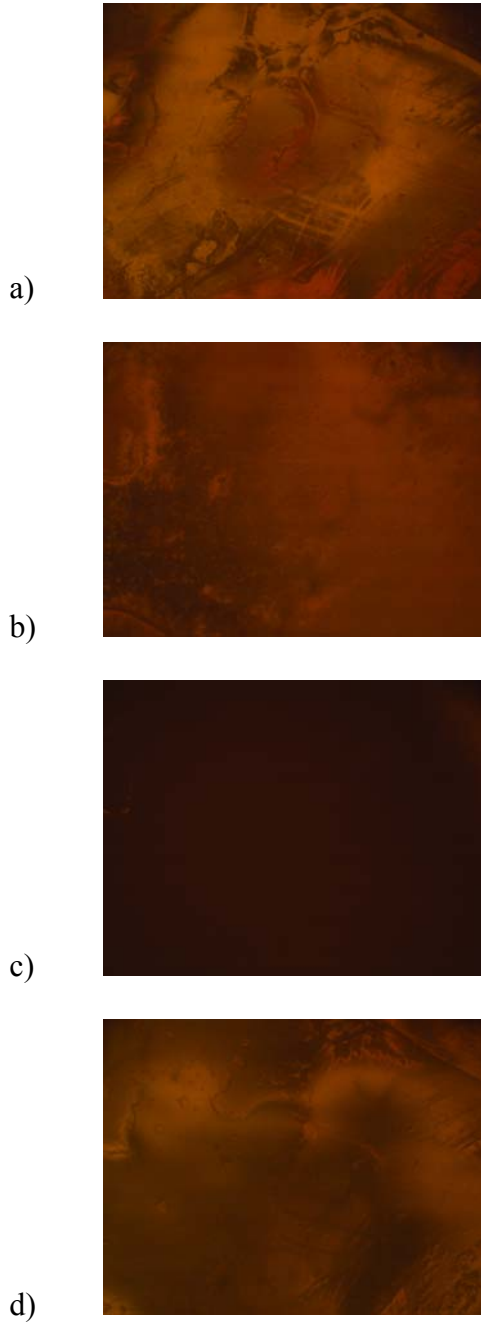


Resim 4.3. Dispers Turuncu 11 boyarmadde ve SWCNT katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 59,3°C
c) 61,2°C d) 25°C

