



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**HİDROJEN BAĞLI 5BA/nCB (n=5-8) SIVI
KRİSTAL KARIŞIMLARIN MEZOJENİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Erhan BAYRAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Danışman
Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

AĞUSTOS-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Erhan BAYRAM tarafından hazırlanan ‘Hidrojen Bağlı 5BA/nCB (n=5-8) Sıvı Kristal Karışımların Mezojenik Özelliklerinin İncelenmesi’ adlı tez çalışması 24/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

.....

Üye

Doç. Dr. Hasan ESKALEN

.....

Üye

Doç. Dr. Cihat ÖZAYDIN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Erhan BAYRAM

Tarih: 24/ 08/ 2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANSTEZİ

HİDROJEN BAĞLI 5BA/nCB (n=5-8) SIVI KRİSTAL KARIŞIMLARIN MEZOJENİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Erhan BAYRAM

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**Danışman: Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ
2023, 70 Sayfa**

Jüri

**Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ
Doç. Dr. Hasan ESKALEN
Doç. Dr. Cihat ÖZAYDIN**

Bu tez çalışmasında, 4-pentilbenzoik asit (5BA), 4-pentil-4'-siyanobifenil (5CB), 4-hekzil-4'-siyanobifenil (6CB), 4-heptil-4'-siyanobifenil (7CB) ve 4-oktil-4'-siyanobifenil (8CB) mezojenik kimyasallarından 5BA/5CB, 5BA/6CB, 5BA/7CB ve 5BA/8CB homojen sıvı kristal karışımları üretilmiştir. Üretilen karışımların termal analizleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. DSC verileri kullanılarak sıvı kristal mezojenik fazların faz geçiş sıcaklığı, entalpi, entropi ve faz geçiş düzeni gibi sıvı kristal özellikleri araştırılmıştır. DSC sonuçları devamlı ısıtma ve soğutma esnasında kristal-smektik, smektik-nematik ve nematik-izotropik faz dönüşümlerini işaret eden piklerin oluştuğunu göstermiştir. Mezojenik faz dönüşümlerin genellikle 1. düzende gerçekleştiği ve soğutma sırasında gerçekleşen dönüşümlerin daha düzenli olduğu görülmüştür. Soğutma sırasında gözlenen mezofaz alanının ısıtma sırasında gözlenen mezofaz alanından daha geniş olduğu ve 5CB/8CB sıvı kristal karışımının mezofaz alanının yaklaşık 102 °C ile diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Üretilen karışımların morfolojik faz yapıları Polarize Optik Mikroskop (POM) ile araştırılmıştır ve faz geçiş sıcaklık değerlerinin DSC ile elde edilen faz geçiş sıcaklık değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Eşit kütle oranında üretilen 5BA/5CB, 5BA/6CB, 5BA/7CB, 5BA/8CB ikili karışımların Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektroskopisi (FTIR) analiz sonuçları molekül içi bağlarının korunduğu ve karışımı oluşturan bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluştuğu gözlenmiştir. Sentezlenen sıvı kristal karışımların kristal durumundaki mikroyapı özellikleri X-ışını difraksiyonu (XRD) ile araştırılmıştır. XRD sonuçları kullanılarak moleküller arası bazal mesafe değerleri hesaplanmıştır. Üretilen sıvı kristal karışımların kristal yapılarında moleküler dizilimin monoklinik yapıda olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: DSC, Faz Geçişleri, FTIR, Sıvı Kristal Karışımlar, XRD

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF MESOGENIC PROPERTIES OF HYDROGEN BONDED 5BA/nCB (n=5-8) LIQUID CRYSTAL MIXTURES

Erhan BAYRAM

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY**

DEPARTMENT OF PHYSICS

**Advisor: Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ
2023, 70 Pages**

Jury

Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Doç. Dr. Hasan ESKALEN

Doç. Dr. Cihat ÖZAYDIN

In this thesis, homogeneous liquid crystal mixtures of equal mass 5BA/5CB, 5BA/6CB, 5BA/7CB and 5BA/8CB were produced from 4-pentylbenzoic acid (5BA), 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB), 4-hexyl-4'-cyanobiphenyl (6CB), 4-heptyl-4'-cyanobiphenyl (7CB) and 4-octyl-4'-cyanobiphenyl (8CB) mesogenic chemicals. Thermal analyzes of the produced mixtures were performed with a Differential Scanning Calorimetry (DSC) device. Liquid crystalline properties such as phase transition temperature, enthalpy, entropy and phase transition order of liquid crystal mesogenic phases were investigated using DSC data. DSC results showed that phase transition peaks indicating crystal-smectic, smectic-nematic and nematic-isotropic phase transformations were formed during continuous heating and cooling cycle. It has been observed that mesogenic phase transformations generally occur in the 1st order and the transformations that occur during cooling are more regular. It was found that the mesophase range observed during cooling was wider than the mesophase range observed during heating, and the mesophase area of the 5CB/8CB liquid crystal mixture was higher at approximately 102 °C compared to the other mixtures. The morphological phase structures of the produced mixtures were investigated with Polarized Optical Microscope (POM) and it was seen that the phase transition temperature values were compatible with the phase transition temperature values obtained with DSC. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis results of binary mixtures of 5BA/5CB, 5BA/6CB, 5BA/7CB, 5BA/8CB taken in equal mass showed that intramolecular bonds were preserved and hydrogen bonds were formed between the molecules of the components forming the mixture. The crystalline microstructure properties of the synthesized liquid crystal mixtures were investigated by X-ray diffraction (XRD). Basal intermolecular distance values were calculated using XRD results. It was found that the molecular arrangement in the crystalline structures of the liquid crystalline mixtures produced was monoclinic structure.

Keywords: DSC, PhaseTransitions, FTIR, Liquid Crystal Mixtures, XRD

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşp ilgi ve alakasını sürekli hissettiren değerli hocam Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ'a en içten dileklerimle gönülden teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince benden manevi desteğini esirgemeyen kuzenim Bilal BAYRAM'a, arkadaşlarım Taha GÜMÜŞ ve Erol ÇELİK'e ve beni bu günlere getiren aileme gönülden teşekkür ederim.

Erhan BAYRAM
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Sıvı Kristallerin Tarihçesi	2
1.2. Sıvı Kristal Nedir?	4
1.3. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması	6
1.3.1. Termotropik Sıvı Kristaller	7
1.3.1.1. Nematik Sıvı Kristal.....	8
1.3.1.2. Smektik Sıvı Kristaller	9
1.3.1.3. Kolesterolik Sıvı Kristal.....	11
1.3.1.4. Disk Şeklinde (Diskotik) Sıvı Kristaller	12
1.3.2. Lyotropik sıvı kristaller	13
1.4. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları	14
1.5. Sıvı Kristal Karışımlar	15
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	18
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Malzemeler.....	24
3.2. Karışımların Hazırlanması	25
3.3. Deneyde Kullanılan Cihazlar	26
3.3.1. Polarize Optik Mikroskobu (POM)	26
3.3.2. X-Işını Difraktometresi (Kırınımı) (XRD)	27
3.3.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC).....	29
3.3.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi (FTIR).....	30
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. 5BA/5CB Sıvı Kristal Karışımının Termal ve Optiksel Analizleri	32
4.2. 5BA/6CB Sıvı Kristal Karışımının Termal ve Optiksel Analizleri	40

4.3. 5BA/7CB Sıvı Kristal Karışımının Termal ve Optiksel Analizleri	46
4.4. 5BA/8CB Sıvı Kristal Karışımının Termal ve Optiksel Analizleri	53
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	70



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Otto Lehmann'ın kendi icadı olan polarizasyon mikroskobu (*url)	3
Şekil 1.2. Katı, sıvı kristal ve sıvı yapıların gösterimi.....	4
Şekil 1.3. Sıvı kristallerin sınıflandırılması	6
Şekil 1.4. Çeşitli Fazlarda Sıvı Kristal Moleküller	7
Şekil 1.5. Nematik fazda a) Şematik görüntü, b) POM görüntüsü (Dierking, 2003)	8
Şekil 1.6. Smektik sıvı kristal gösterimi	9
Şekil 1.7. Smektik-A fazının; a) molekül gösterimi, b) POM görüntüsü	10
Şekil 1.8. Smektik-C fazının; a) molekül gösterimi, b) POM görüntüsü (Dierking, 2003)	11
Şekil 1.9. Kolesterik sıvı kristalin a) yönelimi b) POM görüntüsü (Okumuş, 2012)	12
Şekil 1.10. Disk şeklinde sıvı kristal	13
Şekil 1.11. a) Sabunların heksagonal veya orta fazı.....	13
Şekil 3.1. Karışımların hazırlanması.....	25
Şekil 3.2. Leica marka polarize optik mikroskobu (POM).....	27
Şekil 3.3. X-Işını Difraktometresi (Kırınımı) (XRD) cihazı	28
Şekil 3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı (url**)	29
Şekil 3.5. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi (FTIR) cihazı.....	30
Şekil 4.1. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının ısıtma ve soğutma ile elde edilen DSC grafiği.....	32
Şekil 4.2. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının devamlı ısıtma sırasında gözlenen POM görüntüleri; a) Kristal, b) Smektik A, c) Nematik, d) Nematik-İzotropik	35
Şekil 4.3. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının devamlı soğutma sırasında gözlenen POM görüntüleri; a) İzotropik-Nematik, b) Nematik, c) Smektik A, d) Kristal	36
Şekil 4.4. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının XRD analiz sonuçları	37
Şekil 4.5. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının FTIR analiz sonuçları	39
Şekil 4.6. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının ve bileşenlerinin FTIR analiz sonuçları.....	39
Şekil 4.7. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının ısıtma ve soğutma ile elde edilen DSC grafiği.....	40
Şekil 4.8. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının devamlı ısıtma sırasında görülen POM görüntüleri; a) Kristal, b) Smektik A, c) Nematik, d) Nematik-İzotropik	43
Şekil 4.9. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının devamlı soğutma sırasında görülen POM görüntüleri; a) İzotropik-Nematik, b) Nematik, c) Smektik A, d) Kristal	44
Şekil 4.10. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının XRD analiz sonuçları	45
Şekil 4.11. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının FTIR analiz sonuçları	46
Şekil 4.12. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının ısıtma ve soğutma ile elde edilen DSC grafiği.....	47
Şekil 4.13. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının devamlı ısıtma sırasında gözlenen POM görüntüleri; a) Kristal, b) Smektik A, c) Smektik C, d) Nematik, e) Nematik-İzotropik	49
Şekil 4.14. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının devamlı soğutma sırasında görülen POM görüntüleri; a) İzotropik-Nematik, b) Nematik, c) Smektik A, d) Kristal	50
Şekil 4.15. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının XRD analiz sonuçları	51
Şekil 4.16. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının FTIR analiz sonuçları	52
Şekil 4.17. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının ısıtma ve soğutma ile elde edilen DSC grafiği.....	53
Şekil 4.18. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının devamlı ısıtma sırasında gözlenen POM görüntüleri; a) Kristal, b) Smektik A, c) Smektik C, d) Nematik, e) Nematik-İzotropik	56
Şekil 4.19. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının devamlı soğutma sırasında gözlenen POM görüntüleri; a) İzotropik-Nematik, b) Nematik, c) Smektik A, d) Kristal	57

Şekil 4.20. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının XRD analiz sonuçları	58
Şekil 4.21. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının FTIR analiz sonuçları	59



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Sıvı kristallerin kimyasal yapıları ve formülleri.....	24
Çizelge 3.2. Deneyde kullanılan materyaller ve sentezlenen karışımlar	25
Çizelge 4.1. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının faz geçiş sıcaklık (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri.....	33
Çizelge 4.2. 5BA/5CB sıvı kristal karışımı için termal stabilite faktörü (TSF_X) ve faz geçiş entropi değişim (ΔS) değerleri.....	34
Çizelge 4.3. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının faz geçiş sıcaklık (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri.....	41
Çizelge 4.4. 5BA/6CB sıvı kristal karışımı için termal stabilite faktörü (TSF_X) ve faz geçiş entropi değişim (ΔS) değerleri.....	42
Çizelge 4.5. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının faz geçiş sıcaklık (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri.....	47
Çizelge 4.6. 5BA/7CB sıvı kristal karışımı için termal stabilite faktörü (TSF_X) ve faz geçiş entropi değişim (ΔS) değerleri.....	48
Çizelge 4.7. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının faz geçiş sıcaklık (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri.....	54
Çizelge 4.8. 5BA/8CB sıvı kristal karışımı için termal stabilite faktörü (TSF_X) ve faz geçiş entropi değişim	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

K	Kristal Faz
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi
I	İzotropik Faz
LCD	Sıvı Kristalik Ekran
N	Nematik Faz
POM	Polarize Optik Mikroskop
SmA	Smektik A Fazı
SmC	Smektik C Fazı
TLC	Termotropik Sıvı Kristaller
XRD	X-Işını Difraktometresi
5BA	Pentyl-benzoik asit
6BA	Heksil-benzoik asit
5CB	Pentyl-siyanobifenil
6CB	Hekzil-siyanobifenil
7CB	Heptil-siyanobifenil
8CB	Octyl-siyanobifenil
10CB	Desil-siyanobifenil
ΔH	Entalpi değişimi
ΔH_{AN}	SmektikA - Nematik faz geçişinin entalpi değişimi
ΔH_{NI}	Nematik-izotropik sıvı faz geçişteki entalpi değişimi
T	Maddenin transmittansı (geçirgenlik) veya sıcaklık (Kelvin)
T_{AN}	Smektik A - Nematik faz geçiş sıcaklığı
T_C	Aydınlanma noktası
T_{NI}	Nematik - izotropik sıvı faz geçiş sıcaklığı
T_{mid}	İlgili fazın sıcaklık alanının orta sıcaklık derecesi
ΔT_x	İlgili fazın sıcaklık alanı
TSF_x	Mezofazların termal stabilite faktörü
ΔS	Faz geçiş entropi
MD	Moleküler dinamik
PDLC	Polimer dağılmış sıvı kristal
LC	Sıvı kristal
UV	Ultraviyole
PIPS	Polimerizasyon uyarımlı faz ayrımı
HEMA	Hidroksietil metakrilat
PLA	Polilaktik asit
TPP	Trifenil fosfit
PA	Polarize absorpsiyon
LB	Langmuir-Blodgett
SHG	İkinci harmonik nesil
DFT	Yoğunluk fonksiyonel teorisi
X_n	Ksantin
PBS	Fosfat tampon çözeltisi
PBA	Pentil-bifenil-karboksilik asit
XO	Ksantin oksidaz

1. GİRİŞ

Teknoloji, tarihin en hızlı ilerleyen dönemlerinden birini yaşıyor. Teknolojinin bu hızlı ilerlemesiyle birlikte, hayatımızın hemen hemen her alanında etkileyici yeniliklerle karşılaşyoruz. Bu yeniliklerden biri olan sıvı kristaller, her gün elimizin altında yatan akıllı telefonlarımızdan, gözlerimizi ekrana dikip izlediğimiz televizyonlara kadar bir dizi cihazın işleyişini mümkün kılan temel bir malzemedir.

Sıvı kristaller, adından da anlaşılacağı gibi, bir sıvının özelliklerini taşıyan ancak moleküler düzeyde düzenli bir yapıya sahip olan malzemelerdir. Bu "sıvı" tanımı, moleküllerin belirli bir düzende sıralanmış olduğunu, ancak serbestçe hareket edebildiğini ifade eder. Öte yandan, "kristal" kelimesi, düzeninin katılamına benzediğini işaret eder. Yani sıvı kristaller, bir çeliğin sertliğini veya bir elmasın parlaklığını taşımasa da, moleküllerin belirli bir düzende olduğu, ancak sıvıların akışkanlığını koruduğu malzemelerdir. Bu özelliği nedeniyle sıvı kristaller, özellikle ekran teknolojileri için vazgeçilmez bir bileşen haline gelmiştir. LCD (Liquid Crystal Display) ekranlar, bugünün en popüler ekran türlerinden birini temsil eder. Sıvı kristallerin optik ve elektriksel özelliklerinden faydalanarak çalışan bu ekranlar, ince ve hafif yapılarıyla bilgisayar monitörlerinden televizyonlara, akıllı telefonlardan dijital kameralara kadar geniş bir yelpazede kullanılır. Sıvı kristaller, özellikle ışık ve elektrik alanların etkisi altında ilginç değişikliklere uğrarlar. Elektrik alanın etkisiyle sıvı kristallerin moleküler düzenleri değişebilir. Bu, ışığın geçişini etkileyerek ekran piksellerinin renk ve parlaklığının kontrol edilmesini sağlar. Böylece, her piksel ayrı ayrı aydınlatılır ve renkli görüntüler elde edilir. Bu prensip, sıvı kristal ekranların nasıl çalıştığını anlamamıza yardımcı olur. Sıvı kristallerin bu özelliği, onları ekran teknolojileri dışında da birçok alanda kullanıma uygun hale getirir. Tıbbi görüntüleme cihazları, endüstriyel kontrol panelleri, otomobil iç tasarımı ve daha birçok alanda sıvı kristallerin benzersiz özellikleri değerlendirilir. Örneğin, tıbbi görüntüleme cihazlarında yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için sıvı kristal teknolojisi kullanılırken, endüstriyel kontrol panellerinde operatörlere net ve anlaşılır bilgi sunmak için tercih edilir. Sıvı kristallerin teknolojik dünyadaki etkisi, sürekli olarak genişlemektedir. Gelecekte, bu özel malzemeyle daha fazla yenilik görebiliriz. Özellikle esnek ekran teknolojileri, sıvı kristallerin önümüzdeki yıllarda nasıl daha da çeşitlilik kazanabileceğini gösteriyor. Akıllı giyilebilir cihazlar, esnek ekranlar ve yarı iletken teknolojileri gibi alanlarda sıvı kristallerin rolünün daha da büyüyeceği

düşünülmektedir. Sıvı kristallerin sadece teknolojik cihazlarda değil, hücre zarı, plazma, insan beyni, düz ve çizgili kaslar gibi canlı dokularda da varlığı tespit edilmiştir (Harris, 2007).

Sıvı kristaller modern teknolojinin birçok yönünde bizi etkileyen temel bir malzemeyi temsil eder. Onların düzenli yapıları, optik ve elektriksel özelliklerin birleşimi sayesinde bugünkü cihazları daha işlevsel ve etkileyici hale getiriyor. Sıvı kristallerin gelişen teknolojiyle birleştiği bu dönemde, gelecekte neler sunabileceğini merakla beklenmektedir.

1.1. Sıvı Kristallerin Tarihçesi

Sıvı kristaller, maddenin değişik bir halidir ve hem sıvı hem de katı özelliklere sahip olan özgün yapılar içerirler. Bu özellikleri sayesinde elektronik ekranlar, ekran panelleri ve diğer modern teknolojik cihazların temel yapı taşlarından biri olmuşlardır. Sıvı kristallerin tarihi, 19. yüzyılın sonlarında başlamış ve sürekli olarak gelişerek günümüze kadar gelmiştir. 19. yüzyılın sonlarına doğru, kristallerle ilgilenen bilim adamları, katı hal fiziği ve optiğin çeşitli alanlarındaki çalışmaları sayesinde sıvı kristallerin temel özelliklerini keşfetmeye başlamışlardır. Bu özel madde hakkındaki ilk dikkate değer çalışmalar 19. yüzyılın sonlarına doğru başladı. 1888 yılında, Avusturyalı botanikçi Friedrich Reinitzer, kolesterik sıvı kristallerin varlığını keşfetti. Reinitzer, kolesterol benzoat bileşiğinin erime noktasının, katı haldeyken aniden değiştiğini fark etti ve bu dönüşüm sırasında optik özelliklerin değiştiğini gözlemledi. Bu çalışmalar, sıvı kristallerin özelliklerini anlama yolunda önemli bir adım olarak kabul edilir. Daha sonraki yıllarda, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi Avusturyalı fizikçi Otto Lehmann, kendi icadı olan polarisasyon mikroskobu ile kolesterik sıvı kristalleri daha ayrıntılı bir şekilde incelemeye devam etti. 1904 yılında, sıvı kristallerin farklı fazları arasındaki geçişleri tanımlamak için kolesterik, nematik ve smektik terimlerini tanıttı. Bu terimler, sıvı kristallerin farklı yapıları ve düzenlemeleri arasındaki temel farkları açıklamak için hala kullanılmaktadır. 20. yüzyılın başlarında sıvı kristallerle ilgili çok sayıda deney yapan George Friedel, sıvı kristallerdeki eksikliklerin varlığına ve elektrik alan içindeki yönelimine ilk defa açıklık getiren kişidir. Aynı yıllarda, sıvı kristali oluşturan moleküllerin yönelimsel düzenine göre kategorizelendirilmesini gerçekleştirmiştir. Yapılan kategorizelendirme, bu alanla ilgili araştırmalara hız kazandırmıştır (Friedel, 1922).

2. Dünya savaşından sonra bilim insanları sıvı kristallerin önemli kısımlarını keşfettiğine inanıyorlardı. Nitekim 20. yüzyılın ortalarında polimerik sıvı kristaller açıklanmıştır. Çalışmalar genellikle doğal ve yapay liyotropik yapıdaki biyopolimerlerle sürdürülmüştür. Aynı yıllarda Paul Flory liyotropik sistemlerle ilgili çalışma yapıp bunlarla ilgili açıklama yapmıştır. 20.yüzyılın ikinci yarısına kadar yapılan çalışmaların neticesinde, teorik bilgiler daha sistematik bir hal almıştır (Kekler ve Hatz, 1980).

20. yüzyılın ortalarından sonra ilk sıvı kristal göstergenin geliştirilmesiyle çalışmaların hızı ve öneminin artmasıyla birlikte çeşitli bilim alanlarında değişik amaçlara yönelik olarak kullanılabileceğinin farkına varılmıştır. 1962 yılında, Richard Williams, Heilmeyer ve ekibi, ekran teknolojilerinde kullanılabilecek sıvı kristallerin elektriksel olarak kontrol edilebilen özelliklerini keşfettiler. Bu buluş, günümüzdeki sıvı kristal ekranların temelini oluşturan pasif matris ekranlar için bir dönüm noktası oldu (Akar, 2006).



Şekil 1.1. Otto Lehmann'ın kendi icadı olan polarizasyon mikroskobu (*url)

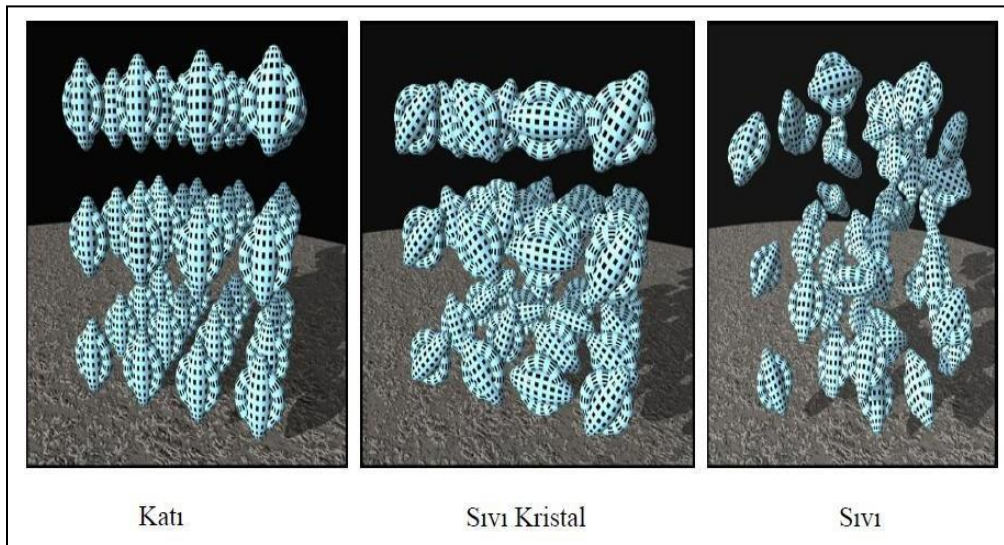
1970 ve 1980'lerde sıvı kristal ekranlar (LCD'ler), dijital saatler, hesap makineleri ve diğer taşınabilir cihazlar için popüler hale gelmeye başladı. LCD

teknolojisi sürekli olarak geliştirilmiştir ve 1990'lı yıllarda bilgisayar monitörleri ve televizyonlar için ana ekran teknolojisi haline gelmiştir (Goodby, 2001).

21. yüzyılda yapılan çalışmalarda, sıvı kristaller anizotropik kristal yapılı katıların ve izotropik sıvıların özelliklerini taşımalarından farklı olarak katı ve sıvılarda görülmeyen bazı özellikleri de göstermişlerdir. Bu durumdaki moleküler düzen, küçük bir elektrik veya manyetik alan etkisiyle bozulmaya uğrayabilir. Elektrik alan uygulanması ile moleküller düzende meydana gelen değişimler cihaz amaçlı çeşitli uygulamaların gelişmesine katkı sağlamıştır (Özaydın, 2007).

1.2. Sıvı Kristal Nedir?

Sıvı kristaller, sıvı ve katı hal arasında bir geçiş durumunda bulunan, düzenli yapıya sahip benzersiz maddelerdir. Sıvı kristallerin bu özellikleri, katıların düzenli yapıları ve sıvıların akışkan özelliklerini bir araya getirir. Bu özel özellikleri, modern teknolojide elektronik ekranların temel yapı taşları olarak kullanılmalarına olanak sağlar. Sıvı kristallerin benzersiz yapısını anlamak için, öncelikle kristal ve sıvı hal arasındaki temel farklara bakmak gerekir. Katılar sıkıca paketlenmiş ve düzenli bir yapıya sahipken, sıvılar düzensiz ve serbestçe akabilen moleküllerden oluşur. Sıvı kristaller ise, sıvıların akışkanlığına sahip olmalarına rağmen, moleküllerin düzenli bir şekilde sıralandığı ve belirli yönde hizalandığı ara bir durumu temsil eder (De Gennes ve Prost, 1993).



Şekil 1.2 . Katı, sıvı kristal ve sıvı yapıların gösterimi (Ekici, 2014)

Katı ve sıvı hal arasında kalan bu ara faza mezofaz denilmektedir. Sıvı fazda moleküller kısa düzenlemeler ve hareketlilik gösterirken, katı fazda ise moleküller yönelimsel ve uzun pozisyonel düzenlemeler gösterirler. Bir sıvı kristalin uygunluğu ve mekanik özellikleri, bu miktarların ölçüldüğü yöne göre değişiklik gösterir. Tipik sıvı kristaller, çubuk benzeri veya disk benzeri bir şekle sahiptir, ancak bu temel şekille ilgili birçok istisnai durum söz konusudur (Shen, 2000).

Şekil 1.2 'de görüldüğü gibi sıcaklık azaldıkça, hareket de azalır ve kuvvetlerin hepsi molekülü katı örgü düzenlenmesinde tutar. Kristaller moleküldeki birden fazla katmanın bir araya gelmesinden oluşur ve moleküllerin buradaki durumu ve yönelimi belirlidir. Pozisyonel düzenlenmenin yanı sıra, yönelimsel düzenin de olduğu bu faz katı faz olarak isimlendirilir.

Madde ısıldığı zaman, aldığı ısıya bağlı olarak termal hareketler artış gösterir. Gerekli ısı sağlandığında buna bağlı olarak zayıf kuvvetler yenilir; ancak güçlü kuvvetler halâ varlığını sürdürür. Burada molekül pozisyonel düzenini genellikle devam ettirir; ancak yönelimsel düzenini çoğunlukla devam ettiremez. Bu bağlamda, katmanlar içindeki moleküller birbirinin etrafında hareket edebilir ve katmanlarda kendi içinde bir hareket oluşturabilir. Oluşan hareketler sıvı kristalfaz olarak isimlendirilen bu faza, sıvı fazdaki gibi hareket özelliği ekler.

Madde ısıtmaya devam ettiğinde, buna bağlı olarak ısı hareketin de artması neticesinde moleküller arasında kalan güçlü bağların hepsinde kırılma olur ve moleküller gelişigüzel bir şekilde dağılır. Ne pozisyonel ne de yönelimsel düzenin gösterilmediği bu faza sıvı faz denir.

Maddenin katı halden mezofaza geçiş sıcaklığı "erime noktası", mezofazdan izotropik sıvıya dönüştüğü sıcaklık "berraklaşma noktası" olarak tanımlanır (Donino ve ark., 2003; Espinet ve ark., 1992).

Sıvı kristaller; vizkoz, jelatimsi malzemelerdir. Sıcaklığı arttırıldığında şeffaf hale geçerek sıvılara benzer bir hal alır. Genel olarak kristal fazdan izotropik faza geçiş-30 °C ile 100 °C aralığındadır (Bilen, 1994).

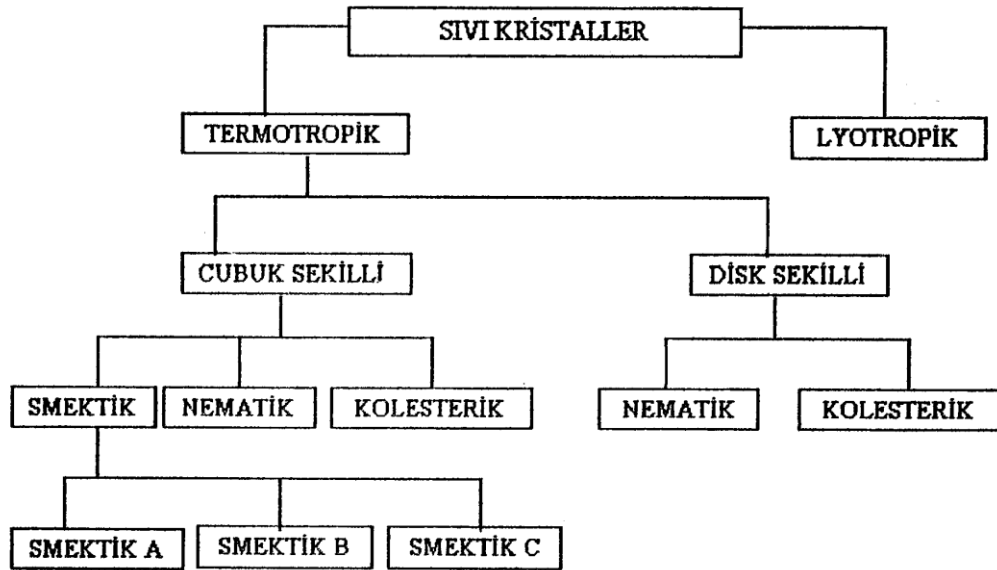
Sıvı kristallerin yönelme durumları ile katı kristallerin yönelme durumları birbirlerine benzer. Bundan dolayı sıvı kristaller de katı kristaller gibi ışığı kırar ve yansıtır. Sıvı kristallerin molekül yapıları genellikle çubuksu, güçlü, dipol ve polarize bir yapı gösterir. Sıvı kristaller polarize ışıktaki çift kırılma özelliğini gösterip, girişim renkleri gösterebilirler. Üstüne gelen ışığa bağlı olarak spektrumdaki renklerin hepsini

gösterir. Soğutma sırasında gösterdiği renkler tersinirdir. Sıvı kristallerin optik özellikleri moleküllerin ışık kaynağına göre yönelimlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Bahadır, 1995).

Sonuç olarak, sıvı kristaller, maddenin sıvı ve katı halleri arasında geçiş yapabilen ve elektrik alanla optik özellikleri kontrol edilebilen özgün bir yapıya sahip olan maddelerdir. Bu özellikleri, sıvı kristal ekranlar başta olmak üzere modern teknolojinin birçok alanında kullanılmalarını sağlamıştır. Sıvı kristal teknolojisi, sürekli olarak geliştirilmeye devam etmekte ve gelecekte daha fazla uygulama alanı ve yenilikçi çözümler sunması beklenmektedir.

1.3. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristaller farklı şekillerde kristalik fazlar gösterebilirler. Bunlar geometrik şekline göre çubuk Şekli (kalamitik) ve disk Şekli (diskotik) olarak sınıflandırma yapılabilir. Bunun yanı sıra moleküllerin kendi içinde organize olma durumuna göre nematik, smektik, kolesterik, sütunlu, mavili faz gibi sınıflandırılabilir (Pal ve Kumar, 2017).



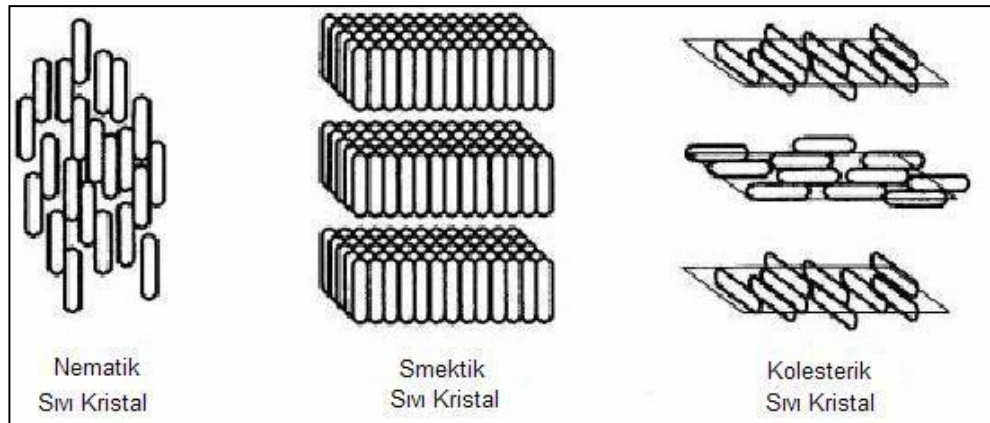
Şekil 1.3. Sıvı kristallerin sınıflandırılması (San, 2002)

Şekil 1.3’ de görüldüğü gibi sıvı kristallerde eğer faz geçişleri sıcaklıktan dolayı gerçekleşirse mezofazlartermotropik ismini alırlar. Herhangi bir çözücünün etkisiyle faz geçişi oluyorsa buna da liyotropik sıvı kristal adı verilir (Bilinov ve Chigrinov, 1994).

1.3.1. Termotropik Sıvı Kristaller

Termotropik sıvı kristaller, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak faz geçişleri gösteren özel sıvıkristal bileşiklerdir. Bu malzemeler, hem sıvıların akıcılığını hem de katıların düzenli yapısını bir arada barındırarak benzersiz özelliklere sahiptir. Termotropik sıvı kristaller, sıcaklıkla değişen optik, elektriksel ve manyetik özelliklere sahip olmalarıyla dikkat çekerler. Şekil 1.4’ te görüldüğü gibi termotropik sıvı kristallerin yapısı, moleküler düzenlemeye ve simetriye dayanır. Moleküllerin amfifilik özelliği, polar ve apolar grupları içermeleri, sıvı kristal özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Ayrıca, moleküler uzunluk ve esneklik, sıvı kristal fazlarının oluşumunu etkileyen faktörlerdir. Optik açıdan, termotropik sıvı kristaller sıcaklıkla birlikte opaklık ve şeffaflık arasında geçiş yapabilirler. Optik anizotropi ve polarizasyon özellikleri, sıvı kristallerin kullanımını optoelektronik cihazlar ve görüntüleme teknolojileri gibi alanlarda mümkün kılar. Ayrıca, elektro-optik etkileri sayesinde ışık geçirgenlik ayarlaması yapılabilir (Nesrullazade, 2000).

Bu malzemelerde, sıcaklıkla değişen faz geçişleri gözlenir. Şekil 1.4’de görüldüğü gibi Nematik, smektik ve kolesterik fazlar, termotropik sıvı kristallerin karakteristik fazları arasında yer alır. Bu fazlar arasındaki geçişler, sıcaklık artışı veya azalışıyla gerçekleşir ve moleküler düzenin değişmesine bağlı olarak optik, elektriksel ve manyetik özelliklerde değişimlere neden olur (Özgan ve Yazıcı, 2003).



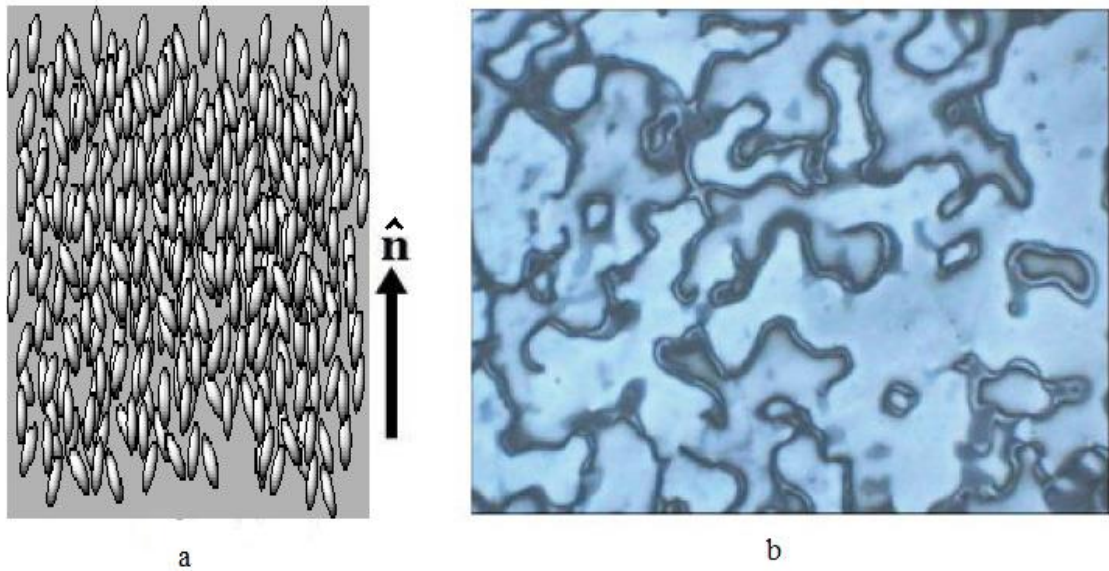
Şekil 1.4. Çeşitli Fazlarda Sıvı Kristal Moleküller (Ekici, 2014)

1.3.1.1. Nematik Sıvı Kristal

Yunanca iplik kelimesinden türeyen nematik (nematic) sözcüğü mikroskopta incelendiğinde düzenli bir yerleşime sahip olmayıp ipliksi bir yapı gösteren sıvı kristaller ilk defa 1922 yılında Georges Friedel tarafından kullanılmıştır (Friedel, 1922).

Şekil 1.5’ de görüldüğü gibi nematik sıvı kristaller, moleküllerin uzunlamasına düzenlendiği bir düzlemlı yapıya sahiptir. Bu düzen, genellikle moleküllerin uzunlamasına eksenlerinin hizalanmasıyla gerçekleşir. Moleküllerin uzunlamasına düzenlenmesi, nematik sıvı kristallerin belirgin optik ve elektriksel özelliklere sahip olmasını sağlar.

Nematik sıvı kristallerin en temel özelliğı, moleküler hizalanma yönünün ortak olduğı "ortalama yönlü düzen"dir. Yani, moleküllerin çoğı benzer bir yönde hizalanırken, bu yönde tam bir düzenlilik göstermezler. Bunun yerine, moleküler düzenin belirli bir ortalama yöne sahip olduğı bir yapı oluştururlar. Moleküler düzen, nematik sıvı kristallerin optik özelliklerini etkiler. Bu düzen sayesinde, polarize ışığın nematik sıvı kristal üzerinden geçerken polarizasyon düzlemi döner. Bu fenomen, çeşitli optik uygulamalarda kullanılan elektro-optik etki olarak bilinir (Chandrasekhar, 1992).



Şekil 1.5. Nematik fazda a) Şematik görüntü, b) POM görüntüsü (Dierking, 2003)

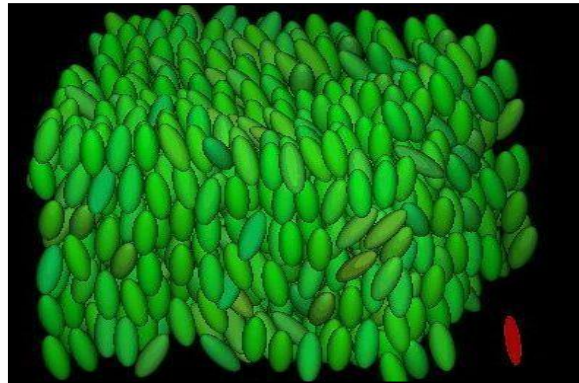
Moleküler zincirlerin hizalanmasını sağlamak için nematik sıvı kristallerde çeşitli etkileşimler rol oynar. Bu etkileşimler arasında Van der Waals etkileşimleri,

dipol-dipol etkileşimleri ve pi-stacking gibi etkileşimler yer alır. Bu etkileşimler, moleküler zincirlerin belirli bir düzlemde hizalanmasını sağlar (Collings, 2002).

1.3.1.2. Smektik Sıvı Kristaller

Smektik sözcüğü yunanca sabun anlamına gelmektedir. Smektik sıvı kristaller, tabaka şeklinde düzenlenmiş moleküllerden oluşan bir yapıya sahiptir. Bu moleküller, genellikle bir polar kafa grubuyla birlikte uzun bir hidrokarbon kuyruğuna sahip amfifilik moleküllerdir. Bu yapı, moleküllerin hidrofobik (hidrokarbon kuyruğu) ve hidrofilik (polar baş) bölgelerinden oluşmasını sağlar. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi smektik sıvı kristallerin en belirgin özelliği, moleküler tabakaların düzenli bir şekilde birbirine paralel hizalanmasıdır. Bu düzen, moleküllerin tabaka düzlemleri boyunca sıralandığı ve tabakalar arasında belirli bir mesafeyle ayrıldığı bir yapı oluşturur. Moleküler tabakaların düzenlenme şekline bağlı olarak Smektik A, Smektik B ve Smektik C şeklinde isimlendirilir (Chandrasekhar, 1992).

Bu isimlendirmeler DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre), XRD (X ışını Kırınımı) ve POM (Polarize Optik Mikroskop) ile yapılan çalışmaların neticesinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda Smektik A, Smektik B ve Smektik C fazlarının fiziksel özellikleri hakkında diğer smektik fazlara göre daha çok bilgiye kavuşulmuştur (Kaya, 2010).

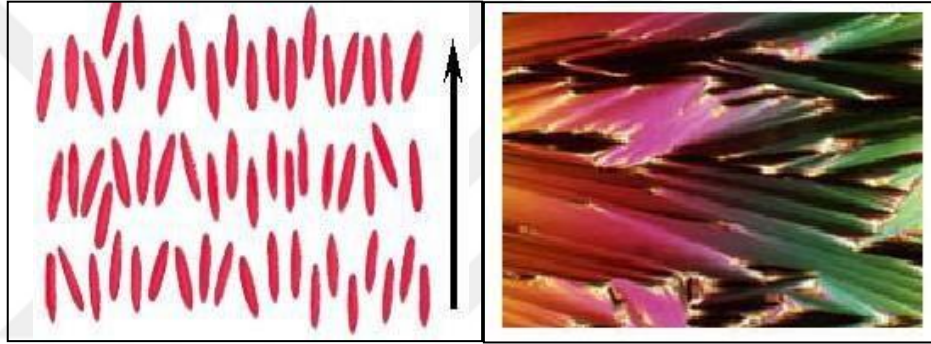


Şekil 1.6. Smektik sıvı kristal gösterimi (Ekici, 2014)

Smektik sıvı kristallerin özellikleri, onları birçok uygulama alanında değerli kılar. Optik özellikleri, elektro-optik etkilerin kullanılmasını mümkün kılar ve bu da smektik sıvı kristallerin ekran teknolojilerinde kullanılmasını sağlar. LCD (Liquid Crystal Display) ekranlar, bu açıdan en yaygın uygulama örneklerindendir. Smektik sıvı

kristaller ayrıca moleküler yönlendirme özelliklerine sahip oldukları için elektro-optik, akustik-optik ve termal-optik etkilerin kontrolünde kullanılabilirler. Bu da smektik sıvı kristallerin sensörler, optik aygıtlar ve veri depolama cihazları gibi alanlarda kullanılmalarını sağlar. Smektik sıvı kristaller, tabaka düzenlemesiyle karakterize edilen özel sıvı kristal yapılarıdır. Moleküler tabakaların düzenli bir şekilde hizalanması, smektik sıvı kristallerin optik, elektriksel ve akustik özelliklerini etkiler. Bu özellikler, smektik sıvı kristalleri birçok teknolojik uygulama alanında değerli kılar (Leaf, url).

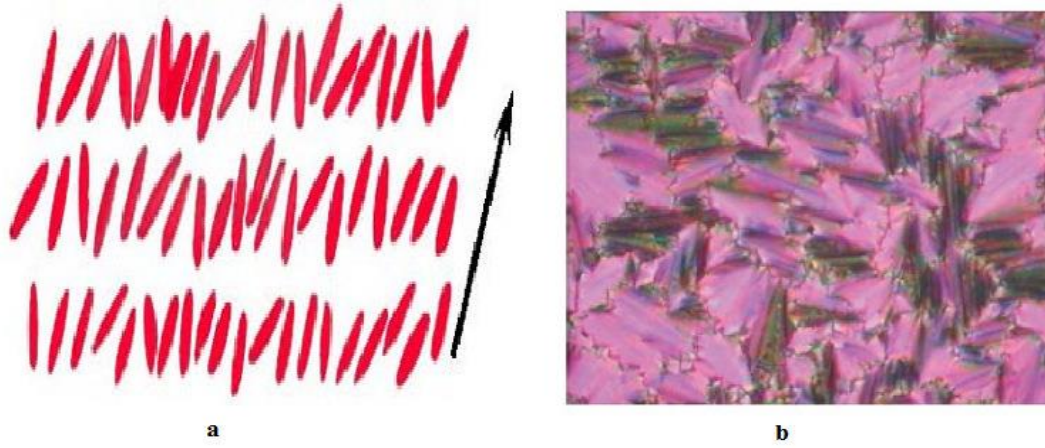
Şekil 1.7’de görüldüğü gibi smektik A fazında, moleküller tabakalar halinde düzenlenir ve her tabaka içinde moleküller düzenli bir şekilde sıralanır. Tabakalar arasındaki düzenlenme ise rastgele olabilir. Bu düzenleme tipi, sıcaklıkla birlikte değişebilir ve genellikle daha yüksek sıcaklıklarda gözlenir.



Şekil 1.7. Smektik-A fazının; a) molekül gösterimi, b) POM görüntüsü (Ekici, 2014)

Smektik B fazında, moleküller smektik düzlem içinde düşey olarak yönelim gösterir. Bunun yanı sıra moleküller katmanlar içinde hegzagonal ağlar gibi dizilmişlerdir. Hegzagonal düzen göstermelerinden ötürü, smektik A fazına göre daha düzenli bir yapıya sahiptir. Smektik B fazı daha çok katı kristallere benzerlik göstermektedir.

Şekil 1.8’de görüldüğü gibi smektik C fazında, moleküller yine tabakalar halinde düzenlenir, ancak bu kez tabaka düzlemleri sıvı kristal eksenine göre eğimlidir. Moleküller, tabakalar boyunca spiral bir şekilde sıralanır ve bu düzenlenme daha yüksek derecede düzenlidir. Bu faz, sıcaklığa bağlı olarak gözlenen bir polarizasyon davranışı sergiler (Collings ve Hird, 2001).