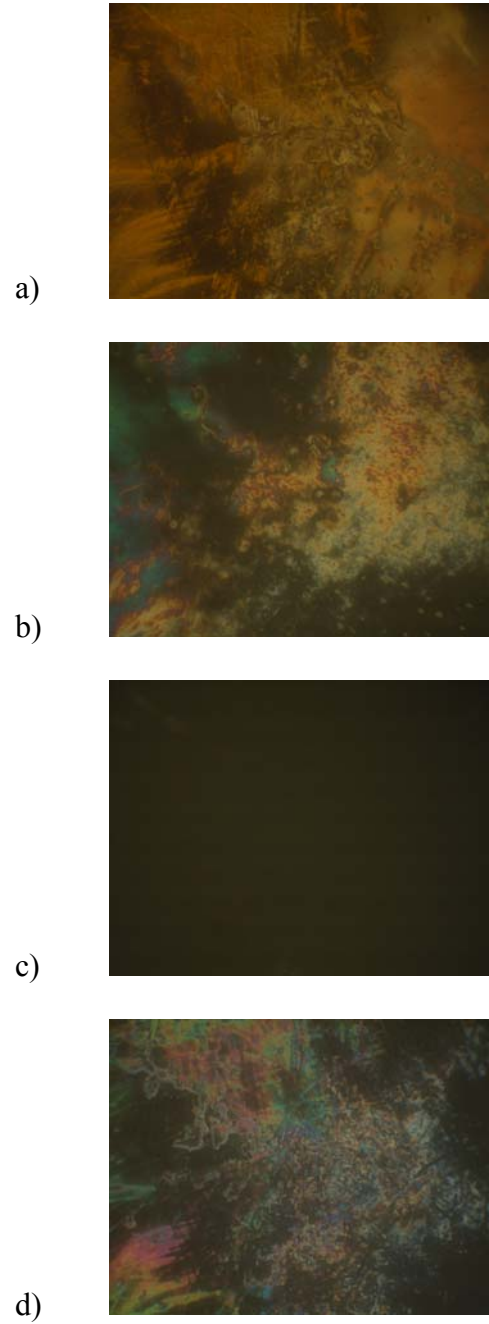


Resim 4.4. Dispers Turuncu 11 boyarmadde ve fulleren C60 katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 58,9°C
c) 60,4°C d) 25°C

EK-4 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarına ait tekstürler

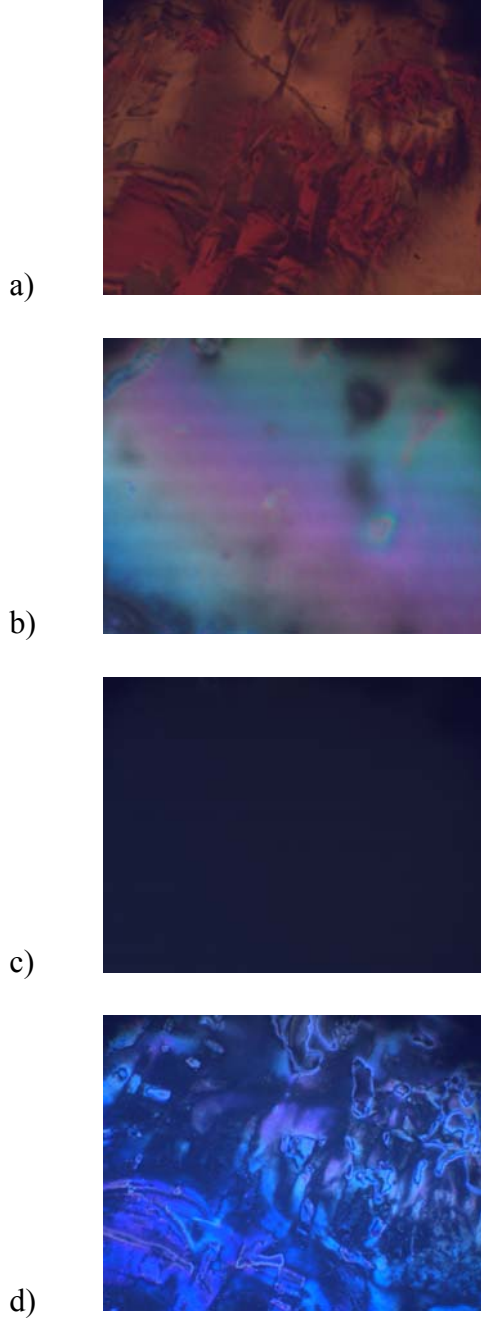


Resim 4.5. Dispers Turuncu 13 boyarmadde katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 59°C
c) 61,6°C d) 25°C