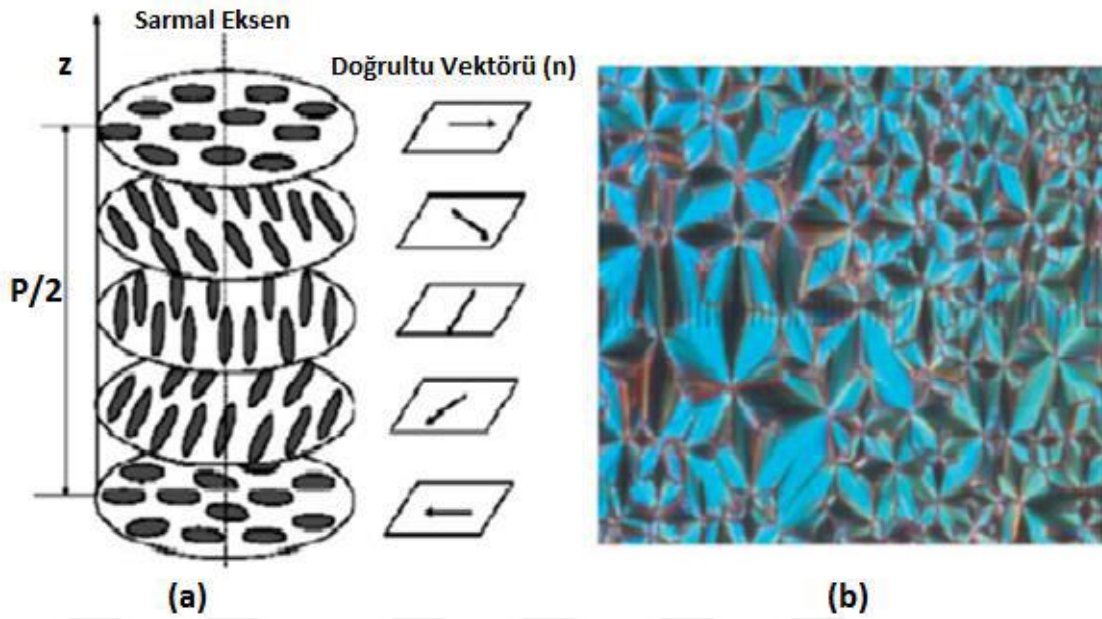
Şekil 1.8. Smektik-C fazının; a) molekül gösterimi, b) POM görüntüsü (Dierking, 2003)

1.3.1.3. Kolesterik Sıvı Kristal

Sıvı kristaller, moleküler düzeydeki düzenlenmiş yapılarıyla hem sıvıların akışkan özelliklerini hem de katıların kristal düzenini bir araya getiren özel malzemelerdir. Şekil 1.9'da görüldüğü gibi kolesterik sıvı kristaller, düzenli bir şekilde dizilmiş moleküllerin spiral bir yapı oluşturduğu bir sıvı kristal fazını ifade eder. Bu moleküllerin spiral yapısı, kolesterik fazının karakteristik özelliğidir ve kolesterik sıvı kristallerin optik özelliklerinin temelini oluşturur. Kolesterik sıvı kristallerdeki moleküler düzen, bir eksene paralel halkalar şeklinde düzenlenmiş moleküllerden oluşur. Bu düzende, her bir halka biraz daha dönerek spiralli bir yapı oluşturur. Bu spiral yapı, sıvı kristalin optik özelliklerine katkıda bulunur (Lagerwall ve Scalia, 2012).

Kolesterik sıvı kristaller, birçok farklı moleküler sistemin özelliği olarak ortaya çıkabilir. Bu moleküller genellikle kiral (simetriye sahip olmayan) yapıya sahiptir ve kendiliğinden kolesteriksıvı kristal fazını oluşturur. Kolesterik faz, sıvı kristal moleküllerinin tercih ettiği spiral düzenleme nedeniyle oluşur. Bu spiral yapı, moleküllerin birbirlerine yakın olduğu ve düzenli olarak düzenlendiği bir düzenleme sağlar (Zola, 2007).

Kolesterik sıvı kristaller, birçok farklı alanda kullanılmaktadır. En yaygın kullanıldığı yer, sıvı kristal ekranlardır. Kolesterik sıvı kristaller, ekranlardaki piksellerin renklerini ve polarizasyonlarını kontrol etmek için kullanılır. Ayrıca, optik sensörler, tıbbi görüntüleme sistemleri ve fotovoltaik cihazlar gibi farklı uygulamalarda da kolesterik sıvı kristallerin kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Bu uygulamaların gelişimi, kolesterik sıvı kristallerin özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına ve kontrol edilmesine dayanır (Goodby, 1998).

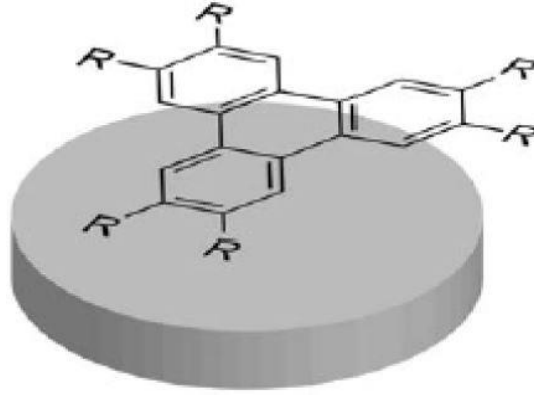


Şekil 1.9. Kolesterik sıvı kristalin a) yönelimi b) POM görüntüsü (Dierking, 2003)

1.3.1.4. Disk Şeklinde (Diskotik) Sıvı Kristaller

Disk şeklinde sıvı kristaller (DSSK), sıvı kristallerin özel bir alt grubunu oluşturur ve genellikle disk şeklinde moleküllere sahip olan sıvı kristallerdir. Şekil 1.10'da görüldüğü gibidisk şeklinde sıvı kristaller, genellikle disk şeklindeki moleküllerin karmaşık düzenlemeleri sonucu oluşur. Moleküller geniş ve düzlem içinde yayılan yapılara sahip olan "diskositler" olarak adlandırılır. Bu diskositler, çoğunlukla birbirine paralel hizalanmış uzun düzlem dizileri oluşturur. Bu düzenleme, sıvı kristallerin optik ve elektriksel özelliklerini etkiler. Disk şeklinde sıvı kristaller, sıvı kristal fazları arasında geçiş yapabilirler. En yaygın fazlar nematic, smektik ve kolumnar fazlardır. Nematic fazda, moleküller belirli bir yön boyunca hizalanmıştır, ancak düzenleme bir sıraya sahip değildir. Smektik fazda, moleküller düzenli bir düzlemde hizalanır ve kısmen sıraya girmiş bir yapı sergiler. Kolumnar fazda ise moleküller silindirik yapılar oluşturur ve bu silindirler sütunlar halinde düzenlenir. Ekran teknolojileri, akıllı pencereler, yarı iletkenler, sensörler ve ilaç sanayinde kullanılır. Disk şeklinde sıvı kristallerin bu çeşitli uygulamaları, bu malzemelerin önemini ve çok yönlülüğünü vurgular. Gelecekteki araştırmalar, disk şeklinde sıvı kristallerin yeni uygulama alanlarını keşfetmeye ve mevcut teknolojileri daha da

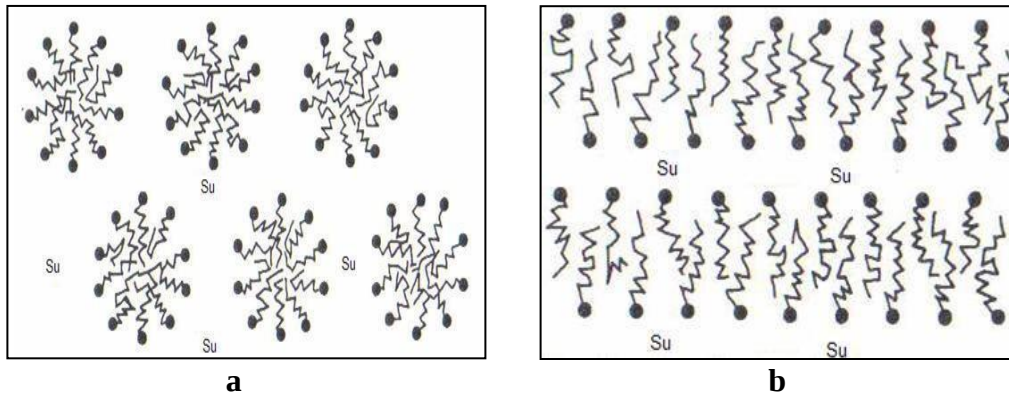
geliştirmeye yönelik olacaktır. Bu sayede, sıvı kristallerin benzersiz fiziksel özellikleri daha geniş bir endüstri yelpazesine entegre edilebilir (Imrie, 2004).



Şekil 1.10. Disk şeklinde sıvı kristal (Singh, 2002)

1.3.2. Lyotropik sıvı kristaller

Liyotropik sıvı kristaller, Şekil 1.11’de görüldüğü gibi çözücü içinde çözünmüş uzun, lineer moleküllerden oluşan ve kendiliğinden düzenlenen yapılarıyla dikkat çeken bir malzeme sınıfıdır. Bu sıvı kristallerin dayanaklılığını, sıcaklık değil konsantrasyonu belirler. Termotropik sıvı kristalden ayırt etmek için liyotropik ismi verilmiştir (Colling, 2001).



Şekil 1.11. a) Sabunların heksagonal veya orta fazı

b) Sabunların lameller veya düzgünsü (neat) fazı (Chandrasekhar, 1992)

Liyotropik sıvı kristaller, doğada çok fazla bulunmaktadır. Lyotropik sıvı kristaller yapı ve fiziksel özellik olarak termotropik sıvı kristallerden daha karmaşık olduğu için, teknolojik çalışmalarla birlikte dile getirilmişlerdir. Lyotropik sıvı kristallerinin teknolojik çalışmalarının yapılabilmesi için sistemlerin faz durumlarının

araştırılması, faz geçişleri belirtilerek faz grafiklerinin çizilmesi ve sahip oldukları ara fazların fiziksel özelliklerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Liyotropik sıvı kristaller temizlik ürünleri, hidrolik yağlar, kozmetik ürünler, ilaçlar, gıda sanayi, petrol çıkarma, tıp teknolojisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Epik, 1995).

1.4. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları

Sıvı kristallerin en yaygın kullanım alanlarından biri düz ekran teknolojisidir. LCD (Liquid Crystal Display - Sıvı Kristal Ekran) teknolojisi, sıvı kristallerin optik özelliklerinden yararlanarak görüntüleri oluşturur. LCD'ler, televizyonlar, bilgisayar monitörleri, cep telefonları ve diğer birçok elektronik cihazda kullanılır. Sıvı kristal hücreleri, elektrik akımı uygulanarak düzenlenebilir, bu da piksellerin açık veya kapalı durumda olmasını sağlar ve böylece görüntü oluşur. Sıvı kristaller, optik bileşenlerin üretiminde de yaygın olarak kullanılır. Sıvı kristal tabanlı polarizatörler, filtreler ve ışık modülatörleri gibi bileşenler, kameralar, projektörler, mikroskoplar ve optik sensörler gibi birçok optik cihazda kullanılır. Sıvı kristal tabanlı polarizatörler, ışığın yönünü değiştirerek görüntü kalitesini iyileştirirken, sıvı kristal tabanlı filtreler belirli dalga boylarını engelleyerek renk filtrelemesini sağlar (Yablonovitch, 1993).

Sıvı kristallerde moleküller arası çekim kuvveti zayıf olduğu için dışarıdan gelen etkilere karşı duyarlılık gösterir. Bu özelliklerden faydalanılarak sıcaklık, basınç, elektrik ve magnetik alan gibi dışarıdan gelecek etkileri izlemek için çeşitli sensörlerde kullanılırlar (Köysal, 2007).

Sıvı kristaller, 3D görüntüleme teknolojisinde de kullanılan elektronik gözlüklerde önemli bir rol oynar. Bu gözlükler, her göz için ayrı ayrı görüntüler üreten ve gözlük camlarına yerleştirilen sıvı kristal tabakalarını kullanır. Bu sayede, izleyiciye stereoskopik bir görüntü sunulur ve 3D efekti oluşturulur. Sıvı kristaller, kol saati ve diğer tüketici elektroniği cihazlarının ekranlarında da kullanılır. Akıllı saatler, dijital saatler ve diğer elektronik cihazların ekranlarında sıvı kristal tabanlı bir teknoloji kullanılır. Bu sayede, enerji verimliliği sağlanır ve ince, hafif ve şeffaf ekranlar elde edilir. Sıvı kristaller, optik iletişim sistemlerinde de kullanılmaktadır. Optik iletişim, yüksek hızlı veri iletimini sağlayan bir teknolojidir. Sıvı kristal tabanlı cihazlar, optik sinyalleri module ederek ve yönlendirerek veri iletimini optimize edebilir. Bu, fiber optik ağlar ve yüksek hızlı iletişim sistemleri gibi uygulamalarda kullanılan optik iletişimde önemli bir avantaj sağlar. Sıvı kristaller, termal yönetim alanında da

kullanılmaktadır. Bazı sıvı kristal bileşikler, termal iletkenlikleri yüksek olduğu için ısıyı iyi iletebilirler. Bu özellik, elektronik cihazların soğutulması için kullanılabilir. Sıvı kristallerin termal yönetim uygulamaları, yarı iletken cihazlarda ısıyı dağıtmak için termal arayüz malzemeleri olarak kullanılabilecek gelecek potansiyeller sunmaktadır. Sıvı kristaller, biyomedikal alanda da çeşitli uygulamalara sahiptir. Sıvı kristal tabanlı sensörler, biyomedikal görüntüleme sistemlerinde kullanılarak tıbbi teşhis ve araştırmalara yardımcı olur. Örneğin, sıvı kristal tabanlı termografi kameraları, vücut ısını algılayarak tıbbi teşhise yardımcı olabilir. Ayrıca, sıvı kristaller, biyosensörlerin ve biyolojik analiz cihazlarının yapısında kullanılarak tıp alanında önemli bir rol oynar (Rosales, 2021).

Sıvı kristaller, enerji depolama teknolojilerinde de kullanılabilmektedir. Sıvı kristal tabanlı elektrotlar, süper kapasitörlerde ve lityum iyon pillerinde kullanılarak enerji depolama kapasitesini artırabilir. Bu, taşınabilir elektronik cihazların performansını ve enerji verimliliğini artırırken, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar. Sıvı kristaller, güneş enerjisi alanında da önemli bir rol oynar. Fotovoltaik (güneş hücreleri) paneller, sıvı kristal tabanlı malzemeler kullanılarak üretilir. Bu malzemeler, güneş ışığını elektriğe dönüştüren hücrelerin yapısında kullanılır. Sıvı kristaller, güneş enerjisini daha verimli bir şekilde yakalayarak ve dönüştürerek yenilenebilir enerji üretimine katkıda bulunurlar (Kozen, 2017).

Sıvı kristallerin geniş bir kullanım alanı vardır ve birçok teknolojik uygulamada önemli bir rol oynamaktadır. Düz ekran teknolojisi, optik bileşenler, elektronik gözlükler, saatler, termal yönetim, biyomedikal uygulamalar, optik iletişim, enerji depolama ve güneş enerjisi gibi alanlarda sıvı kristallerin kullanımı giderek artmaktadır. Bu uygulamalar, sıvı kristallerin benzersiz özelliklerinden yararlanarak daha inovatif ve gelişmiş teknolojilerin geliştirilmesine olanak sağlar. Gelecekte, sıvı kristallerin daha da ileriye gitmesi ve yeni kullanım alanlarının keşfedilmesi beklenmektedir.

1.5. Sıvı Kristal Karışımlar

Sıvı kristallerin karıştırılması, sıvı kristal teknolojilerinin gelişimi ve çeşitliliği için temel bir rol oynar. Bu karıştırma işlemi, farklı sıvı kristal bileşenlerinin belirli oranlarda bir araya getirilmesiyle gerçekleşir. Sıvı kristal karıştırma, özel optik ve

fiziksel özelliklere sahip malzemelerin tasarımı ve üretimi için önemli bir aşamadır. Sıvı kristaller, genellikle tek başlarına belirli fiziksel ve optik özelliklere sahip bileşiklerdir. Ancak, farklı bileşenlerin karıştırılmasıyla yeni ve özelleştirilmiş özelliklere sahip sıvı kristal malzemeleri üretmek mümkün hale gelir. Karıştırma, özellikle sıvı kristal ekranlar gibi teknolojilerde, daha yüksek performans, daha iyi görüntü kalitesi ve düşük enerji tüketimi gibi hedeflere ulaşmak için kullanılır.

Sıvı kristal karıştırma işlemi, farklı sıvı kristal bileşenlerin seçilmesiyle başlar. Bu bileşenler, farklı moleküler yapılar, polariteler ve fiziksel özellikler taşıyabilir. Karışımın son özellikleri, seçilen bileşenlerin kombinasyonuna bağlı olarak şekillenir. Karışımın bileşim ve oranları, son ürünün özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Optik, mekanik ve elektriksel özellikler, bileşenlerin karışım oranlarına göre değişebilir. Bileşenlerin oranları, genellikle deneme yanılma yöntemi veya bilgisayar tabanlı simülasyonlar kullanılarak optimize edilir.

Karıştırılmış sıvı kristal malzemeleri, farklı bileşenlerin etkileşimi nedeniyle farklı fazlara geçebilir. Bu faz geçişleri, sıcaklık, basınç ve bileşim koşullarına bağlı olarak değişebilir. Farklı fazlar, malzemenin optik, elektriksel ve mekanik davranışını belirler. Sıvı kristal bileşenlerin karıştırılması için çeşitli yöntemler kullanılır. Mekanik karıştırma, manyetik karıştırma, ultrasonik karıştırma ve mikroakışkan sistemler gibi farklı yöntemler, bileşenlerin homojen bir şekilde dağıtılmasını sağlar. Sıvı kristal karıştırma, genellikle sıvı kristal ekranların yapımında kullanılır. Bu ekranlar, televizyonlar, bilgisayar monitörleri, akıllı telefonlar ve diğer elektronik cihazlarda bulunur. Karıştırılmış sıvı kristaller, daha yüksek kontrast, daha hızlı tepki süresi ve geniş görüş açıları gibi avantajlar sunarak görüntü kalitesini artırabilir. Sıvı kristal karıştırma, özelleştirilmiş malzemelerin üretimini sağlar. Bileşenlerin kimyasal yapısı ve oranları, istenen özelliklere sahip malzemelerin tasarlanmasını ve üretilmesini mümkün kılar. Bu da yeni uygulamalar ve endüstriyel çözümler için kapıları açar (Takezoe, 2006).

Bir sıvı kristal molekülünde değişiklikler yapmak sıvı kristalin fazlarında ve özelliklerinde büyük değişikliklere sebep olabilir ya da sıvı kristal fazını kararsız hale getirebilir. Bundan dolayı belirli fiziksel özellikleri olan bir sıvı kristal karışımı elde etmek karşımıza bazı zorluklar çıkarabilir.

Sıvı kristalleri araştırırken fazın 25 °C’de sabit kalabilmesi için belirli fazların aralığını geniş tutmak gerekir veya malzemenin viskozite gibi fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi gerekir. Bunu yapabilmek için sıvı kristali ya başka bir sıvı kristalle ya da

herhangi bir sıvı kristal fazı sergilemeyen bir maddeyle karıştırmak gerekir. Sıvı kristal maddeye başka madde ekleme yapmak basit yöntemlerle mümkündür. Öncelikle eklenecek madde ve sıvı kristal oda sıcaklığı (25 °C)'nda olmalıdır. Madde bu sıcaklıkta eklenir ve daha sonra karıştırılır. Karışım en yüksek berraklaşma noktasına gelene kadar ısıtılır ve bir süre soğuması beklendikten sonra homojenize olması için tekrar ısıtılarak karıştırılır. Bu döngülerin sonucunda madde homojen bir görüntü oluşturur. Karışımın homojenize durumu polarize optik mikroskop ile incelenebilir (Kirchhoff, 2010).

Benzoik asit, bir karboksilik asit türevidir ve molekülünde bir karboksil grubu (-COOH) bulunur. Bu grup, hidrojen bağı oluşturma yeteneği taşır. Siyanobifenil molekülleri ise aromatik halkalar ve siyano grubu içerir. Siyanogrup da hidrojen bağı oluşturabilir. Karışım sırasında, benzoik asit ve siyanobifenil molekülleri arasında hidrojen bağları kurulabilir. Bu bağlar, moleküllerin birbirine yaklaşmasına ve düzenlenmesine neden olabilir.

Benzoik asit, polar bir moleküldür ve su gibi polar çözücülerde iyi çözünür. Siyanobifenil de polar özelliklere sahiptir. Bu nedenle, benzoik asit ve siyanobifenil molekülleri bir miktar çözünür. Karışımın özellikleri, moleküler etkileşimlerin yanı sıra, molekül oranlarına, sıcaklığa ve çözücü ortama bağlı olarak değişebilir. Siyanobifenil, sıvı kristal fazları gösterebilen bir bileşiktir. Bu fazlar, moleküllerin belirli düzenlerde düzenlendiği hallerdir.

Benzoik asit ile karışımı, siyanobifenilin sıvı kristal davranışını etkileyebilir. Moleküler etkileşimler, moleküler düzeni değiştirebilir, bu da sıvı kristal faz geçişlerini veya yapılarını değiştirebilir. Benzoik asit ve siyanobifenilin karıştırılması kimyasal reaksiyonlara yol açabilir. Özellikle asit-baz reaksiyonları veya fonksiyonel gruplar arasındaki reaksiyonlar gerçekleşebilir. Bu tür reaksiyonlar, yeni bileşiklerin oluşmasına veya moleküler yapıların değişmesine neden olabilir (Kara, 2023).

Sıvı kristallerin karıştırılması, bu teknolojinin esnekliğini ve çeşitliliğini artıran önemli bir adımdır. Bileşenlerin doğru seçimi, oranların optimize edilmesi ve uygun karıştırma yöntemlerinin kullanılması, istenen özelliklere sahip sıvı kristal malzemelerinin üretilmesini sağlar. Bu da modern teknolojinin birçok alanında daha iyi ve gelişmiş ürünlerin ortaya çıkmasına olanak tanır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

DasGupta ve arkadaşları (2003), 4-4-n-pentil-siyanobifenil (5CB) ve 4-4-n-desil-siyanobifenil (10CB) karışımlarında yayılma, bükülme elastik sabitleri ve dönme viskozite katsayısının ölçümü üzerine çalışma yapmışlardır. Ürettikleri karışımın smektik A ve nematik fazlar sergilediğini bildirmişlerdir. Eğilme elastik sabiti ve dönme viskozite katsayısının, smektik A fazına nematik taraftan yaklaşıldıkça birbirinden uzaklaştığını ve bu iki niceliğin ıraksaması için üsleri belirlediklerini bildirmişlerdir. Her iki üs de karışımlardaki bileşenlerin nispi konsantrasyonuna bağlı gibi görüldüğünü ve 5CB'nin mol fraksiyonunun 0,25'ten 0,30'a yükseldiğinde bükülme elastik sabiti değerlerinin 0,7'den 1,0'a sıçradığını bulmuşlardır. Bu bulguların, faz geçişi için bir üçlü kritik noktanın varlığı ile tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir. Bir smektik A-nematik üçlü kritik noktanın var olma olasılığını, Landau teorisi çerçevesinde tartışmışlardır (DasGupta ve ark., 2003).

Ghanadzadeh ve Beevers (2004), 5CB ve 7CB nematik sıvı kristal karışımı (F1 [%71 5CB:%29 7CB] ve F2 [%51 5CB:%49 7CB]) için belirli sıcaklıklarda elektro-optik Kerr etkisini ve faz geçiş davranışlarını incelemişlerdir. Bu sıvı kristallerin Kerr sabitinin nematik-izotropik geçiş sıcaklıklarında çok yüksek olduğunu bulmuşlar ve $(T-T^*)^{-1}$ 'in Kerr sabitine doğrusal bağımlılığının, Landau-De Gennes modelinin tahminleriyle iyi bir uyum içinde olduğunu ifade etmişlerdir (Ghanadzadeh ve Beevers, 2004).

Matsuoka ve ark. (2005), 4-siyano-4'-pentilbifenil (5CB)-trifenilfosfit (TPP) ikili karışımlarında yeniden yönlendirme gevşeme sürelerini ve yoğunluklarını, bileşim ve sıcaklığın fonksiyonları olarak ölçmüşlerdir. Yeniden yönlendirme gevşeme süresini, optik heterodin tekniği ile polarize ışık saçılma spektrumlarından belirlemişler. TPP molekülünün eklenmesinin etkisini, genişletilmiş Debye-Einstein denkleminde tahmin edilen etkin moleküller yeniden yönlendirme hacmi açısından tartışmışlar. Fazla hacimleri ve kısmi molar hacimleri, karışımların yoğunluğundan hesaplanmışlar. Yeniden yönlendirme korelasyonu ile kısmi hacim arasındaki ilişkiyi, karışımlardaki 5CB moleküllerinin yerel yapısı açısından tartışmışlardır (Matsuoka ve ark., 2005).

Taguchi ve ark. (2006), 4'-n-pentil-4-siyanobifenil (5CB) moleküllerinin Kapton tipi poliimid Langmuir-Blodgett (LB) filmleri üzerindeki yönelimsel sıralama süreçlerini deneysel olarak incelemişlerdir. 5CB moleküllerinin yönelim sırasını, optik ikinci harmonik nesil (SHG) ve optik polarize absorpsiyon (PA) kullanılarak

oryantasyon sırası parametreleri S_n ($n = 1, 2, 3$) cinsinden belirlemişler. Ölçümler ve deneysel veriler, poliimid katmanlarının sayısına bağlı ankraj enerjisi ile bağlantılı olarak tartışmışlardır (Taguchi ve ark., 2006).

Gwizdala ve ark. (2008), bir karbon nanotüpü çevreleyen mezojen molekül 5CB'nin ultra ince filmini moleküler dinamik (MD) tekniği ile incelemişlerdir. 4-siyano-4-n-pentilbifenil (5CB) dinamik gözlemlenebilirleri çeşitli sıcaklıklar için hesaplamışlardır. Ortalama kare yer değiştirme, difüzyon katsayısı, öteleme, açılma hız otokorelasyon fonksiyonu, vb. Ayrıca 5CB mezojen tabakasının toplam dipol momenti, otokorelasyon fonksiyonu ve dielektrik kaybı da hesaplamışlardır. Karbon nanotüpü olmayan saf 5CB kümesinin dielektrik rahatlaması ile karşılaştırma yaparak tartışmışlardır (Gwizdala ve ark., 2008).

Elouali ve ark. (2009), polimer dağılımlı sıvı kristal (PDLC) filmleri, nematik sıvı kristal malzeme 4-siyano-4'-pentilbifenil (5CB), monomer olarak 2-hidroksietilmetakrilat (HEMA) ve bir fotoinisiatör (Darocur 1173) karışımının Polimerizasyonla İndüklenen Faz Ayrılma (PIPS) süreci kullanılarak hazırlamışlardır. PIPS sürecini başlatmak için ultraviyole (UV) radyasyonu kullanmışlardır. Elde edilen filmlerin elektro-optik davranışı, uygulanan gerilim ve frekansın bir fonksiyonu olarak araştırmışlardır. %60 5CB ve %40 HEMA içeren örneklerin durumunda güçlü hafıza etkileri gözlemlenmiştir (Elouali ve ark., 2009).

Buyuktanir ve ark. (2010), optik olarak duyarlı, yüksek çift kırılma gücüne sahip elektro-eğrilmiş nematik sıvı kristal (LC) mikroliflerin oluşumunu ve yapısal karakterizasyonunu rapor etmişlerdir. LC mikrofibrilleri, kloroform/aseton çözütüsünde polilaktik asit (PLA) ve düşük moleküler ağırlıklı 4-pentil-4'-siyanobifenil (5CB) çözeltisinden elektrospunlamışlardır. 5CB'nin PLA'daki çözünürlük sınırı ve 5CB/PLA çekirdek/kılıf liflerindeki LC'nin faz ayrımı derecesi, LC ve polimer bileşenleriyle ilişkili faz geçiş entalpilerini kullanarak belirlemişlerdir. Yapısal analiz, LC çekirdeğinin ve liflerdeki çözünmüş LC'nin PLA kristallerinin α -formunun oluşumunu teşvik ettiğini ve 5CB/PLA liflerindeki PLA kabuğunun kristallik derecesini %6,6'dan %52'ye çıkardığını ortaya çıkarmışlardır. 5CB damlacık oluşumu ile PLA elyaf oluşumu arasındaki rekabet, eğirme çözeltisi bileşiminin ve uygulanan elektro eğirme voltajının bir fonksiyonu olarak gözlemlenmiştir. PLA çekirdeği içindeki 5CB'nin hizalanmasını polarize optik mikroskopisi ile ortaya çıkarmışlardır (Buyuktanir ve ark., 2010).

Gwizdala ve ark. (2011), grafen duvarlar arasına hapsedilen mezojenik molekül 5CB'nin ultra ince filmini moleküler dinamik (MD) tekniği ile incelemişlerdir. 4-siyano-

4-n-pentilbifenil (5CB) dinamik gözlemi çeşitli sıcaklıklar için hesaplamışlardır. Ortalama kare yer değiştirme, öteleme ve açılma hız otokorelasyon fonksiyonu ve ikinci derece düzen parametresini bulmuşlardır (Gwizdala ve ark., 2011).

Dong ve ark. (2012), nematik fazlardaki nematik ortalama alan etkileşimlerini sert çözücüler olarak kullanarak araştırmışlardır. İki bağımsız Maier-Saupe terimi tarafından modellenen nematik potansiyel, %39 ağırlıkta 4-n-pentil-siyano-bifenil (5CB) içeren α,ω -bis (4-siyano-bifenil) nonan (CBC9CB) içindeki her iki nematik fazdaki para-, meta- ve orto-diklorobenzen çözücülerinin dipol bağlanmalarını (moleküler düzen parametreleri) %5'ten daha iyi uyum sağladığını görmüşlerdir (Dong ve ark., 2012).

Ojha ve ark. (2013), propil (3CB), pentil (5CB) ve heptil (7CB) grupları ile homolog 4'-n-alkil-4-siyanobifenil (nCB) serilerindeki sıvı kristal malzemeler üzerine teorik bir çalışma sunmuşlar. Her atomik merkezdeki atomik net yük ve dipol moment bileşenleri, tam ihmal diferansiyel örtüşmesi (CNDO/2) yöntemini kullanılarak değerlendirmişlerdir. Uzun menzilli moleküller arası etkileşimleri değerlendirmek için çok merkezli-çok kutuplu genişleme yöntemiyle birlikte değiştirilmiş Rayleigh-Schrodinger pertürbasyon teorisi kullanılırken, kısa menzilli etkileşimler için bir '6-exp' potansiyel fonksiyonunu varsaymışlardır. Ayrıca, bu etkileşim enerji değerlerini, istifleme ve düzlem içi etkileşimler sırasında nCB (n=3, 5 ve 7) moleküllerinin öteleme entropisini ve serbest enerjisini hesaplamak için girdi olarak kullanmışlardır. Gözlemlenen sonuçlar, bu makalede tanıtılan termodinamik parametrelere dayalı olarak mezozenik davranış ve faz kararlılığı ile ilişkilendirmişlerdir. Ayrıca, moleküllerin faz geçiş özelliği ile doğrudan bir ilişkisi olan bir konfigürasyonun belirli bir sıcaklıktaki esnekliğini aydınlatmak için bir girişimde bulunmuşlardır (Ojha ve ark., 2013).

Upadhyay ve ark. (2015), elektrik alanının 4-siyano-4'-pentilbifenil ve azot türevleri 2-siyano-5-(4-pentilfenil) piridin, 2-(4-siyanofenil)-5-pentilpirimidin ve 5-siyano-2-(4-pentilfenil) pirimidin için moleküler polarize edilebilirlik ve HOMO-LUMO boşluğu üzerindeki etkisini yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) kullanılarak incelemişlerdir. Moleküllerdeki sübstituent varlığının polarize edilebilirlik ve HOMO-LUMO boşluğu üzerindeki etkisini, iki farklı DFT yaklaşımı B3LYP ve M062X'ten elde edilen sonuçları karşılaştırarak incelemişlerdir. Tüm moleküller için polarize edilebilirliğin elektrik alanındaki değişimle değişiminin, polarize edilebilirliğin iki elektrik alanı değeri arasında (veya bir elektrik alanı aralığı için) stabilize olması gibi ortak bir özellik gösterdiği gözlemlenmiştir. 4-siyano-4'-pentilbifenil diğer tüm

türevlere kıyasla daha fazla polarize olduğunu ve hepsi arasında en geniş kararlılık bölgesine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir (Upadhyay ve ark., 2015).

Okumuş ve ark. (2016), hidrojen bağlı sıvı kristal 4-heksilbenzoik asit (6BA) ve 4-heksil-4'-bifenilkarbonitril (6CB) mezojenlerinden oluşan ikili karışımların termal ve optik özelliklerini ortaya çıkarmışlardır. Faz geçiş sıcaklıklarını ve entalpi değerlerini, diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC) ile değerlendirip ve fazlar polarize optik mikroskopi (POM) ile gözlemlemişlerdir. Deneysel sonuçlar, 6BA/6CB ikili karışımlarının nematik ve smektik fazlar sergilediğini açıkça göstermişlerdir. En ilginç sonuç ise 6BA ve 6CB saf bileşenlerinde smektik faz görülmezken bazı ikili karışımlarında smektik fazı gözlemişlerdir. Faz pik sıcaklıkları, entalpi değişimleri ve termal açıklık gibi termal özelliklerin, ikili karışımların karışım oranına bağlı olarak etkilendiğini açıklamışlardır. Tek tek mezojene kıyasla ikili karışımında nematik aralığın arttığını ve ayrıca ısıtma hızı arttıkça faz geçiş sıcaklık değerleri ve nematik termal kararlılık faktörü arttığını açıklamışlardır. Ayrıca, hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri, karışımın faz geçişleri sırasında moleküllerin yeniden yönelmesinin düzenli bir şekilde gerçekleştiğini göstermişlerdir (Okumuş ve ark., 2016).

Niu ve ark.(2017), 4-siyano-4'-pentilbifenil (5CB), tescilli bir sol-elli kiral katkı maddesi ile katkılanmış Langmuir-Blodgett (LB) tek katmanlı filmleri, şablon olarak stearik asit (SA) kullanılarak hazırlamışlardır. Kiral nematik sıvı kristalin SA ile CdCl₂ arayüzeyindeki Langmuir izotermi incelemişlerdir. Yüzey basıncı eğrilerinde, gaz fazından sıvı faza geçişte keskin bir pik olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu fenomenin SA'dan sıvı kristallerin faz ayrımı olduğu düşünmüşlerdir. Kiral nematik sıvı kristal çok katmanlı LB filmleri ultraviyole-görünür spektroskopisi, X-ışını kırınımı ve atomik kuvvet mikroskobu ile karakterize etmişlerdir. Sonuçlar, kiral nematik sıvı kristallerin SA şablonunda homojen ve düzenli bir şekilde dağıldığını gözlemlemişlerdir (Niu ve ark., 2017).

Wang ve ark. (2018), bir sıvı kristal (LC) mikrodamlığa dayalı pH sensörü, 5CB'yi PBA ile dopederek geliştirmişlerdir. PH duyarlı LC mikrodamlığın ilk olarak penisilinazda enzimatik reaksiyonları izlemek için kullanılmasını amaçlamışlardır. Bir sıvı kristal (LC) mikrodamlığa dayalı pH sensörünü tanıtmışlar ve bu sensörün penisilinazdaki enzimatik reaksiyonları tespit etme uygulamasını keşfetmişlerdir. Fosfat tampon çözeltisi (PBS) içinde 4-cyano-4'-pentilbifenil (5CB) içeren nematic sıvı kristal mikrodamlıklar, bir enjeksiyon pompasına bağlı konik kapiller mikrotüp ile üretmişler ve 4'-pentil-bifenil-4-karboksilik asit (PBA) ile dope etmişlerdir (Wang ve ark., 2018).

Balečjková ve ark. (2020), 4-cyano-4'-hexylbiphenyl (6CB) sıvı kristalinin dış manyetik alan tepkisi, biyo-uyumlu magnetoferritin nanoparçacıkları eklenmesiyle arttığını görmüşlerdir. Magnetoferritin'in fizikokimyasal özellikleri, UV/VIS spektrofotometre ve dinamik ışık saçılma, zeta potansiyeli ve süperiletken kuantum karışım cihazı manyetometre ölçümleri ile karakterize etmişlerdir. 6CB sıvı kristali ile magnetoferritin arasındaki etkileşim kapasitans ölçümleri ile incelemişlerdir (Balečjková ve ark., 2020).

Oladepo, 2021 yılında yaptığı çalışmada, 4-Siyano-4'-pentilbifenil (5CB) ve 4-Siyano-4'-heksilbifenil'in (6CB) floresan emisyon özellikleri ve bunların sıcaklıkla değişimini incelemiştir. Bu iki termotropik sıvı kristalin sıcaklığa bağlı floresan emisyon spektrumları 4 ile 80 °C arasında ölçülmüş ve floresan yoğunlukları ile dalga boylarındaki değişimleri izlemiştir. Her iki sıvı kristalin floresan spektrumları, 380-386 nm ve 412 nm civarında merkezlenen yapısal olarak farklı iki eksimerin emisyonları ile karakterize edildiğini görmüştür. 5CB'nin kristalin-nematik faz geçişinin 22 °C olduğunu ve nematik-izotropik sıvı geçişinin 35,5 °C'de gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Öte yandan, 6CB'nin kristalin-nematik faz geçişi 16 °C'de gerçekleşirken, nematik-izotropik faz geçişi 29 °C'de gözlemiştir. Yığın LC'lerde gözlenen sıcaklığa bağlı dramatik faz değişiklikleri 6CB çözeltisinde tamamen olmadığını gözlemlemiştir. Gözlenen sıcaklığa bağlı spektral evrimler, iki sıvı kristalin farklı mezofazlarında var olan olası eksimer konformasyonların yanı sıra faz geçişleri sırasında eksimer davranışına katkıda bulunabilecek iki benzen halkası arasındaki açıda değişim bağlamında olduğunu tartışmıştır (Oladepo, 2021).

Kim ve ark. (2022), 4-siyano-4'-bifenilkarboksilatın (CB) pH'a bağlı absorpsiyonu ve desorpsiyonu ile UV ile muamele edilmiş 4-siyano-4'-pentilbifenilin (5CB) yönelim değişikliğine dayandığını gözlemlemiştir. pH seviyeleri arttığında, UV ile muamele edilmiş 5CB'nin optik görüntüsü, arayüzeyde kendiliğinden bir araya gelen CB nedeniyle karanlık görmüşlerdir. pH seviyeleri düştüğünde, CB'nin arayüzeyden sulu faza desorpsiyonu nedeniyle optik görüntüyü parlak görmüşlerdir. Ksantin oksidaz (XO), ksantin (Xn) bozunma reaksiyonunu katalize ederek ürik asit ve hidrojen peroksit oluşturduğunu görmüşlerdir. Bu asidik ürünler pH seviyelerinin düşmesine ve 5CB'nin eğimli düzenine katkıda bulunduğunu anlamışlardır. Xn konsantrasyonu arttıkça homeotropikten eğik yöneline geçiş, polarize mikroskop altında karanlıktan parlak görüntülere geçiş olarak görmüşlerdir (Kim ve ark., 2022).

Devadiga ve ark. (2022), termotropik sıvı kristal (LC) olan 4-Cyano-4'-alkylbiphenyl (nCB), karmaşık olmayan sentez yöntemleri ve yüksek optik çift kırıcılıkları sayesinde, bu molekülleri optik cihazlarda dikkat çekici ve verimli kullanımlarıyla çok iyi karakterize etmişlerdir. Bu derlemeyle, çeşitli nCB malzemelerinin moleküler yapısı, sentezi, kristal verileri ve LC özelliklerinin üzerinde durmuşlardır. Ayrıca, sensörler, akıllı pencereler, sıvı kristal lensler, PV hücreleri, süper kapasitörler ve ilaç dağıtım alanlarındaki en son uygulamaları, normal ekran uygulamalarının ötesinde ayrıntılı olarak ele almışlardır. Bu derlemenin, araştırmacıları LC moleküllerinin çeşitli uygulamaları hakkında daha fazla araştırma yapmaya teşvik edeceğini düşünmüşlerdir (Devadiga ve ark, 2022).

Korkmaz, 2022 yılında yaptığı çalışmada, hem hidrojen bağ verici hem de alıcı özelliklere sahip yeni bir karbamat molekülünü üretmiştir. Elde edilen bu bileşik ile önceki çalışmalarda özellikleri araştırmıştır. POM ve DSC ile gözlemlenen mesomorfik özelliklerdeki değişim hesaplamalı metotlarla da kanıtlamıştır. Hidrojen bağının etkisini anlamak için, soğutma sırasında hem nematik hem de smektik fazlar sergileyen yeni hidrojen bağlı sıvı kristal kompleks üzerinde deneysel çalışma yanında teorik bir çalışma da yapmıştır. Kompleks, FTIR tekniği ile karakterize edilmiş ve sıvı kristal özellikleri, DSC ve POM ile araştırmıştır (Korkmaz, 2022).

Kyrou ve ark. (2023), 4-siyano-4'-oktilbifenilin (8CB) faz davranışı ve düzeni üzerindeki etkisini, polarize optik mikroskopi, polarize mikro-Raman spektroskopisi ve X-ışını saçılma yöntemleri yoluyla araştırmışlardır. Nano kompozit sistemin yönlendirme düzeni, kuantum noktalarının sıcaklık ve kütle fraksiyonu açısından birefringans ölçümleri ile incelemişlerdir. Nematik fazın paranematik hale geldiği kritik bir katkı madde kütle fraksiyonunu gözlemlemişlerdir. Fenomenolojik bir model, faz ayrılma etkilerini ve deneysel sonuçların kalitatif bir yorumunu açıklamışlardır. Nanoparçacıkların makroskobik nematik düzen üzerindeki etkisi, rasgele anizotropi Lebwohl-Lasher modeli bağlamında tartışmışlardır (Kyrou ve ark., 2023).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

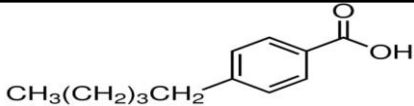
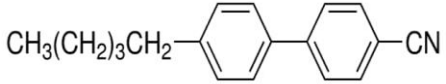
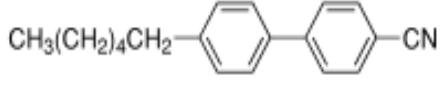
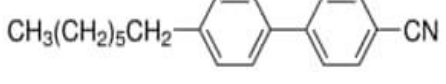
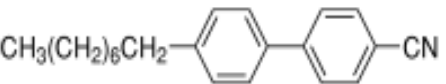
3.1. Malzemeler

Bu tez çalışmasında kullanılan sıvı kristaller Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır. Bu sıvı kristaller:

- 1) 4-pentyl benzoik asit (5BA)
- 2) 4-pentyl-4'-siyanobifenil (5CB)
- 3) 4-hekzil-4'-siyanobifenil (6CB)
- 4) 4-heptyl-4'-siyanobifenil (7CB)
- 5) 4-octyl-4'-siyanobifenil (8CB)

Olmak üzere 2 farklı sıvı kristal grubundan oluşmaktadır. Bunlar nCB ve nBA (n zincirdeki karbon sayısı). Bu sıvı kristallerin saflık oranı (%99.5) olduğundan dolayı extra saflaştırma işlemi yapılmamıştır. Bu saf sıvı kristallerin kimyasal formülleri Çizelge 3.1 'deki gibidir.

Çizelge 3.1. Sıvı kristallerin kimyasal yapıları ve formülleri

Sıvı Kristal	Lineer Formül	Kimyasal Yapı
5BA	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{C}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$	
5CB	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{C}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_4\text{CN}$	
6CB	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{C}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_4\text{CN}$	
7CB	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{C}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_4\text{CN}$	
8CB	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{C}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_4\text{CN}$	

Bu çalışmada kullanılacak sıvı kristal karışımların numunelerini elde etmek için saf maddeleri eşit kütlede duyarlılığı yüksek terazi ile tartıp homojen olacak şekilde

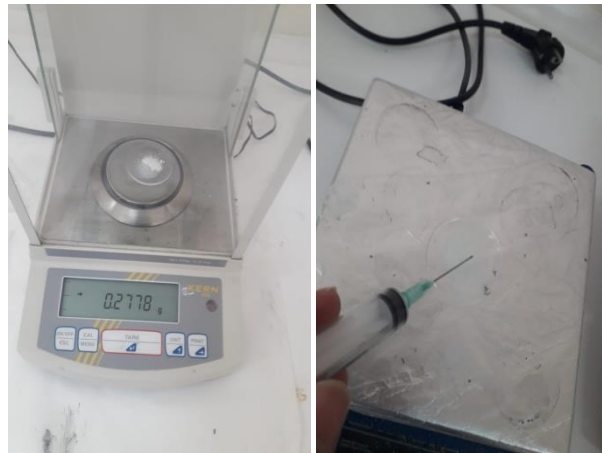
karıştırılıp sentezlenmiştir. Deneyde kullanılan materyaller ve sentezlenen karışımlar Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneyde kullanılan materyaller ve sentezlenen karışımlar

No	Numuneler	Karıştırma oranı
1	5BA/5CB	%50 + %50(Ağırlıkça)
2	5BA/6CB	%50 + %50(Ağırlıkça)
3	5BA/7CB	%50 + %50(Ağırlıkça)
4	5BA/8CB	%50 + %50(Ağırlıkça)

3.2. Karışımların Hazırlanması

Bu çalışmada karışımlar oluşturulurken Çizelge 3.2’de belirlenen kütle oranlarında hassas terazi ile ölçüm yapılarak ikili sıvı kristaller sentezlenmiştir. Elde edilen karışımlar sırasıyla cam tabla üzerinde şırınga iğnesinin ucu yardımıyla kristal fazdan sıvı faza geçene kadar ısıtılarak karıştırılmıştır. Elde edilen numune sıvı fazda homojen olması için bir süre daha karıştırıldıktan sonra soğumaya bırakılmış katılaşana kadar beklenmiştir. Katı faz oluştuğundan sonra şırınga iğnesinin ucu yardımıyla tekrar karıştırılarak berraklaşana kadar ısıtılmış ve tamamen sıvılaştıktan sonra katılaşması için soğumaya bırakılmıştır. Elde edilen numuneler tabla üzerinden deney kaşığı ile hassas bir şekilde tüplere konulmuştur. Tüm bu aşamalar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Karışımların hazırlanması

3.3. Deneyde Kullanılan Cihazlar

3.3.1. Polarize Optik Mikroskobu (POM)

Sıvı kristaller, uzun düzenli moleküler yapıları nedeniyle benzersiz optik ve fiziksel özelliklere sahip olan önemli malzemelerdir. Bu tür malzemelerin yapısal ve faz karakterizasyonu, sıvı kristallerin temel özelliklerini anlamak ve uygulamalarda etkin bir şekilde kullanmak için hayati öneme sahiptir. Polarize optik mikroskopisi (POM), sıvı kristallerin bu özelliklerini incelerken yaygın olarak kullanılan güçlü bir karakterizasyon yöntemidir. Polarize optik mikroskobu (POM), düzenli moleküler yapıya sahip sıvı kristallerin incelenmesinde oldukça etkili bir araştırma tekniğidir. Bu yöntemde, optik mikroskobun alt ve üst polarizasyon filtreleri arasına yerleştirilmiş sıvı kristal örneği, polarize ışık altında gözlemlenir. Sıvı kristal örneği, moleküllerinin düzenine bağlı olarak polarize ışığın geçişini değiştirir ve bu değişiklikler mikroskop altında gözlemlenebilir (Schadt, 1994).

Sıvı kristallerde POM çalışmaları için, öncelikle bir sıvı kristal örneği, özel ince bir numune hücresine yerleştirilir. Numune hücresi, sıvı kristalin optik mikroskop altında incelenmesini sağlar ve örneğin sıcaklık, basınç veya elektrik alanı altında nasıl davrandığını incelemek için uygun koşullar sağlar. Sıvı kristal numune, mikroskop altında beyaz ışık veya monokromatik ışık kullanılarak aydınlatılır. Polarizasyon filtreleri, ışığın polarizasyonunu kontrol eder. Numunenin optik eksenleriyle hizalanmış polarizasyon filtreleri, sıvı kristal yapısının altında yatan düzeni ve fazları açığa çıkarır. Sıvı kristallerde POM çalışmalarından elde edilen sonuçlar, sıvı kristal örneğinin moleküler düzenini, fazlarını ve davranışını anlamak için kullanılır. Numune altında görülen farklı renkli desenler, sıvı kristal örneğinin farklı fazlarını temsil edebilir. Optik mikroskobun alt ve üst polarizasyon filtreleri arasında dönüşüm gözleniyorsa, sıvı kristal örneğinin polarizasyonu değiştiren bir etkisi olduğu düşünülebilir. POM, ayrıca sıvı kristal örneklerinin dinamik davranışlarını da incelemek için kullanılabilir. Örneğin, sıvı kristalin sıcaklık veya dış etkilere nasıl tepki verdiği, POM aracılığıyla izlenebilir ve anlaşılabilir. Sıvı kristallerin yapısı ve davranışlarının karakterizasyonu, bu malzemelerin çeşitli uygulamalardaki performanslarını anlamak ve geliştirmek için hayati önem taşır. Polarize optik mikroskopisi (POM), sıvı kristallerin yapısını ve fazlarını incelemek için güçlü bir araştırma tekniğidir (Schadt, 1997).

Elde edilen sıvı kristal karışımların analizlerini yapmak için Şekil 3.2’de görüldüğü gibi Batman Üniversitesi JeolojiMühendisliği Bölümünde bulunan Leica marka Polarize Optik Mikroskop ile çalışılmıştır.