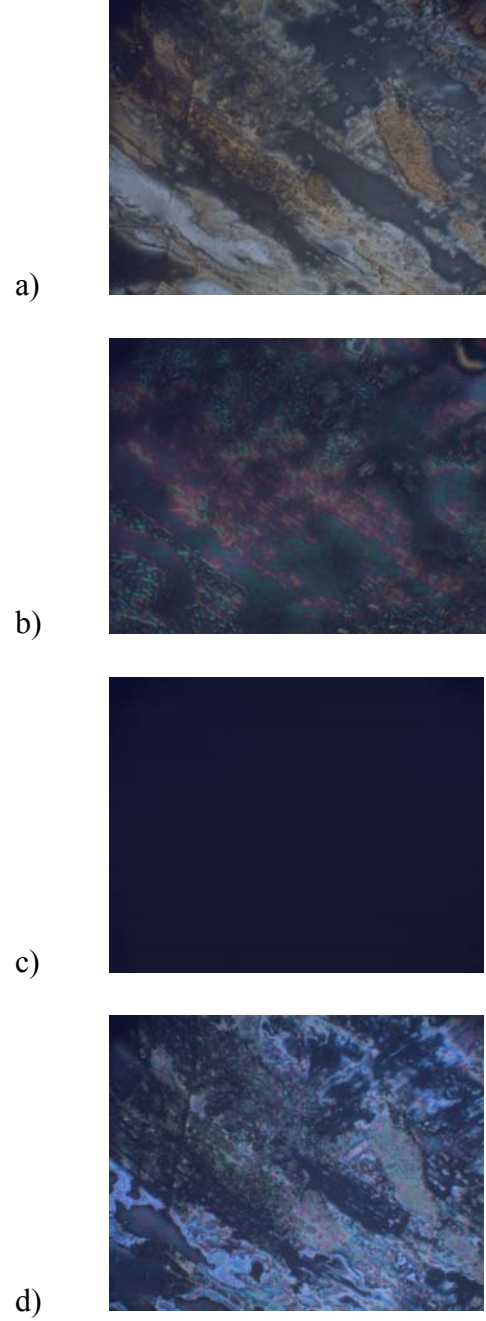


Resim 4.6. Dispers Turuncu 13 boyarmadde ve SWCNT katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 59,1°C
c) 60,8°C d) 25°C

EK-4 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarına ait tekstürler

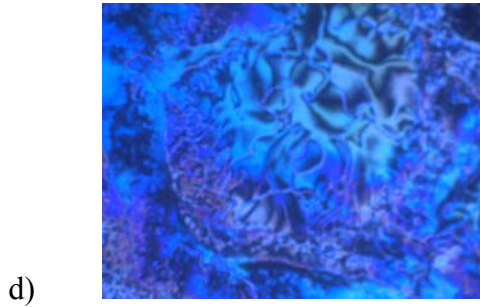
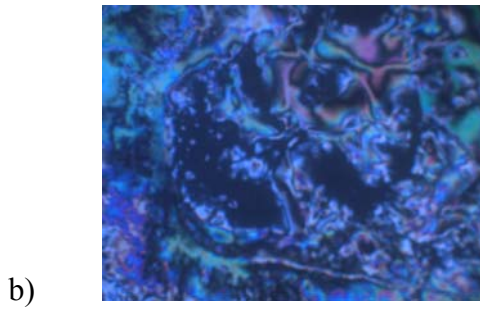


Resim 4.7. Dispers Turuncu 13 boyarmadde ve fulleren C60 katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 58,9°C
c) 60,6°C d) 25°C

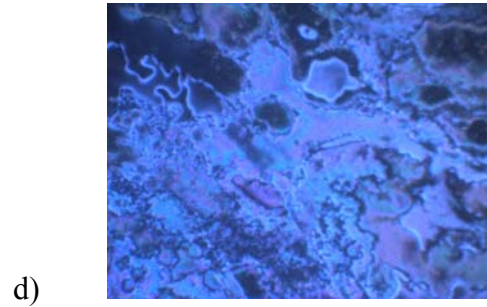
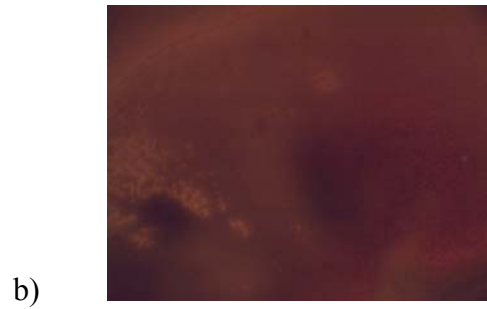


Resim 4.8. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 59,2°C
c) 60,9°C d) 25°C

EK-4 (Devam) Boyarmadde ve karışımlarına ait tekstürler



Resim 4.9. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde ile SWCNT katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 58,8°C
c) 60,9°C d) 25°C