Şekil 3.2. Leica marka polarize optik mikroskobu (POM)

3.3.2. X-Işını Difraktometresi (Kırınımı) (XRD)

Sıvı kristaller, düzenli bir şekilde dizilmiş moleküllerden oluşan özgün malzemelerdir ve hem sıvı hem de katıların özelliklerini taşır. Bu moleküler düzen, X-ışını kırınımı (XRD) gibi tekniklerle incelenebilir. XRD, kristal yapıların belirlenmesi ve moleküler düzenin anlaşılmasında yaygın olarak kullanılan güçlü bir analiz yöntemidir. XRD, kristal yapıların tanımlanmasını sağlamak için X-ışınlarının kristallerden kırılma desenlerini analiz ettiği bir tekniktir. Sıvı kristallerin XRD analizi, sıvı kristal fazlarının, moleküler düzenlerin ve yapıların karakterizasyonu için önemlidir.

XRD metodu, bir kristal düzleminin birim hücre boyutlarıyla birlikte kristalin atom düzlemleri arasındaki mesafeyi belirleyebilen bir metottur. X-ışınının içinden geçtiği madde elektronları arasındaki etkileşme sonucunda saçılma oluşur. Eğer X-ışınları bir kristaldeki düzenli ortam tarafından saçılırsa, saçılmayı yapan merkezler arasındaki uzaklık X-ışınının dalga boyu ile aynı dereceden olduğu için saçılan ışınlar

olumlu ya da olumsuz girişim yaparlar. Bu durumda kırınım meydana gelir (Kırmızıgül, 2008).

Sıvı kristal molekülleri, belirli bir düzen içinde hizalanır. XRD analizi, moleküler düzenin türünü, yönelimini ve uzamsal düzenini belirlemekte yardımcı olabilir. Bu bilgi, sıvı kristallerin özelliklerini ve davranışlarını anlamamıza katkı sağlar. XRD analizi, sıvı kristallerin farklı bileşenlerinin ve kimyasal yapıların birleştirilmesiyle oluşan yeni malzemelerin karakterizasyonunda da kullanılabilir. Bu, sıvı kristal karışımlarının veya yeni moleküler yapıların geliştirilmesinde rehberlik edebilir.

XRD, sıvı kristallerin moleküler düzeni, faz geçişleri ve yapısal özellikleri hakkında derinlemesine bilgi sağlayan güçlü bir analiz yöntemidir. Sıvı kristal alanında XRD'nin kullanımı, malzeme biliminde ve uygulamalarda önemli bilgilerin elde edilmesini sağlar. Bu analiz tekniği, sıvı kristallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini anlamak, yeni malzemeler geliştirmek ve uygulama alanlarını genişletmek için vazgeçilmez bir araçtır. Gelecekte, daha gelişmiş XRD teknikleri ve sıvı kristallerin daha derinlemesine analizi, bu alanda daha fazla keşif ve anlayışa yol açabilir (Valisko, 2004).

Bu çalışmada elde edilen sıvı kristal karışımların XRD analizleri Batman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Rigaku marka XRD cihazı (Şekil 3.3) ile gerçekleştirilmiştir.

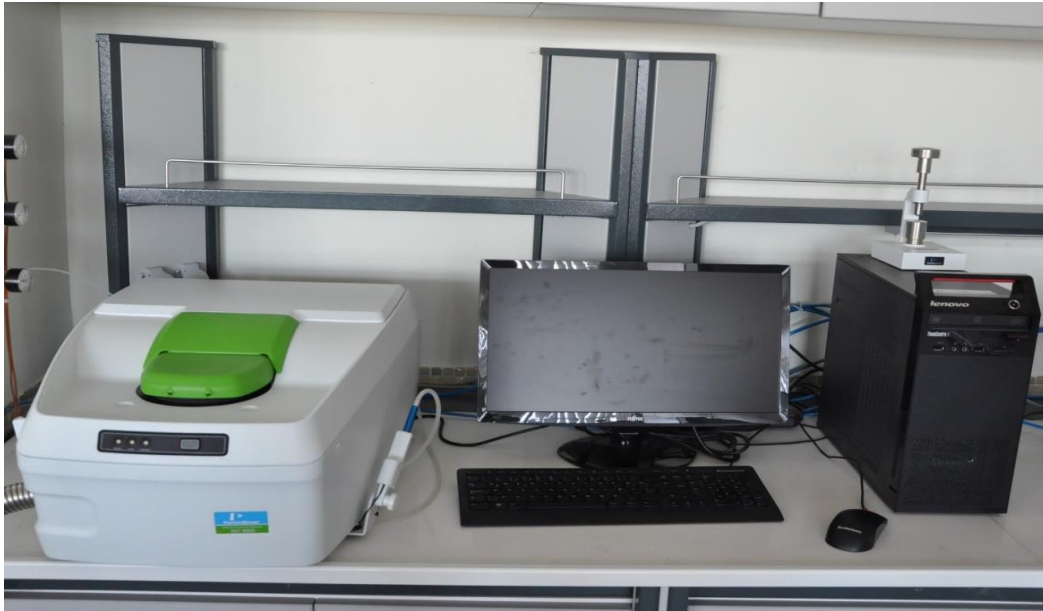


Şekil 3.3. X-Işını Difraktometresi (Kırınımı) (XRD) cihazı

3.3.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), malzemelerin termal davranışlarını incelemek için yaygın olarak kullanılan güçlü bir analitik tekniktir. DSC cihazları, numunelerin ısıtılması veya soğutulması sırasında, numune ve referans arasındaki sıcaklık farkını ölçerek ısı değişimlerini belirler. DSC cihazı, numune ve referans olmak üzere iki farklı hücreden oluşur. Hem numune hücresi hem de referans hücresi, aynı ısıtma veya soğutma programı boyunca eşit oranda ısıtılır veya soğutulur. Numune hücresine konulan malzeme, fiziksel veya kimyasal bir süreçle (erime, kristalleşme, polimerizasyon, kimyasal reaksiyon vb.) değişime uğradığında, bu değişim ısı farkı olarak kaydedilir. DSC cihazında, numune ve referans hücreleri arasındaki sıcaklık farkı dengelenir ve bu fark, numunenin ısıtılmasında meydana gelen termal enerji değişikliklerini belirler. DSC'nin temel çalışma prensibi, numune ve referans arasındaki ısı akışının dengelenmesine dayalıdır. Numune ve referans hücrelerinin sıcaklıkları sürekli olarak ölçülür ve bu veriler analiz yazılımı tarafından grafiksel olarak ifade edilir (Shin, 1992).

Bu tez çalışmasında elde edilen sıvı kristal karışımların termal özellikleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Kimya bölümünde bulunan Perkin Elmer DSC 8000 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (Şekil 3.4) ile incelenmiştir.



Şekil 3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı (url**)

3.3.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi (FTIR)

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi cihazı, matematiksel Fourier dönüşümü ile ışığın kızılötesi yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen analitik bir araçtır. Elektromanyetik ışık dizisinin kızılötesi bölgesi 14.000 cm^{-1} ile 40 cm^{-1} arasındadır ve yakın, orta ve uzak infrared bölge olmak üzere 3'e ayrılır. Yakın dalga boylu kızılötesi N-IR; 14.000 cm^{-1} ile 4.000 cm^{-1} , orta dalga boylu kızılötesi M-IR; 400 cm^{-1} ile 4.000 cm^{-1} ve uzak dalga boylu kızılötesi F-IR; 40 cm^{-1} ile 400 cm^{-1} arasındadır (Skoog, 1998).



Şekil 3.5. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi (FTIR) cihazı

Sıvı kristaller, sıradan sıvılar ile kristaller arasında bir geçiş formu oluşturan özel bir madde sınıfıdır. Moleküler yapısındaki düzenlemeler nedeniyle, sıvı kristallerin anizotropik özellikleri vardır, yani farklı yönlerde farklı özelliklere sahiptirler. Bu özellikler, sıvı kristallerin geniş bir yelpazede uygulamaya sahip olmalarını sağlar, örneğin, düz panel ekranlar, optik sensörler ve lazer teknolojileri gibi alanlarda kullanılırlar. FTIR spektroskopisi, bir maddenin moleküler yapılarını analiz etmek için kullanılan güçlü bir analitik tekniktir. Bu teknik, bir maddenin kızılötesi bölgedeki emilim ve yayılım spektrumunu ölçerek farklı bağ ve fonksiyonel grupların varlığını belirleyebilir. Sıvı kristallerin düzenli moleküler yapıları, FTIR ile incelenebilecekleri anlamına gelir ve bu da sıvı kristallerdeki moleküler düzenlemelerin anlaşılmasını

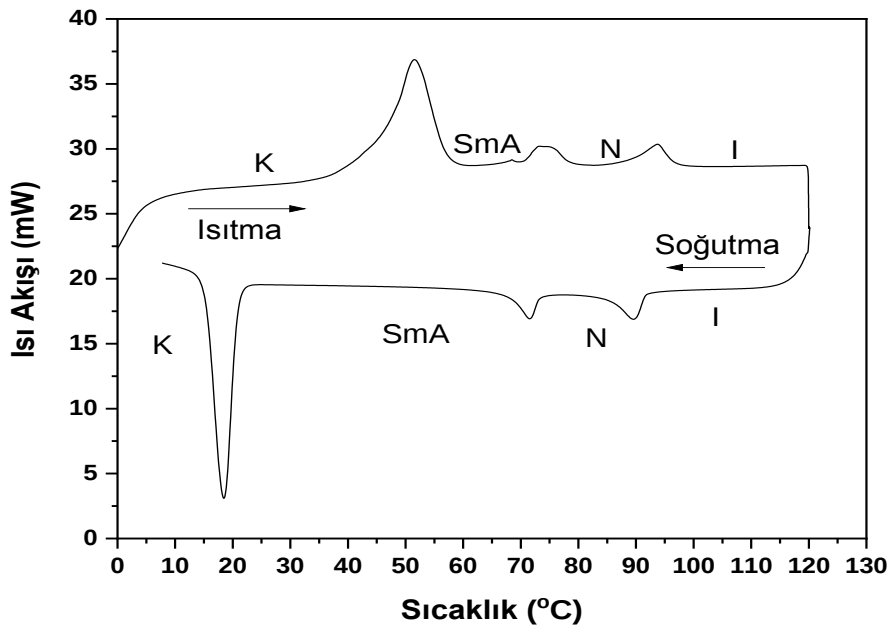
sağlar. FTIR spektroskopisinin sıvı kristallerin analizindeki ana avantajı, moleküler düzenin belirlenmesine olanak sağlamasıdır. Sıvı kristallerin molekülleri, genellikle belirli bir şekilde hizalanmıştır ve çeşitli düzenler sergilerler. Bu düzenler, sıvı kristalin optik ve fiziksel özelliklerini etkiler. FTIR spektroskopisi, farklı düzenlerin farklı kızılötesi spektrumlarını ürettiği için bu düzenleri belirlemenin bir yolunu sağlar. Bir FTIR cihazı, sıvı kristal numunesinin incelenen dalga boyunda kızılötesi ışınımına maruz bırakılarak çalışır. Numune, spektrometre tarafından alınan bir kızılötesi ışık demeti ile aydınlatılır. Numunenin emilim ve yayılım spektrumu, farklı bağların titreşim frekanslarına karşılık gelen piklerle ifade edilir. Bu pikler, numunenin moleküler bileşimine ve düzenine dair bilgiler içerir. FTIR spektroskopisinin sıvı kristaller üzerindeki uygulamaları oldukça geniştir. Bu teknik, sıvı kristallerin faz geçişlerini incelemek, sıvı kristal yapılarıdaki moleküler düzenlemeleri belirlemek ve farklı sıvı kristal türlerini ayırt etmek için kullanılır. Ayrıca, sıvı kristallerin hizalanma ve düzenlenme süreçlerini izlemek ve sıvı kristal tabakaların kalitesini değerlendirmek için de kullanılabilir (Nishiyama, 2004).

Bu tez çalışmasında elde edilen sıvı kristal karışımların FTIR analizleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM laboratuvarında Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi (FTIR) cihazı (Şekil 3. 5) ile yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. 5BA/5CB Sıvı Kristal Karışımının Termal ve Optiksel Analizleri

Şekil 4.1, 5BA ile 5CB kimyasallarının eşit kütle oranlarında (% wt) karıştırılması ile üretilen 5BA/5CB sıvı kristal karışımının DSC ile sürekli ısıtma ve soğutma esnasında elde edilen DSC eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü sıvı kristal karışım numunesi 0 °C sıcaklığından 120 °C sıcaklığına kadar sürekli ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve izotropik denge sağlandıktan sonra 120 °C sıcaklıktan 5 °C’ye kadar sürekli soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Isıtma ve soğutma işlemi sırasında sıcaklık değişim hızı 10 °C/dak olarak uygulanmıştır. Devamlı ısıtma sırasında faz dönüşümünü ifade eden üç tane endotermik reaksiyon piki gözlenirken sürekli soğutma esnasında faz dönüşümünü ifade eden üç tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi ısıtılması sırasında oluşan faz dönüşüm sırası Kristal (K)-Smektik A (SmA)-Nematik (N)-İzotropik (I) şeklinde olup, soğutma esnasında ise İzotropik (I)-Nematik (N)-Smektik A (SmA)-Kristal (K) şeklinde olmuştur. Bu durum devamlı ısıtma esnasında oluşan faz dönüşümlerin sürekli soğutma esnasında aynı fazlara geri dönüşümün olduğunu göstermektedir ki bu özellik sıvı kristal malzemelerde beklenen bir özelliktir.



Şekil 4.1. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının ısıtma ve soğutma ile elde edilen DSC grafiği

Devamlı ısıtma ve soğutma esnasında oluşan faz dönüşümlerinin pik sıcaklık değerleri Kristal-Smektik A (T_{KA}), Smektik A-Nematik (T_{AN}), Nematik-İzotropik (T_{NI}) değerleri ve pik entalpi değişimleri Kristal-Smektik A (ΔH_{KA}), Smektik A-Nematik (ΔH_{AN}), Nematik-İzotropik (ΔH_{NI}) değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları literatürdeki çalışmalarla benzer sonuçlar vermiştir (Okumuş ve ark., 2016).

Çizelge 4.1. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının faz geçiş sıcaklık (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri

Sıvı Kristal	Teknik	$T_{KA}(^{\circ}C)$	$\Delta H_{KA}(J/g)$	$T_{AN}(^{\circ}C)$	$\Delta H_{AN}(J/g)$	$T_{NI}(^{\circ}C)$	$\Delta H_{NI}(J/g)$	Mezofaz Alanı($^{\circ}C$)
5BA/5CB	Isıtma	51,56	419,73	74,70	38,36	93,70	28,64	42,14
	Soğutma	18,46	-408,02	71,60	-28,95	89,60	-34,84	71,14

Şekil 4.1 ve Çizelge 4. 1’ de görüldüğü gibi 5BA/5CB sıvı kristal karışımının ısıtma esnasında ölçülen faz geçiş sıcaklık (T) değerleri soğutma esnasında ölçülen faz geçiş sıcaklık (T) değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca 5BA/5CB sıvı kristal karışımının mezofaz termal sıcaklık alanı da hesaplanarak Çizelge 4.1’de verilmiştir. Mezofaz termal sıcaklık alanı (Mezofaz Alanı = $T_{NI} - T_{KA}$) sürekli ısıtma sırasında gözlenen nematik-izotropik geçiş sıcaklığından kristal-smektik A geçiş sıcaklığının çıkarılması ile elde edildi. Çizelge 4.1’de hesaplanan verilere göre 5BA/5CB sıvı kristal karışımının soğutma sırasında gözlenen mezofaz alanı sürekli ısıtma esnasında gözlenen mezofaz alanından daha büyüktür. Sürekli ısıtma esnasında gözlenen faz dönüşüm pikleri için hesaplanan entalpi değişim (ΔH) değerleri, bu değerler pik alanından hesaplanır, soğutma sırasında gözlenen faz dönüşüm pikleri için hesaplanan entalpi değişim (ΔH) değerlerinden genellikle daha büyük olduğu görülmektedir.

Üretilen sıvı kristal karışımın mezofazlarının kinetik özelliklerini tespit etmek için mezofazların termal stabilite faktörü (TSF_x) ve faz geçiş entropi (ΔS) değerleri hesaplandı. Termal stabilite ve faz geçiş entropi hesaplamaları için sırasıyla aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$TSF_x = T_{mid} \cdot \Delta T_x \quad (3.1)$$

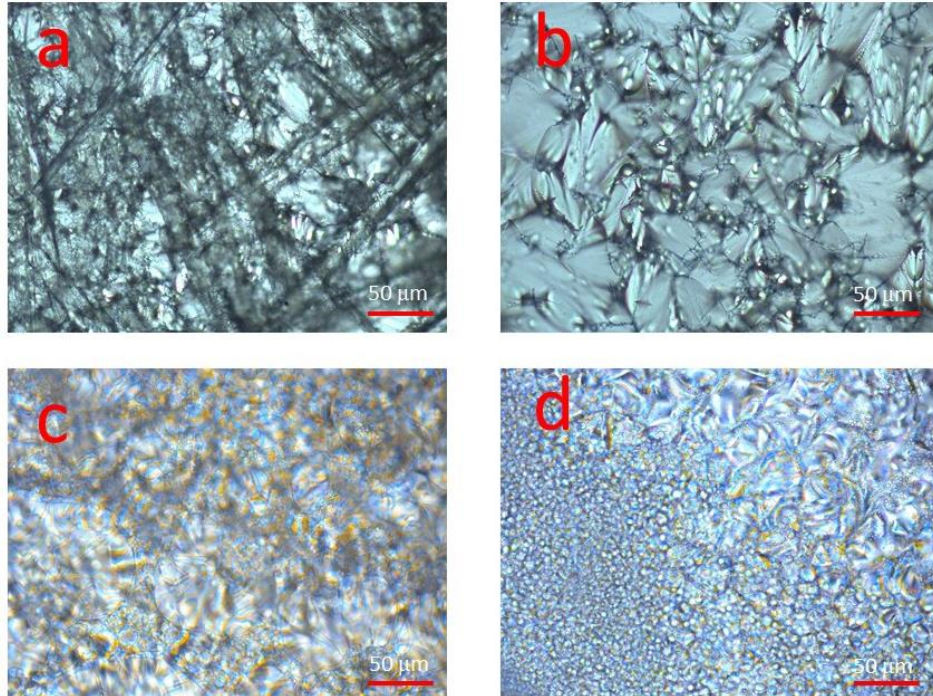
$$\Delta H = T \cdot \Delta S \quad (3.2)$$

Burada; T_{mid} ilgili fazın sıcaklık alanının orta sıcaklık derecesini, ΔT_x ilgili fazın sıcaklık alanını, ΔH ilgili faz dönüşümün entalpi değişimini ve T faz geçiş sıcaklığını ifade etmektedir. Termal stabilite ve faz geçiş entropi hesaplamaları için Çizelge 4.1’de verilen değerler denklem (3.1) ve (3.2)’de yerlerine konularak hesaplandı ve elde edilen değerler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesinde hem ısıtma durumunda hem de soğutma durumunda nematik-izotropik faz geçişlerinin düşük entropi değişim değerleri ile zayıf 1. düzende gerçekleştiği bulunmuştur. Kristal-Smektik A faz geçişi ise ısıtma ve soğutma durumunda 1. düzende gerçekleştiği anlaşılmıştır. Hesaplanan termal stabilite değerlerine göre 5BA/5CB sıvı kristal karışımı için ısıtma durumunda nematik fazın smektik A fazından daha kararlı, soğutma durumunda ise smektik A fazının nematik fazdan daha kararlı olduğu görülmektedir. 5BA/5CB sıvı kristal karışım karışımında maksimum termal stabilite faktörü değeri 2393 ile sürekli soğutma sırasında ölçülmüştür. Bu durumun sebebi Şekil 4.1’de görüldüğü gibi soğutma sırasında Smektik A fazının termal alanın diğer fazların termal alanına göre daha büyük olmasındandır.

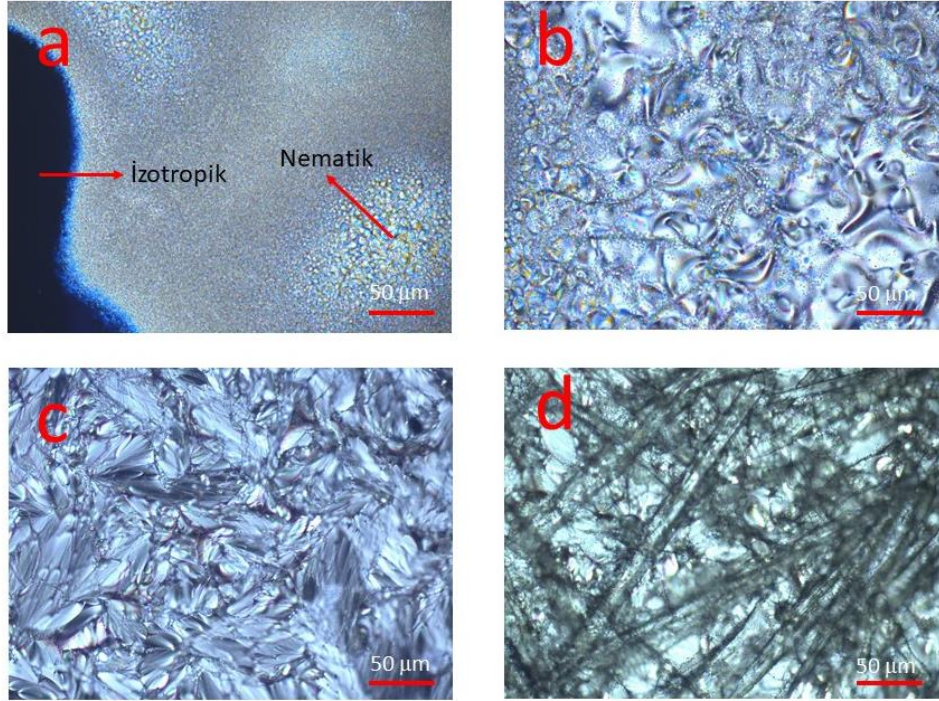
Çizelge 4.2. 5BA/5CB sıvı kristal karışımı için termal stabilite faktörü (TSF_x) ve faz geçiş entropi değişim (ΔS) değerleri

Sıvı kristal karışım	Faz geçişi	Termal stabilite, TSF_x	Entropi, ΔS (J/g/K)	Geçiş düzeni
5BA/5CB-Isıtma	K-SmA	-	1,293	1.düzen
	SmA-N	1461	0,110	1. düzen
	N-I	1600	0,078	Zayıf 1. düzen
5BA/5CB-Soğutma	K-SmA	-	1,399	1. düzen
	SmA-N	2393	0,084	Zayıf 1. düzen
	N-I	1451	0,096	Zayıf 1. düzen

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/5CB sıvı kristal karışımının ısıtılması ve soğutulması sırasında ortaya çıkan fazların morfolojik tekstür yapılarını incelemek ve faz adlandırmasını belirlemek için sıvı kristal karışım numuneleri polarize optik mikroskop (POM) ile incelendi. Karışım numunelerinde gözlenen fazlar DSC ve POM sonuçlarının literatür sonuçları ile karşılaştırılması sonucu adlandırılmıştır. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının ısıtılması ve soğutulması sırasında gözlenen fazlar Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görüldüğü gibi 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesi sürekli ısıtma ve soğutma esnasında sıvı kristal mezojenik fazları göstermiştir. Şekil 4.2a karışım numunesinin devamlı ısıtma sırasında 30 °C sıcaklıkta görülen kristal fazını göstermektedir. Şekil 4.2b karışım numunesinin devamlı ısıtma sırasında 65°C sıcaklıkta görülen ve smektik A fazını işaret eden fokal konik fan şekilli tekstür yapıyı işaret etmektedir. Şekil 4.2c 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesinin sürekli ısıtılması esnasında 65 °C sıcaklıkta görülen nematik faz tekstür yapısını göstermektedir. 5BA/5CB karışım numunesi nematik fazdan itibaren sürekli ısıtma işlemine tabi tutulduğunda, 95 °C sıcaklıkta gözlenen ve nematik-izotropik geçişi gösteren tekstür yapısı Şekil 4.2d'de görülmektedir.



Şekil 4.2. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının devamlı ısıtma sırasında gözlenen POM görüntüleri; a) Kristal, b) Smektik A, c) Nematik, d) Nematik-İzotropik

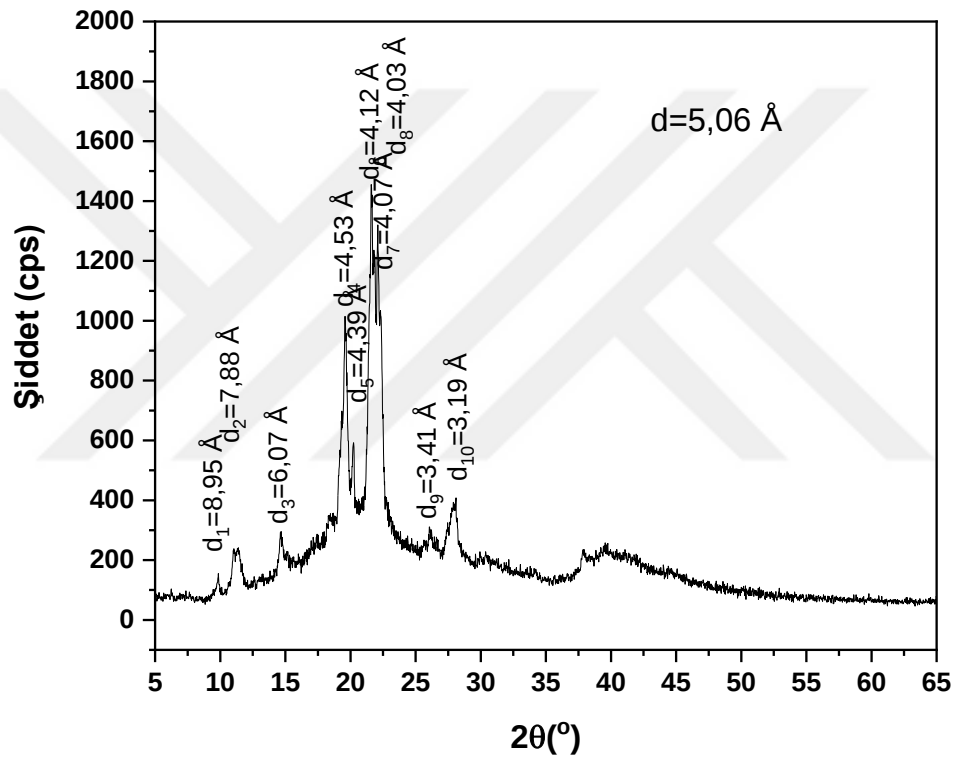


Şekil 4.3. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının devamlı soğutma sırasında gözlenen POM görüntüleri;
a) İzotropik-Nematik, b) Nematik, c) Smektik A, d) Kristal

Şekil 4.3 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunelerinin devamlı soğutma sırasında farklı sıcaklıklarda POM ile elde edilen faz tekstürlerini göstermektedir. Şekil 4.3a'da 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 90 °C sıcaklıkta gözlenen izotropik-nematik geçişine ait tekstürel yapı görülmektedir. Şekil 4.3b'de 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 80 °C sıcaklıkta gözlenen nematiktekstür yapı görülmektedir. Şekil 4.3c'de 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesinde devamlı soğutma sırasında 50 °C sıcaklıkta görülen smektik A yapıyı işaret eden fokal konik fan tekstürel yapı görülmektedir. Şekil 4.3d'de 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesinde devamlı soğutma sırasında 10 °C sıcaklıkta gözlenen kristal yapı görülmektedir. Yapılan çalışma daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Okumuş, 2012).

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/5CB sıvı kristal karışımın oda sıcaklığında kristal yapısını araştırmak için X-ışını difraktometre (XRD) ile analizler yapılmıştır. 5BA/5CB sıvı kristal karışımın XRD analiz sonucu Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi XRD sonuçları kristal yapıyı işaret eden Bragg kırınım pikleri göstermiştir. Bu kırınım pikleri 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesinin oda sıcaklığında (yaklaşık 25 °C) kristal yapıda olduğunu göstermektedir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi $2\theta=21,6^\circ$ 'de gözlenen kırınım pikinin d mesafe değeri 4.12 Å

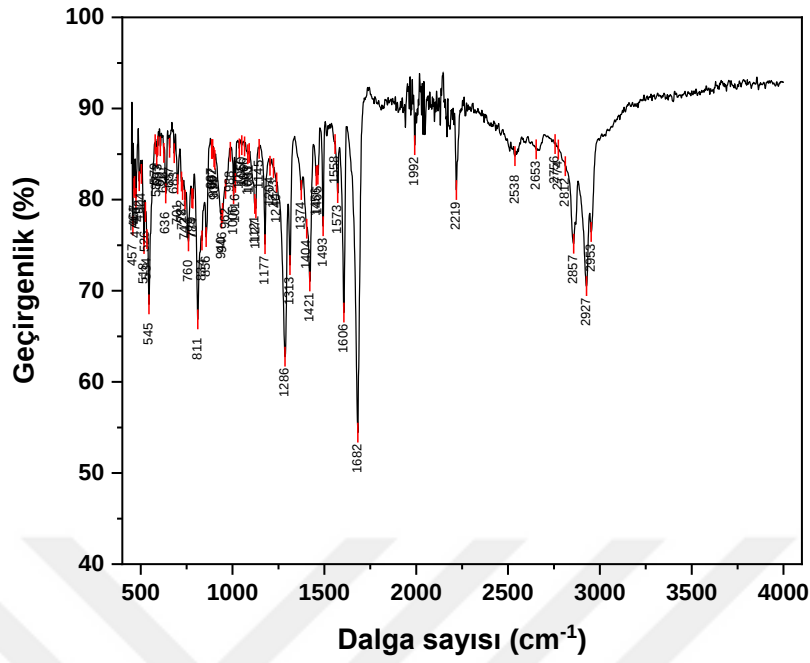
olarak ölçülmüştür. Kırınım piklerinin d değerlerinin ortalaması alınarak 5BA/5CB sıvı kristal karışımın kristal durumunda ortaya çıkan moleküler dizilimde bazal mesafe değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Şekil 4.4'te görüldüğü gibi moleküler dizilimde bazal mesafe değerinin $d=5,06 \text{ Å}$ olduğu bulunmuştur. Ayrıca XRD analizlerinin literatür çalışmalarında rapor edilenlere göre değerlendirilmesi yapıldığında 5BA/5CB sıvı kristal karışım kompleksinin kristal yapısının monoklinik yapıda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen veriler Sundaram ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmayla benzerlik göstermiştir.



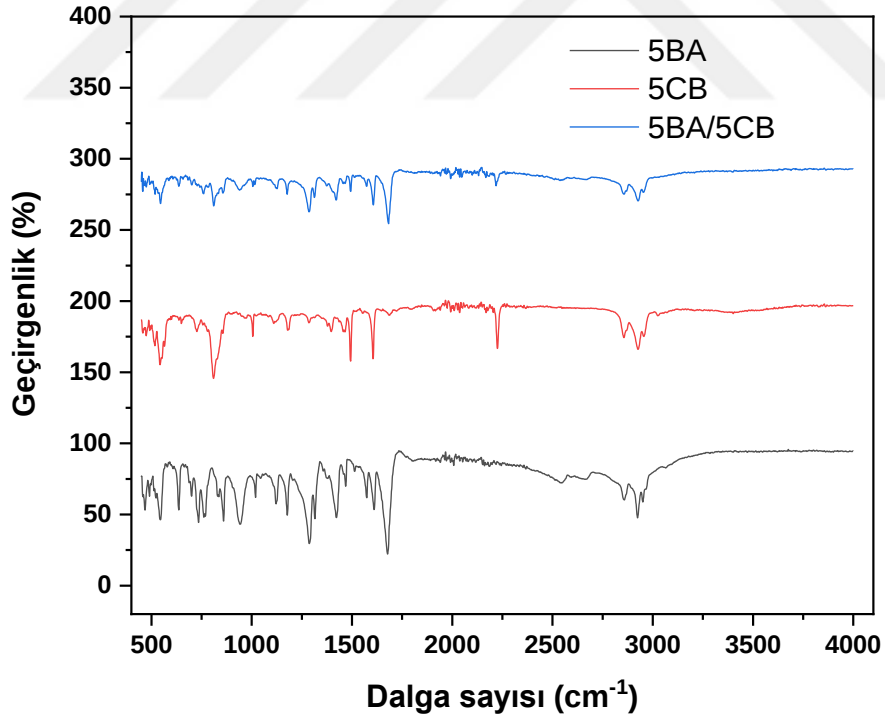
Şekil 4.4. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının XRD analiz sonuçları

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/5CB sıvı kristal karışımın kimyasal bağ yapılarını ve karışımı oluşturan saf bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluşarak yeni bir kompleksleşmenin oluşup oluşmadığını araştırmak için Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ile analizler yapılmıştır. FTIR analizleri referans olarak potasyum bromür (KBr) ile $\sim 25 \text{ °C}$ ortam sıcaklığında katı halde gerçekleştirildi. Sıvı kristal mezojenik 5BA ve 5CB sıvı kristallerinin karıştırılması ile üretilen 5BA/5CB karışımın FTIR analiz sonucu Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, 5BA/5CB karışım kompleksinin FTIR

spektrumları, $\nu(\text{C}=\text{O})$ gerilmesi, O-H gerilmesi, C-O gerilmesi ve N-H gerilmesi gibi moleküller arası ve moleküller arası bağları ifade eden oldukça fazla absorpsiyon bandı pikleri göstermektedir. 1286 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C-O gerilme titreşimine, 1313 cm^{-1} 'de gözlenen pik C-C gerilme titreşimine, 1606 cm^{-1} 'de gözlenen pik C=C gerilme titreşimine, 1682 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C=O gerilme titreşimine, 2857 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C-H gerilme titreşimine ve 2927 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik O-H gerilme titreşimine işaret etmektedir. 1421 cm^{-1} 'de ortaya çıkan soğurma band piki, C-O gerilme titreşimleriyle birleştirilmiş O-H düzlem içi bükülmeye atfedilir. Ayrıca 5BA/5CB sıvı kristal karışımı oluşturan 5BA ve 5CB sıvı kristallerine ait FTIR spektrumları Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi 5BA ve 5CB bileşenlerine ait FTIR spektrumunda gözlenen gerilme titreşimlerine ait pikler genellikle 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesine ait FTIR spektrumu içerisinde de yaklaşık aynı noktalarda gözlemlenmiştir. Ancak, bileşenlerin spektrumları ile karışımın spektrumları karşılaştırıldığında bazı pik şiddetlerinde fark edilebilir derecede azalmaların olduğunu ve bazı pik noktalarda kaymaların olduğu açıkça görülmektedir ki bu değişiklikler 5BA/5CB karışımın yeni bir kompleks malzeme olduğunu işaret etmektedir. Örneğin, 5BA spektrumunda 1417 cm^{-1} 'de gözlemlenen gerilme titreşim piki 5BA/5CB karışım kompleksinde 1421 cm^{-1} 'de oluşurken, 5CB spektrumunda 2228 cm^{-1} 'de gözlemlenen gerilme titreşim piki 5BA/5CB karışım kompleksinde 2219 cm^{-1} 'de oluşmuştur.



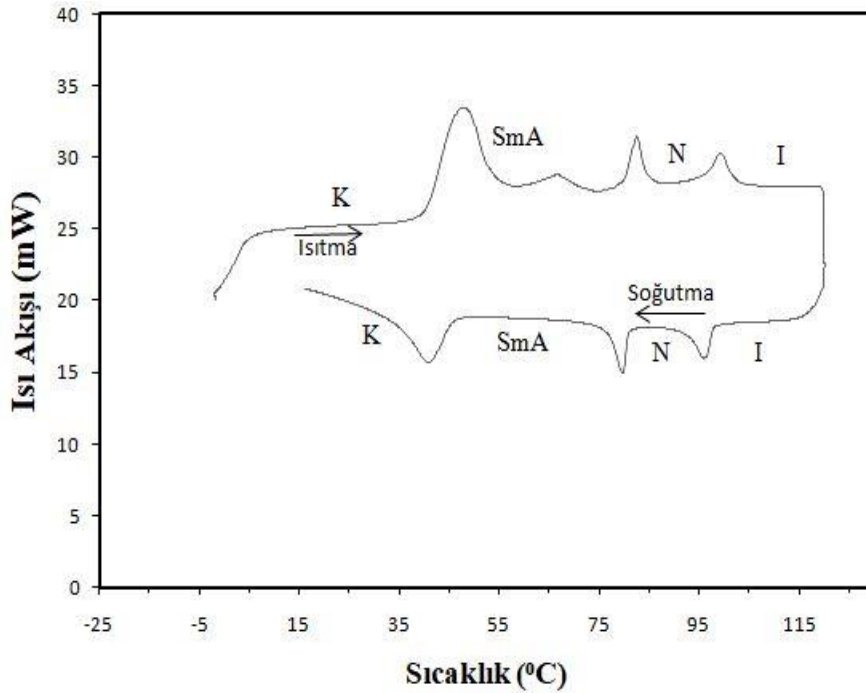
Şekil 4.5. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının FTIR analiz sonuçları



Şekil 4.6. 5BA/5CB sıvı kristal karışımının ve bileşenlerinin FTIR analiz sonuçları

4.2. 5BA/6CB Sıvı Kristal Karışımının Termal ve Optiksel Analizleri

Şekil 4.7, 5BA ile 6CB kimyasallarının eşit kütle oranlarında (% wt) karıştırılması ile üretilen 5BA/6CB sıvı kristal karışımının DSC ile devamlı ısıtma ve soğutma esnasında oluşan DSC eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.7’de görüldüğü sıvı kristal karışım numunesi -5 °C sıcaklığından 120 °C sıcaklığına kadar sürekli ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve izotropik denge sağlandıktan sonra 120 °C sıcaklıktan 15 °C’ye kadar sürekli soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Isıtma ve soğutma işlemi sırasında sıcaklık değişim hızı 10 °C/dak olarak uygulanmıştır. Sürekli ısıtma sırasında faz dönüşümünü ifade eden üç tane endotermik reaksiyon piki gözlemlendi sürekli soğutma esnasında da faz dönüşümünü ifade eden üç tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiştir. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi ısıtma sırasında oluşan faz dönüşüm sırası Kristal (K)-Smektik A (SmA)- Nematik (N)-İzotropik (I) şeklinde olup, soğutma esnasında ise İzotropik (I)-Nematik (N)-Smektik A (SmA)-Kristal (K) şeklinde olmuştur. Bu durum sürekli ısıtma esnasında oluşan faz dönüşümlerin sürekli soğutma esnasında aynı fazlara geri dönüşümün olduğunu göstermektedir ki bu özellik sıvı kristal malzemelerde beklenen bir özelliktir.



Şekil 4.7. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının ısıtma ve soğutma ile elde edilen DSC grafiği

Devamlı ısıtma ve soğutma sırasında oluşan faz dönüşümlerinin pik sıcaklık değerleri Kristal-Smektik A (T_{KA}), Smektik A-Nematik (T_{AN}), Nematik-İzotropik (T_{NI}) değerleri ve pik entalpi değişimleri Kristal-Smektik A (ΔH_{KA}), Smektik A-Nematik (ΔH_{AN}), Nematik-İzotropik (ΔH_{NI}) değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının faz geçiş sıcaklık (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri

Sıvı Kristal	Teknik	$T_{KA}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H_{KA}(\text{J/g})$	$T_{AN}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H_{AN}(\text{J/g})$	$T_{NI}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H_{NI}(\text{J/g})$	Mezofaz Alanı($^{\circ}\text{C}$)
5BA/6CB	Isıtma	47,63	348,25	82,51	50,21	99,36	35,17	51,73
	Soğutma	40,81	-123,22	79,63	-47,59	96,10	-49,52	55,29

Şekil 4.7 ve Çizelge 4.3 ten görülebildiği gibi 5BA/6CB sıvı kristal karışımının ısıtılması sırasında ölçülen faz geçiş sıcaklık (T) değerleri soğutma sırasında ölçülen faz geçiş sıcaklık (T) değerlerine göre daha büyüktür. Ayrıca 5BA/6CB sıvı kristal karışımının mezofaz termal sıcaklık alanı da hesaplanarak Çizelge 4.3'te verilmiştir. Mezofaz termal sıcaklık alanı (Mezofaz Alanı = $T_{NI} - T_{KA}$) sürekli ısıtma sırasında gözlenen nematik-izotropik geçiş sıcaklığından kristal-smektik A geçiş sıcaklığının çıkarılması ile elde edildi. Çizelge 4.3'te hesaplanan verilere göre 5BA/6CB sıvı kristal karışımının soğutma sırasında gözlenen mezofaz alanı sürekli ısıtma esnasında gözlenen mezofaz alanından daha büyüktür. Sürekli ısıtma esnasında gözlenen faz dönüşüm pikleri için hesaplanan entalpi değişim (ΔH) değerleri, bu değerler pik alanından hesaplanır, soğutma sırasında gözlenen faz dönüşüm pikleri için hesaplanan entalpi değişim (ΔH) değerlerinden genellikle daha büyük olduğu görülmektedir.

Termal stabilite ve faz geçiş entropi hesaplamaları için Çizelge 4.3'te verilen değerler Denklem (3.1) ve (3.2)'de yerlerine konularak hesaplandı ve bulunan değerler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

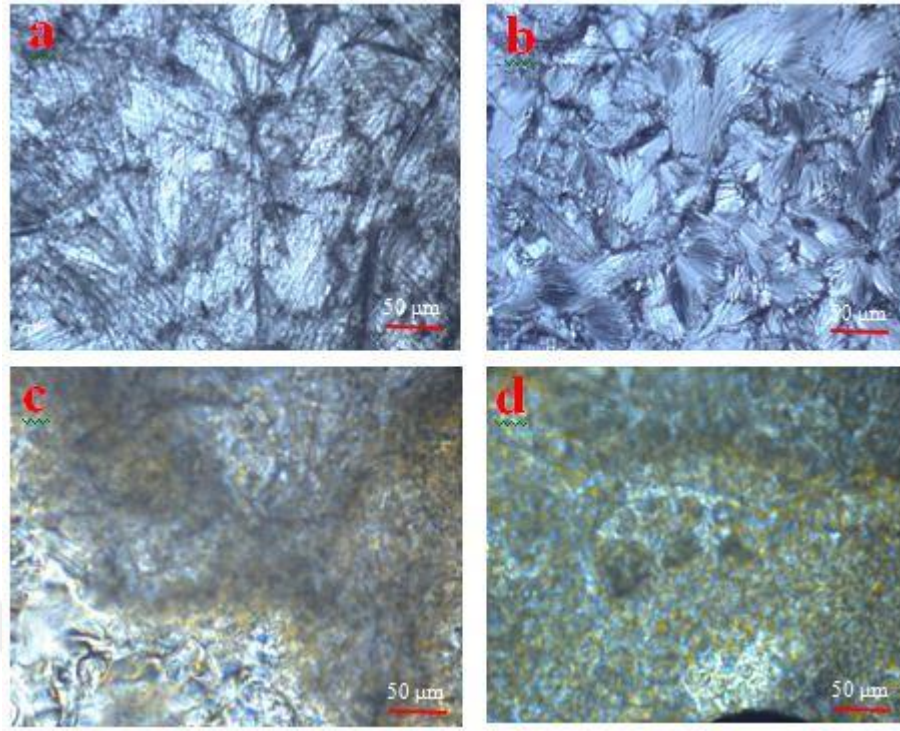
Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesinde ısıtma durumunda nematik-izotropik faz geçişlerinin düşük entropi değişim değerleri ile zayıf 1. düzende gerçekleştiği soğutma sırasında ise 1. düzende olduğu hesaplanmıştır. Kristal-Smektik A faz geçişi ise hem ısıtma hem de soğutma durumunda 1. düzende gerçekleştiği anlaşılmıştır. Hesaplanan termal stabilite değerlerine göre 5BA/6CB sıvı

kristal karışımı için ısıtma durumunda nematik fazın smektik A fazından daha kararlı, soğutma durumunda ise smektik A fazının nematik fazdan daha kararlı olduğu görülmektedir. 5BA/6CB sıvı kristal karışım karışımında maksimum termal stabilite faktörü değeri 2336 ile sürekli ısıtma sırasında ölçülmüştür.

Çizelge 4.4. 5BA/6CB sıvı kristal karışımı için termal stabilite faktörü (TSF_x) ve faz geçiş entropi değişim (ΔS) değerleri

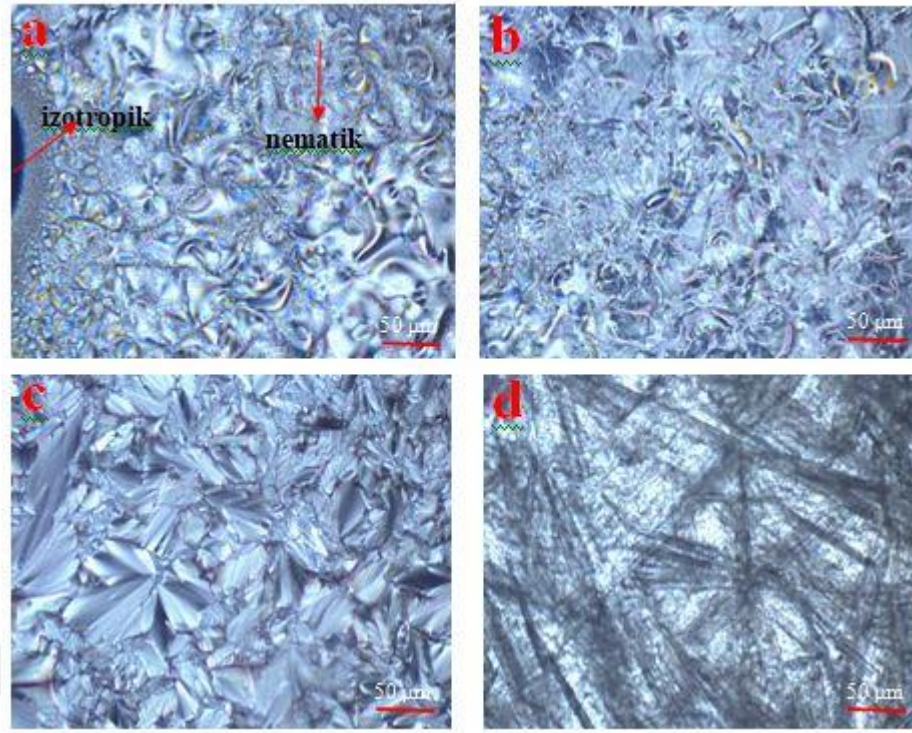
Sıvı kristal karışım	Faz geçişi	Termal stabilite, TSF_x	Entropi, ΔS (J/g/K)	Geçiş düzeni
5BA/6CB-Isıtma	K-SmA	-	1,087	1.düzen
	SmA-N	2336	0,141	1. düzen
	N-I	1533	0,094	Zayıf 1. düzen
5BA/6CB-Soğutma	K-SmA	-	0,392	1. düzen
	SmA-N	2301	0,134	1. düzen
	N-I	1408	0,134	1. düzen

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/6CB sıvı kristal karışımının ısıtılması ve soğutulması sırasında ortaya çıkan fazların morfolojik tekstür yapılarını incelemek ve faz adlandırmasını belirlemek için sıvı kristal karışım numuneleri polarize optik mikroskop (POM) ile incelendi. Karışım numunelerinde gözlenen fazlar DSC ve POM sonuçlarının literatür sonuçları ile karşılaştırılması sonucu adlandırılmıştır. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının ısıtılması ve soğutulması sırasında gözlenen fazlar Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görüldüğü gibi 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesi sürekli ısıtma ve soğutma esnasında sıvı kristal mezojenik fazları göstermiştir. Şekil 4.8a karışım numunesinin devamlı ısıtma sırasında 30 °C sıcaklıkta görülen kristal fazını göstermektedir. Şekil 4.8b karışım numunesinin sürekli ısıtma esnasında 65 °C sıcaklıkta gözlenen ve smektik A fazını işaret eden fokal konik fan Şekilli tekstür yapıyı göstermektedir. Şekil 4.8c 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesinin devamlı ısıtılması sırasında 87 °C sıcaklıkta görülen nematik faz tekstür yapısını ifade etmektedir. 5BA/6CB karışım numunesi nematik fazdan itibaren sürekli ısıtma işlemine tabi tutulduğunda, 98 °C sıcaklıkta gözlenenve nematik-izotropik geçişi gösteren tekstür yapısı Şekil 4.8d’de görülmektedir.