Resim 4.10. Dispers Turuncu 11 ve 13 boyarmadde fulleren C60 katkılı E7 sıvı kristaline ait tekstür
a) 25°C b) 59,1°C
c) 61,3°C d) 25°C

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKKURT, Fatih
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.05.1978 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : (0312) 302 26 83
 Fax : (0312) 361 20 40
 e-mail : fakkurt@dmi.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	2009
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	2003
Lisans	Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü	2000
Lise	Ankara Cumhuriyet Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2001-2007	Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi
2007-Halen	Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Akkurt, F., Alıcılar, A. ve Şendil, O., “Sularda bulunan nitratin adsorpsiyon yoluyla uzaklaştırılması ”, *G.Ü.Müh.Mim. Fak.Dergisi*, 17(4):83-91 (2002).
2. Alıcılar, A., Gürü, M., Murathan, A. ve Akkurt, F., “Baca gazlarındaki azot oksitlerin bentonit üzerine adsorpsiyon yoluyla dolgulu kolonlarda giderilmesi ”, *G.Ü.Fen Bil.Ens.Dergisi*, 16(2):319-325 (2003).
3. Dişli, M., Akkurt, F. ve Alıcılar, A., “Şanlıurfa Balıklıgöl suyunun fiziksel parametreler yönüyle değerlendirilmesi ”, *G.Ü.Müh.Mim. Fak.Dergisi*, 18(4): 81-88 (2003).
4. Dişli, M., Akkurt, F. ve Alıcılar, A., “Şanlıurfa Balıklıgöl suyunun kimyasal parametreler yönüyle değerlendirilmesi ”, *G.Ü.Müh.Mim. Fak.Dergisi*, 19(3): 287-294 (2004).
5. Alıcılar, A., Akkurt, F. ve Benli, S., “Dispers mavi 79 ve dispers siyah tekstil boyalarının karakterizasyonu” , *6. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 7-10 Eylül (2004).
6. Murathan, A., Benli, S. ve Akkurt, F., “Sulardaki Cu^{2+} , Pb^{2+} ve Zn^{2+} iyonlarının dolgulu kolonda diatomit üzerine adsorpsiyonuna partikül boyutunun etkisi”, *6. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 7-10 Eylül (2004).
7. Akkurt, F., Benli, S. ve Alıcılar, A., “Dispers Kırmızı 1 boyasının karakterizasyonu ve uygulanabilirliğinin araştırılması”, *G.Ü.Müh.Mim. Fak.Dergisi*, 20(4):429-432 (2005).
8. Şahin, N. G., Akkurt, F. ve Alıcılar, A., “1,4-diamino antrakınon bileşiğinin sıvı kristal boyası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, *GAP V.Mühendislik Kongresi*, Şanlıurfa, 26-28 Nisan (2006).
9. Şahin, N. G., Akkurt, F. and Alıcılar, A., “The investigation of use of 1,4-disubstitue anthraquinone compounds as liquid crystal dye”, *17th International congress of Chemical and Process Engineering*, Prague, CZECH REPUBLIC, 27-31 August (2006),.

10. Murathan, A., Benli, S. and Akkurt, F., "Removal of heavy metal ions from aqueous solutions on pumice stone via adsorption in fixed bed", ***11th Asian Pasific Confederation of Chemical Engineering***, Kuala Lumpur, MALAYSIA, 27th – 30th August (2006).
11. Alıcılar, A., Dündar, H. O., Akkurt, F. and Tutak, M., "The use of biodegradable salts in dyeing of cotton fabrics with reactive dyes", ***Trends in Chemical Engineering***, 11: 67-71 (2008).
12. Akkurt, F., Benli, S., Balbaşı, M. and Alıcılar, A., "A study on disperse azo black dye and its characterization and interaction with polyester fabrics", ***Trends in Chemical Engineering***, 11:73-76 (2008).
13. Akkurt, F., Kaya, N. and Alıcılar, 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***, Baskıda.