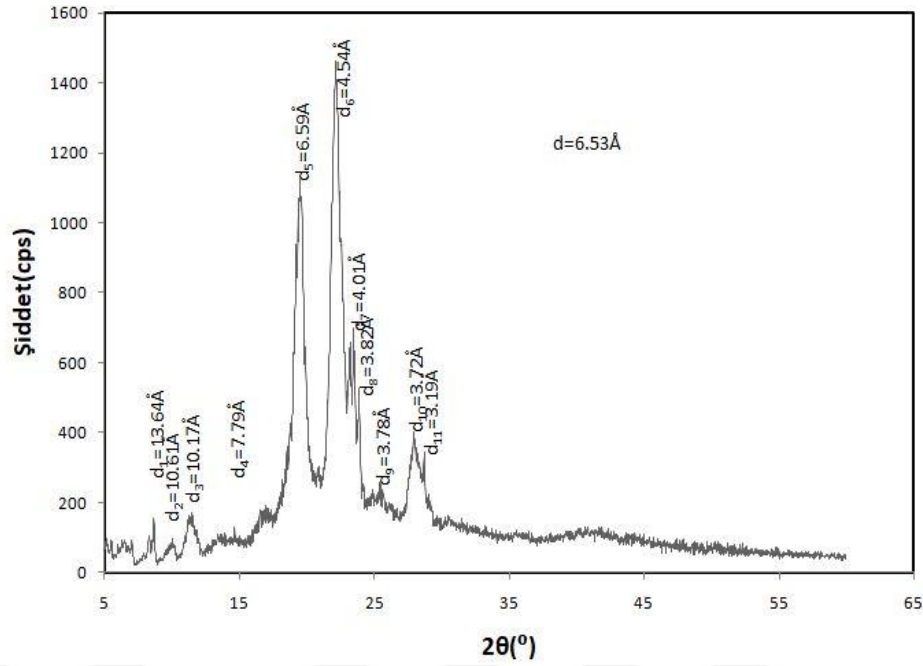
Şekil 4.8. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının devamlı ısıtma sırasında görülen POM görüntüleri; a) Kristal, b) Smektik A, c) Nematik, d) Nematik-İzotropik

Şekil 4.9’da 5BA/6CB sıvı kristal karışımlarının devamlı soğutulması esnasında farklı sıcaklıklarda POM ile elde edilen faz tekstürlerini göstermektedir. Şekil 4.9a’da 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesinde devamlı soğutma sırasında 96 °C sıcaklıkta gözlenen izotropik-nematik geçişine ait tekstürel yapı görülmektedir. Şekil 4.9b’de 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesinde devamlı soğutma sırasında 85°C sıcaklıkta gözlenen nematik tekstür yapı görülmektedir. Şekil 4.9c’de 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesinde devamlı soğutma sırasında 55 °C sıcaklıkta gözlenen smektik A yapıyı işaret eden fokal konik fan tekstürel yapı görülmektedir. Şekil 4.9d’de 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 20 °C sıcaklıkta gözlenen kristal yapı görülmektedir.



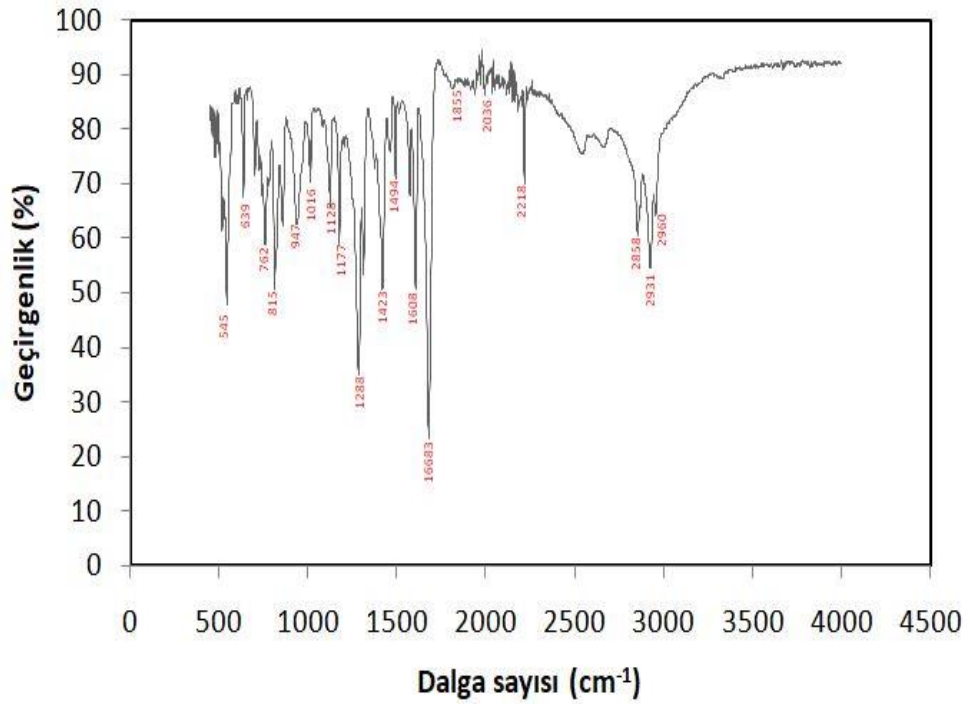
Şekil 4.9. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının devamlı soğutma sırasında görülen POM görüntüleri;
a) İzotropik-Nematik, b) Nematik, c) Smektik A, d) Kristal

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/6CB sıvı kristal karışımın oda sıcaklığında kristal yapısını araştırmak için X-ışını difraktometre (XRD) ile analizler yapılmıştır. 5BA/6CB sıvı kristal karışımın XRD analiz sonucu Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi XRD sonuçları kristal yapıyı işaret eden Bragg kırınım pikleri göstermiştir. Bu kırınım pikleri 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesinin oda sıcaklığında (yaklaşık 25 °C) kristal yapıda olduğunu göstermektedir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi $2\theta=22,14^\circ$ 'de gözlenen kırınım pikinin d mesafe değeri 4.54 Å olarak ölçülmüştür. Kırınım piklerinin d değerlerinin ortalaması alınarak 5BA/6CB sıvı kristal karışımın kristal durumunda ortaya çıkan moleküler dizilimde bazal mesafe değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Şekil 4.10'da görüldüğü gibi moleküler dizilimde bazal mesafe değerinin $d=6.53$ Å olduğu bulunmuştur. Ayrıca XRD analizlerinin literatür çalışmalarında rapor edilenlere göre değerlendirilmesi yapıldığında 5BA/6CB sıvı kristal karışım kompleksinin kristal yapısının monoklinik yapıda oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.10. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının XRD analiz sonuçları

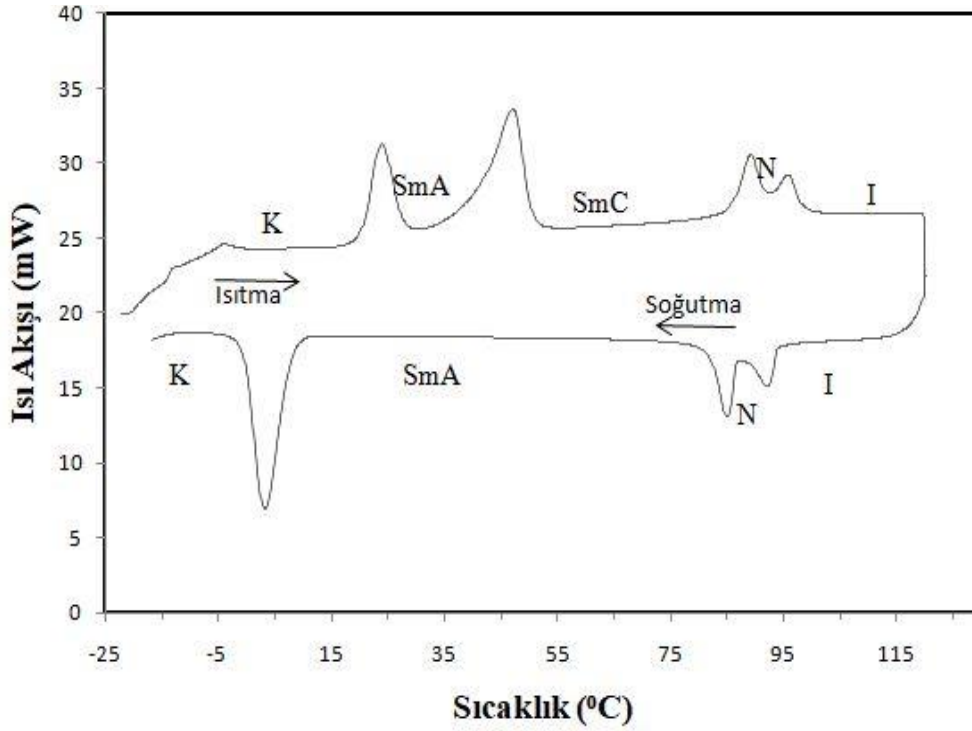
Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/6CB sıvı kristal karışımın kimyasal bağ yapılarını ve karışımı oluşturan saf bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluşarak yeni bir kompleksleşmenin oluşup oluşmadığını araştırmak için Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ile analizler yapılmıştır. FTIR analizleri referans olarak potasyum bromür (KBr) ile ~ 25 °C ortam sıcaklığında katı halde gerçekleştirildi. Sıvı kristal mezojenik 5BA ve 6CB sıvı kristallerinin karıştırılması ile üretilen 5BA/6CB karışımın FTIR analiz sonucu Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi, 5BA/6CB karışım kompleksinin FTIR spektrumları, $\nu(\text{C}=\text{O})$ gerilmesi, O-H gerilmesi, C-O gerilmesi ve N-H gerilmesi gibi moleküller arası ve moleküller arası bağları ifade eden oldukça fazla absorpsiyon bandı pikleri göstermektedir. 1288 cm^{-1} ’de gözlemlenen pik C-O gerilme titreşimine, 1313 cm^{-1} ’de gözlenen pik C-C gerilme titreşimine, 1608 cm^{-1} ’de gözlenen pik C=C gerilme titreşimine, 1683 cm^{-1} ’de gözlemlenen pik C=O gerilme titreşimine, 2858 cm^{-1} ’de gözlemlenen pik C-H gerilme titreşimine ve 2680 cm^{-1} ’de gözlemlenen pik O-H gerilme titreşimine işaret etmektedir. 1423 cm^{-1} ’de ortaya çıkan soğurma band piki, C-O gerilme titreşimleriyle birleştirilmiş O-H düzlem içi bükülmeye atfedilir.



Şekil 4.11. 5BA/6CB sıvı kristal karışımının FTIR analiz sonuçları

4.3. 5BA/7CB Sıvı Kristal Karışımının Termal ve Optiksel Analizleri

Şekil 4.12, 5BA ile 7CB kimyasallarının eşit kütle oranlarında (% wt) karıştırılması ile üretilen 5BA/7CB sıvı kristal karışımının DSC ile devamlı ısıtma ve soğutma esnasında oluşan DSC eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.12’de görüldüğü sıvı kristal karışım numunesi -22 °C sıcaklığından 120 °C sıcaklığına kadar sürekli ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve izotropik denge sağlandıktan sonra 120 °C sıcaklıktan -15 °C’ye kadar sürekli soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Isıtma ve soğutma işlemi sırasında sıcaklık değişim hızı 10 °C/dak olarak uygulanmıştır. Sürekli ısıtma sırasında faz dönüşümünü ifade eden üç tane endotermik reaksiyon piki gözlenirken sürekli soğutma esnasında faz dönüşümünü ifade eden üç tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiştir. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi ısıtma esnasında oluşan faz dönüşüm sırası Kristal (K)-Smektik A (SmA)-Smektik C (SmC)-Nematik (N)-İzotropik (I) şeklinde olup, soğutma esnasında ise İzotropik (I)-Nematik (N)-Smektik A (SmA)-Kristal (K) şeklinde olmuştur. Bu durum sürekli ısıtma esnasında oluşan faz dönüşümlerin sürekli soğutma esnasında aynı fazlara geri dönüşümün olduğunu göstermektedir ki bu özellik sıvı kristal malzemelerde beklenen bir özelliktir.



Şekil 4.12. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının ısıtma ve soğutma ile elde edilen DSC grafiği

Devamlı ısıtma ve soğutma esnasında oluşan faz dönüşümlerinin pik sıcaklık değerleri Kristal-Smektik A (T_{KA}), Smektik A-Nematik (T_{AN}), Nematik-İzotropik (T_{NI}) değerleri ve pik entalpi değişimleri Kristal-Smektik A (ΔH_{KA}), Smektik A-Nematik (ΔH_{AN}), Nematik-İzotropik (ΔH_{NI}) değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının faz geçiş sıcaklık (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri

Sıvı kristal Karışım	Teknik	T_{KA} (°C)	ΔH_{KA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{AN} (°C)	ΔH_{AN} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
5BA/7CB	Isıtma	23,97	172,9	47,09	349,18	-	-	89,16	61,83	96,02	28,17
	Soğutma	3,28	-363,71	-	-	84,98	-59,78	-	-	92,27	-42,05

Şekil 4.12 ve Çizelge 4.5'ten görülebildiği gibi 5BA/7CB sıvı kristal karışımının ısıtma esnasında ölçülen faz geçiş sıcaklık (T) değerleri soğutma esnasında ölçülen faz geçiş sıcaklık (T) değerlerine göre daha büyüktür. Ayrıca 5BA/7CB sıvı kristal karışımının mezofaz termal sıcaklık alanı da hesaplanarak Çizelge 4.5'te verilmiştir. Mezofaz termal sıcaklık alanı (Mezofaz Alanı = $T_{NI} - T_{KA}$) sürekli ısıtma sırasında gözlenen nematik-izotropik geçiş sıcaklığından kristal-smektik A geçiş sıcaklığının çıkarılması ile elde edildi. Sürekli ısıtma sırasında mezofaz alanı = 72,05 °C, sürekli

soğutma sırasındaki mezofaz alanı = 88,99 °C olarak hesaplandı. Çizelge 4.5'te hesaplanan verilere göre 5BA/7CB sıvı kristal karışımının soğutma sırasında gözlenen mezofaz alanı sürekli ısıtma esnasında gözlenen mezofaz alanından daha büyüktür. Sürekli ısıtma esnasında gözlenen faz dönüşüm pikleri için hesaplanan entalpi değişim (ΔH) değerleri, bu değerler pik alanından hesaplanır, soğutma sırasında gözlenen faz dönüşüm pikleri için hesaplanan entalpi değişim (ΔH) değerlerinden genellikle daha büyük olduğu görülmektedir.

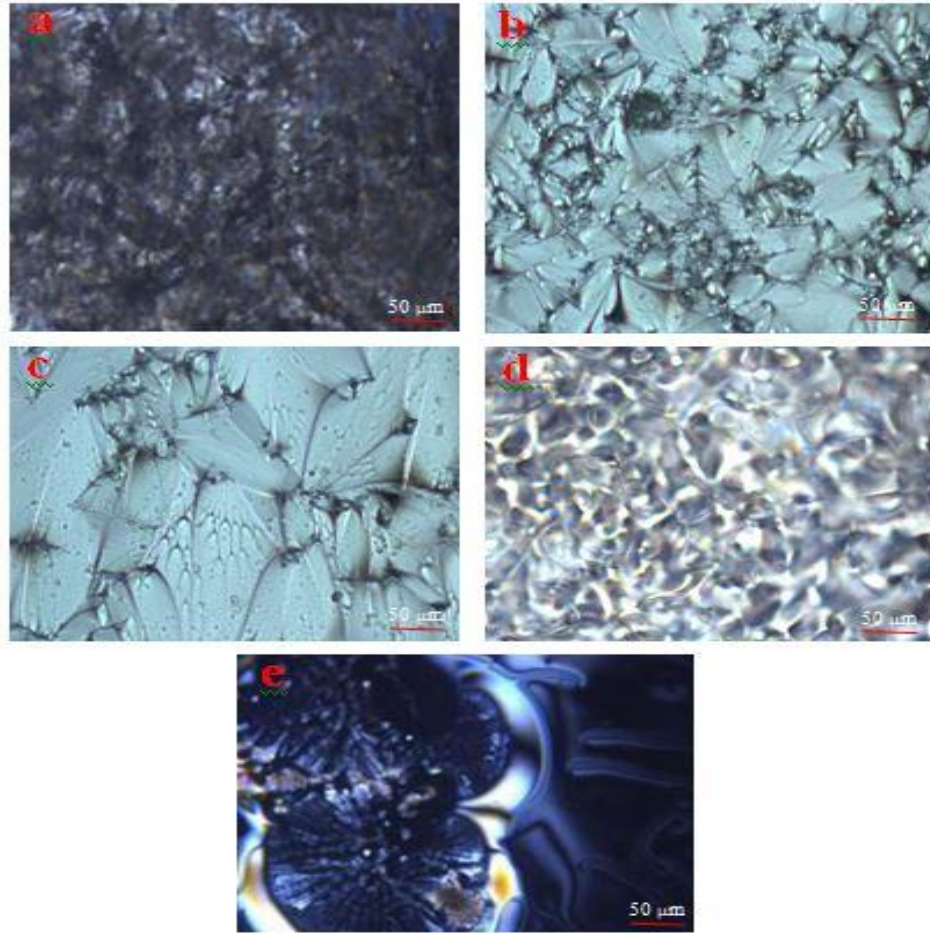
Termal stabilite ve faz geçiş entropi hesaplamaları için Çizelge 4.5'te verilen değerler denklem (3.1) ve (3.2)'de yerlerine konularak hesaplandı ve elde edilen değerler Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. 5BA/7CB sıvı kristal karışımı için termal stabilite faktörü (TSF_x) ve faz geçiş entropi değişim (ΔS) değerleri

Sıvı kristal karışım	Faz geçişi	Termal stabilite, TSF_x	Entropi, ΔS (J/g/K)	Geçiş düzeni
5BA/7CB-Isıtma	K-SmA	-	0,582	1.düzen
	SmA-SmC	840	1.090	1. düzen
	SmC-N	3588	0,170	1. düzen
	N-I	180	0,076	Zayıf 1. düzen
5BA/7CB-Soğutma	K-SmA	-	1,317	1. düzen
	SmA-N	3564	0,167	1. düzen
	N-I	645	0,115	1. düzen

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi 5BA/7CB sıvı kristal karışım ısıtma durumunda nematik-izotropik faz geçişlerinin düşük entropi değişim değerleri ile zayıf 1. düzende gerçekleştiği soğutmada ise 1.düzende olduğu hesaplanmıştır. Kristal-Smektik A faz geçişi ise hem ısıtma hem de soğutma sırasında 1. düzende gerçekleştiği gözlenmiştir. Hesaplanan termal stabilite değerlerine göre 5BA/7CB sıvı kristal karışımı için ısıtma durumunda nematik fazın smektik A fazından daha kararlı, soğutma durumunda ise smektik A fazının nematik fazdan daha kararlı olduğu görülmektedir. 5BA/7CB sıvı

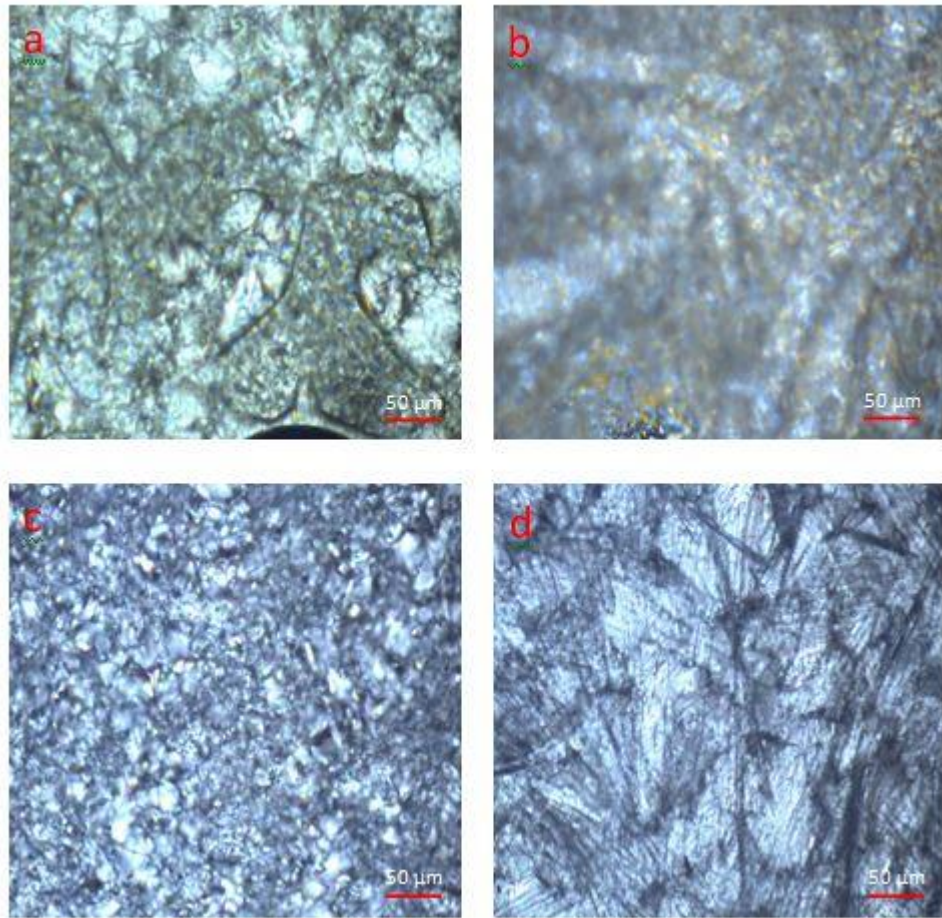
kristal karışım karışımında maksimum termal stabilite faktörü değeri 3588 ile sürekli ısıtma sırasında ölçülmüştür.



Şekil 4.13. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının devamlı ısıtma sırasında gözlenen POM görüntüleri;
a) Kristal, b) Smektik A, c) Smektik C, d) Nematik, e) Nematik-İzotropik

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/7CB sıvı kristal karışımının ısıtılması ve soğutulması sırasında ortaya çıkan fazların morfolojik tekstür yapılarını incelemek ve faz adlandırmasını belirlemek için sıvı kristal karışım numuneleri polarize optik mikroskop (POM) ile incelendi. Karışım numunelerinde görülen fazlar DSC ve POM sonuçlarının literatür sonuçları ile karşılaştırılması sonucu adlandırılmıştır. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının ısıtılması ve soğutulması sırasında gözlenen fazlar Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te görüldüğü gibi 5BA/7CB sıvı kristal karışım numunesi devamlı ısıtma ve soğutma esnasında sıvı kristal mezogenik fazları göstermiştir. Şekil 4.13a karışım numunesinin sürekli ısıtma esnasında 22°C sıcaklıkta gözlenen kristal fazını göstermektedir. Şekil 4.13b karışım numunesinin

devamlı ısıtma sırasında 45 °C sıcaklıkta gözlenen ve smektik A fazını işaret eden fokal konik fan Şekilli tekstür yapısı göstermektedir. Şekil 4.13c 5BA/7CB sıvı kristal karışım numunesinin sürekli ısıtılması esnasında 70 °C sıcaklıkta gözlenen smektik C faz tekstür yapısını göstermektedir. 5BA/7CB karışım numunesi smektik C fazından itibaren sürekli ısıtma işlemine tabi tutulduğunda, 89 °C sıcaklıkta gözlenen ve nematik faza geçişi gösteren tekstür yapısı Şekil 4.13d'de göstermektedir. Nematik fazdan sürekli ısıtılması esnasında 96 °C sıcaklıkta nematik-izotropik geçişi gösteren tekstür Şekil 4.13e'de görülmektedir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen görüntüler daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Okumuş, 2012).

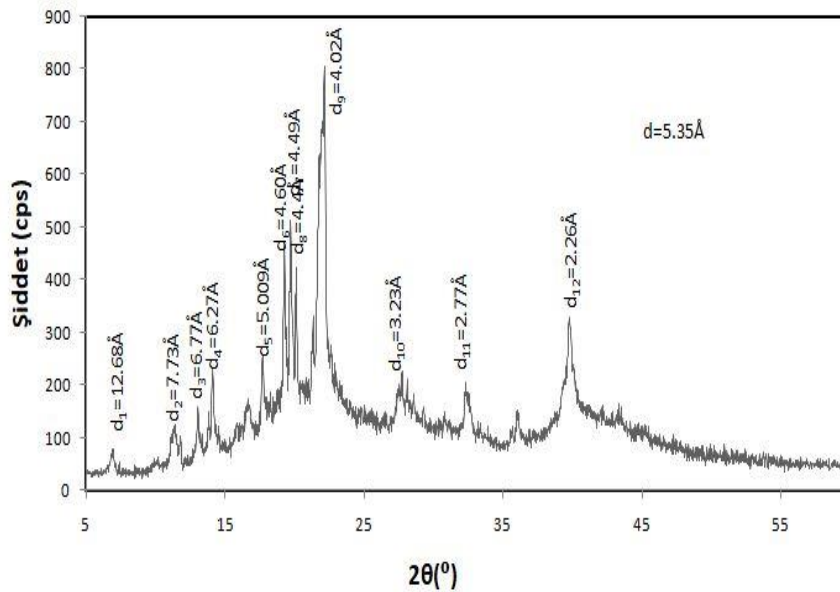


Şekil 4.14. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının devamlı soğutma sırasında görülen POM görüntüleri;
a) İzotropik-Nematik, b) Nematik, c) Smektik A, d) Kristal

Şekil 4.14'te 5BA/7CB sıvı kristal karışım numunelerinin devamlı soğutulması esnasında farklı sıcaklıklarda POM ile elde edilen faz tekstürlerini göstermektedir. Şekil 4.14a'da 5BA/7CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 92 °C sıcaklıkta gözlenen izotropik-nematik geçişine ait tekstürel yapı görülmektedir.

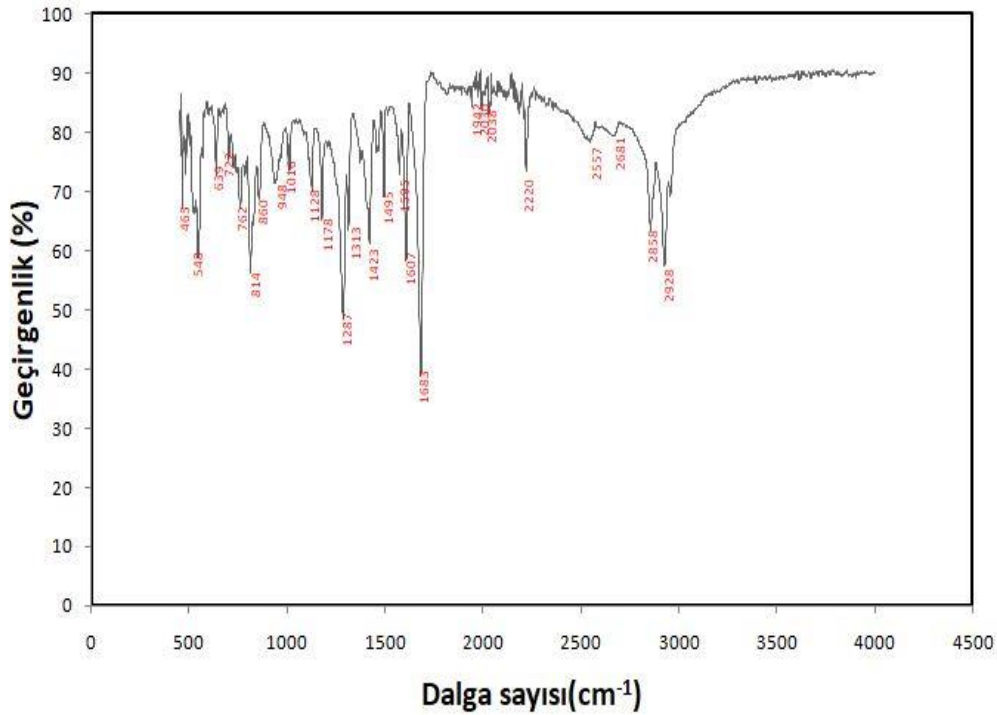
Şekil 4.14b’de 5BA/7CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 87 °C sıcaklıkta gözlenen nematik tekstür yapı görülmektedir. Şekil 4.14c’de 5BA/7CB sıvı kristal karışım numunesinde devamlı soğutma sırasında 40 °C sıcaklıkta görülen smektik A yapısı işaret eden fokal konik fan tekstürel yapı görülmektedir. Şekil 4.14d’de 5BA/7CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında -5 °C sıcaklıkta gözlenen kristal yapı görülmektedir.

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/7CB sıvı kristal karışımın oda sıcaklığında kristal yapısını araştırmak için X-ışını difraktometre (XRD) ile analizler yapılmıştır. 5BA/7CB sıvı kristal karışımın XRD analiz sonucu Şekil 4.15’te verilmiştir. Şekil 4.15’te görüldüğü gibi XRD sonuçları kristal yapıyı işaret eden Bragg kırınım pikleri göstermiştir. Bu kırınım pikleri 5BA/7CB sıvı kristal karışım numunesinin oda sıcaklığında (yaklaşık 25 °C) kristal yapıda olduğunu göstermektedir. Şekil 4.15’te görüldüğü gibi $2\theta=22,16^\circ$ ’de gözlenen kırınım pikinin d mesafe değeri 4.02 Å olarak ölçülmüştür. Kırınım piklerinin d değerlerinin ortalaması alınarak 5BA/7CB sıvı kristal karışımın kristal durumunda ortaya çıkan moleküler dizilimde bazal mesafe değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Şekil 4.15’te görüldüğü gibi moleküler dizilimde bazal mesafe değerinin $d=5,35$ Å olduğu bulunmuştur. Ayrıca XRD analizlerinin literatür çalışmalarında rapor edilenlere göre değerlendirilmesi yapıldığında 5BA/7CB sıvı kristal karışım kompleksinin kristal yapısının monoklinik yapıda oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.15. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının XRD analiz sonuçları

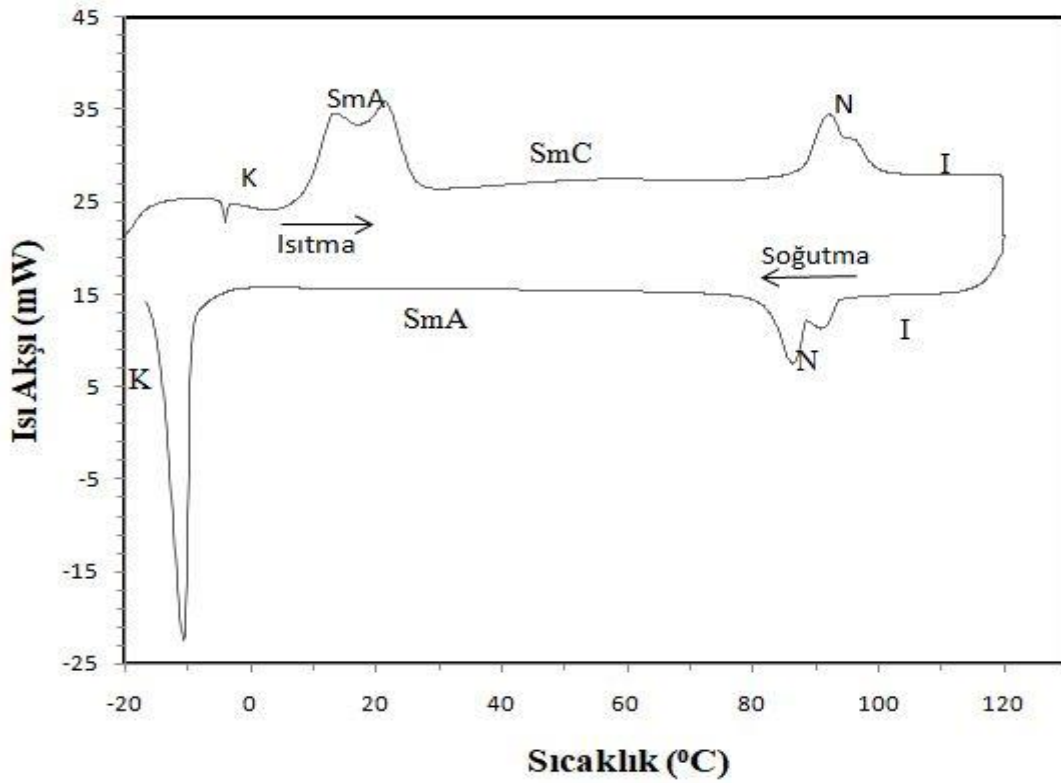
Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/7CB sıvı kristal karışımın kimyasal bağ yapılarını ve karışımı oluşturan saf bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluşarak yeni bir kompleksleşmenin oluşup oluşmadığını araştırmak için Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ile analizler yapılmıştır. FTIR analizleri referans olarak potasyum bromür (KBr) ile ~ 25 °C ortam sıcaklığında katı halde gerçekleştirildi. Sıvı kristal mezojenik 5BA ve 7CB sıvı kristallerinin karıştırılması ile üretilen 5BA/7CB karışımın FTIR analiz sonucu Şekil 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, 5BA/7CB karışım kompleksinin FTIR spektrumları, $\nu(\text{C}=\text{O})$ gerilmesi, O-H gerilmesi, C-O gerilmesi ve N-H gerilmesi gibi moleküller arası ve moleküller arası bağları ifade eden oldukça fazla absorpsiyon bandı pikleri göstermektedir. 1287 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C-O gerilme titreşimine, 1313 cm^{-1} 'de gözlenen pik C-C gerilme titreşimine, 1607 cm^{-1} 'de gözlenen pik C=C gerilme titreşimine, 1683 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C=O gerilme titreşimine, 2858 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C-H gerilme titreşimine ve 2681 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik O-H gerilme titreşimine işaret etmektedir. 1423 cm^{-1} 'de ortaya çıkan soğurma band pik, C-O gerilme titreşimleriyle birleştirilmiş O-H düzlem içi bükülmeye atfedilir.



Şekil 4.16. 5BA/7CB sıvı kristal karışımının FTIR analiz sonuçları

4.4. 5BA/8CB Sıvı Kristal Karışımının Termal ve Optiksel Analizleri

Şekil 4.17, 5BA ile 8CB kimyasallarının eşit kütle oranlarında (% wt) karıştırılması ile üretilen 5BA/8CB sıvı kristal karışımının DSC ile sürekli ısıtma ve soğutma esnasında elde edilen DSC eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.17’de görüldüğü sıvı kristal karışım numunesi -20 °C sıcaklığından 120 °C sıcaklığına kadar sürekli ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve izotropik denge sağlandıktan sonra 120 °C sıcaklıktan -15°C’ye kadar sürekli soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Isıtma ve soğutma işlemi sırasında sıcaklık değişim hızı 10 °C/dak olarak uygulanmıştır. Sürekli ısıtma sırasında faz dönüşümünü ifade eden dört tane endotermik reaksiyon piki gözlenirken sürekli soğutma esnasında faz dönüşümünü ifade eden üç tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiştir. Şekil 4.17’de görüldüğü gibi ısıtma esnasında oluşan faz dönüşüm sırası Kristal (K)-Smektik A (SmA)-Smektik C (SmC)-Nematik (N)-İzotropik (I) şeklinde olup, soğutma esnasında ise İzotropik (I)-Nematik (N)-Smektik A (SmA)-Kristal (K) şeklinde olmuştur. Bu durum sürekli ısıtma esnasında oluşan faz dönüşümlerin sürekli soğutma esnasında aynı fazlara geri dönüşümün olduğunu göstermektedir ki bu özellik sıvı kristal malzemelerde beklenen bir özelliktir.



Şekil 4.17. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının ısıtma ve soğutma ile elde edilen DSC grafiği

Sürekli ısıtma ve soğutma sırasında oluşan faz dönüşümlerinin pik sıcaklıkları Kristal-Smektik A (T_{KA}), Smektik A-Nematik (T_{AN}), Nematik-İzotropik (T_{NI}) değerleri ve pik entalpi değişimleri Kristal-Smektik A (ΔH_{KA}), Smektik A-Nematik (ΔH_{AN}), Nematik-İzotropik (ΔH_{NI}) değerleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Şekil 4.17 ve Çizelge 4.7’den görülebildiği gibi 5BA/8CB sıvı kristal karışımının ısıtma esnasında ölçülen faz geçiş sıcaklık (T) değerleri soğutma esnasında ölçülen faz geçiş sıcaklık (T) değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca 5BA/8CB sıvı kristal karışımının mezofaz termal sıcaklık alanı da hesaplanarak Çizelge 4.7’de verilmiştir. Mezofaz termal sıcaklık alanı (Mezofaz Alanı = $T_{NI} - T_{KA}$) sürekli ısıtma sırasında gözlenen nematik-izotropik geçiş sıcaklığından kristal-smektik A geçiş sıcaklığının çıkarılması ile elde edildi. Sürekli ısıtma sırasında mezofaz alanı = 77,95 °C, sürekli soğutma sırasındaki mezofaz alanı = 102,07 °C olarak hesaplandı. Çizelge 4.7’de hesaplanan verilere göre 5BA/8CB sıvı kristal karışımının soğutma sırasında gözlenen mezofaz alanı sürekli ısıtma esnasında gözlenen mezofaz alanından daha büyüktür. Sürekli ısıtma esnasında gözlenen faz dönüşüm pikleri için hesaplanan entalpi değişim (ΔH) değerleri, bu değerler pik alanından hesaplanır, soğutma sırasında gözlenen faz dönüşüm pikleri için hesaplanan entalpi değişim (ΔH) değerlerinden genellikle daha büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının faz geçiş sıcaklık (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri

Sıvı kristal Karışım	Teknik	T_{KA} (°C)	ΔH_{KA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{AN} (°C)	ΔH_{AN} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
5BA/8CB	Isıtma	18,50	375,46	21,53	386,42	-	-	91,9	69,32	96,45	11,09
	Soğutma	-10,58	-792,18	-	-	86,24	-102,52	-	-	91,49	-33,51

Termal stabilite ve faz geçiş entropi hesaplamaları için Çizelge 4.7’de verilen değerler Denklem (3.1) ve (3.2)’de yerlerine konularak hesaplandı ve elde edilen değerler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunesinde ısıtma sırasında nematik-izotropik faz geçişlerinin düşük entropi değişim değerleri ile zayıf 1. düzende gerçekleştiği soğutma sırasında ise 1.düzende olduğu hesaplanmıştır. Kristal-Smektik A faz geçişi ise ısıtma ve soğutma durumunda 1. düzende gerçekleştiği gözlenmiştir. Hesaplanan termal stabilite değerlerine göre 5BA/8CB sıvı kristal karışımı

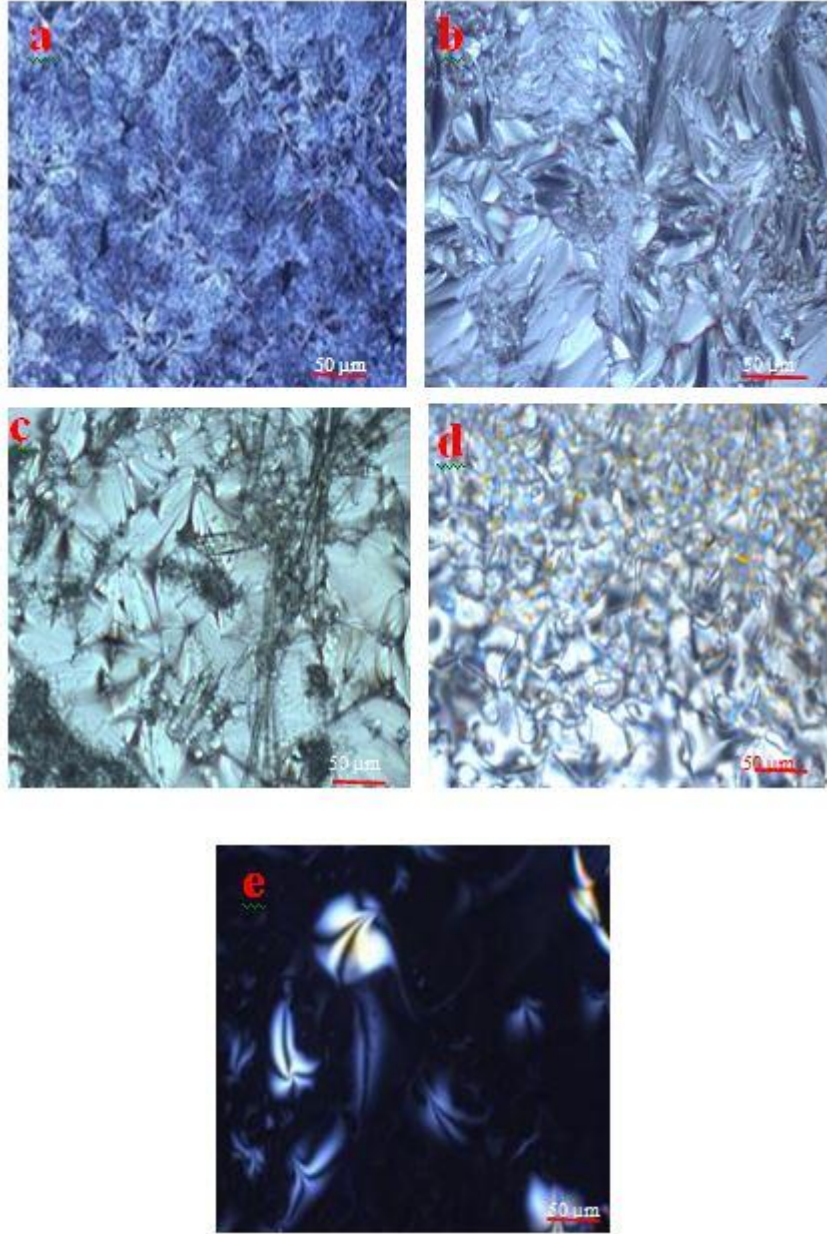
için ısıtma durumunda nematik fazın smektik A fazından daha kararlı, soğutma durumunda ise smektik A fazının nematik fazdan daha kararlı olduğu görülmektedir. 5BA/8CB sıvı kristal karışım karışımında maksimum termal stabilite faktörü değeri 3850 ile sürekli ısıtma sırasında ölçülmüştür.

Çizelge 4.8. 5BA/8CB sıvı kristal karışımı için termal stabilite faktörü (TSF_x) ve faz geçiş entropi değişim (ΔS) değerleri

Sıvı kristal karışım	Faz geçişi	Termal stabilite, TSF_x	Entropi, ΔS (J/g/K)	Geçiş düzeni
5BA/8CB-Isıtma	K-SmA	-	2,587	1.düzen
	SmA-SmC	80	0,979	1. düzen
	SmC-N	3850	0,189	1. düzen
	N-I	519	0,030	Zayıf 1. düzen
5BA/8CB-Soğutma	K-SmA	-	3,011	1. düzen
	SmA-N	3648	0,285	1. düzen
	N-I	467	0,127	1. düzen

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/8CB sıvı kristal karışımının ısıtılması ve soğutulması sırasında ortaya çıkan fazların morfolojik tekstür yapılarını incelemek ve faz adlandırmasını belirlemek için sıvı kristal karışım numuneleri polarize optik mikroskop (POM) ile incelendi. Karışım numunelerinde gözlenen fazlar DSC ve POM sonuçlarının literatür sonuçları ile karşılaştırılması sonucu adlandırılmıştır. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının ısıtılması ve soğutulması sırasında gözlenen fazlar Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilmiştir. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da görüldüğü gibi 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunesi sürekli ısıtma ve soğutma esnasında sıvı kristal mezojenik fazları göstermiştir. Şekil 4.18a karışım numunesinin sürekli ısıtma esnasında 12°C sıcaklıkta gözlenen kristal fazını göstermektedir. Şekil 4.18b karışım numunesinin sürekli ısıtma esnasında 50 °C sıcaklıkta gözlenen ve smektik A fazını işaret eden fokal konik fan Şekilli tekstür yapıyı göstermektedir. Şekil 4.18c 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunesinin sürekli ısıtılması esnasında 90 °C sıcaklıkta gözlenen nematik faz tekstür yapısını göstermektedir. 5BA/8CB karışım numunesi nematik fazdan itibaren

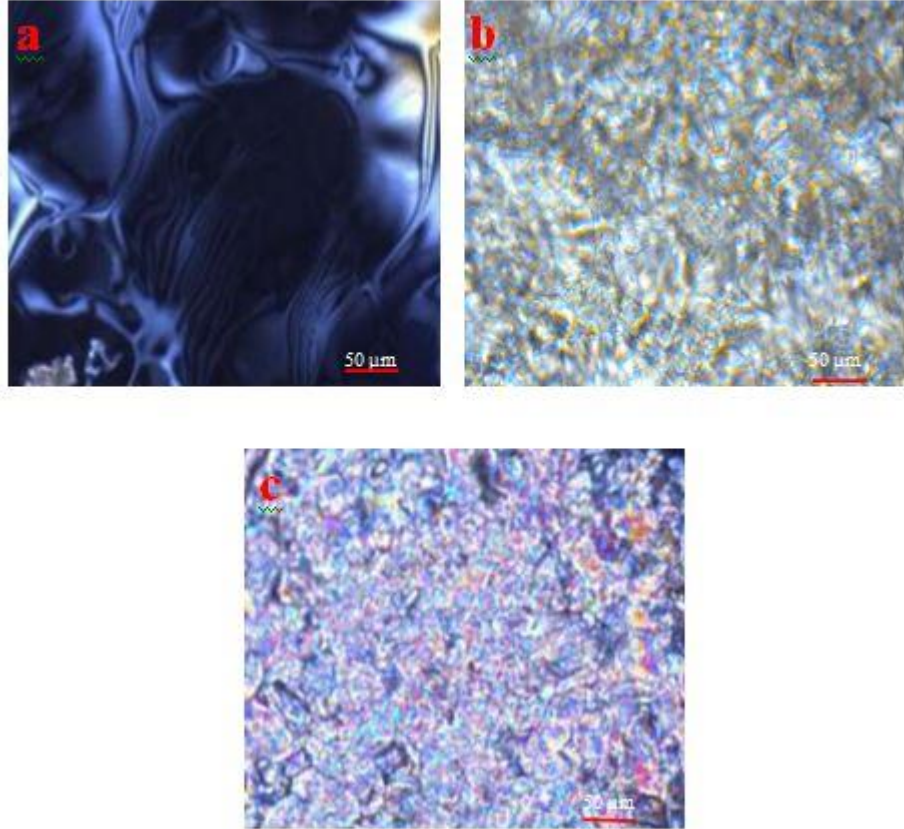
sürekli ısıtma işlemine tabi tutulduğunda, 96 °C sıcaklıkta gözlenenve nematik-izotropik geçişi gösteren tekstür yapısı Şekil 4.18d’de görülmektedir.



Şekil 4.18. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının devamlı ısıtma sırasında gözlenen POM görüntüleri;
a) Kristal, b) Smektik A, c) Smektik C, d) Nematik, e) Nematik-İzotropik

Şekil4.19’da 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunelerinin sürekli soğutma esnasında farklı sıcaklıklarda POM ile elde edilen faz tekstürlerini göstermektedir. Şekil 4.19a’da 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 91 °C sıcaklıkta gözlenen izotropik-nematik geçişine ait tekstürel yapı gözlenmektedir. Şekil 4.19b’de 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 76 °C

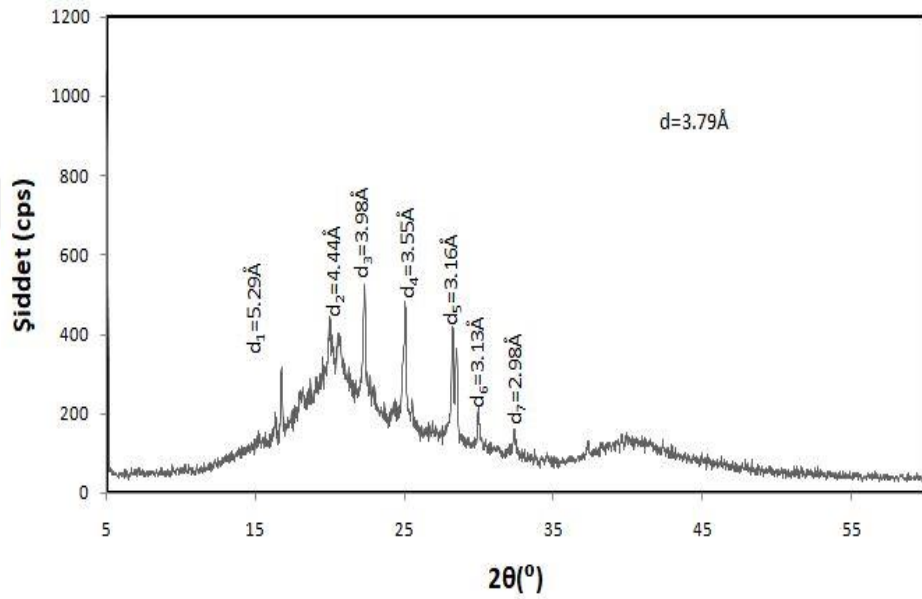
sıcaklıkta gözlenen nematiktekstür yapı gözlenmektedir. Şekil 4.19c’de 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 30 °C sıcaklıkta gözlenen smektik A yapıyı işaret eden fokal konik fan tekstürel yapı gözlenmektedir. Şekil 4.19d’de 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunesinde sürekli soğutma sırasında 10 °C sıcaklıkta gözlenen kristal yapı görülmektedir.



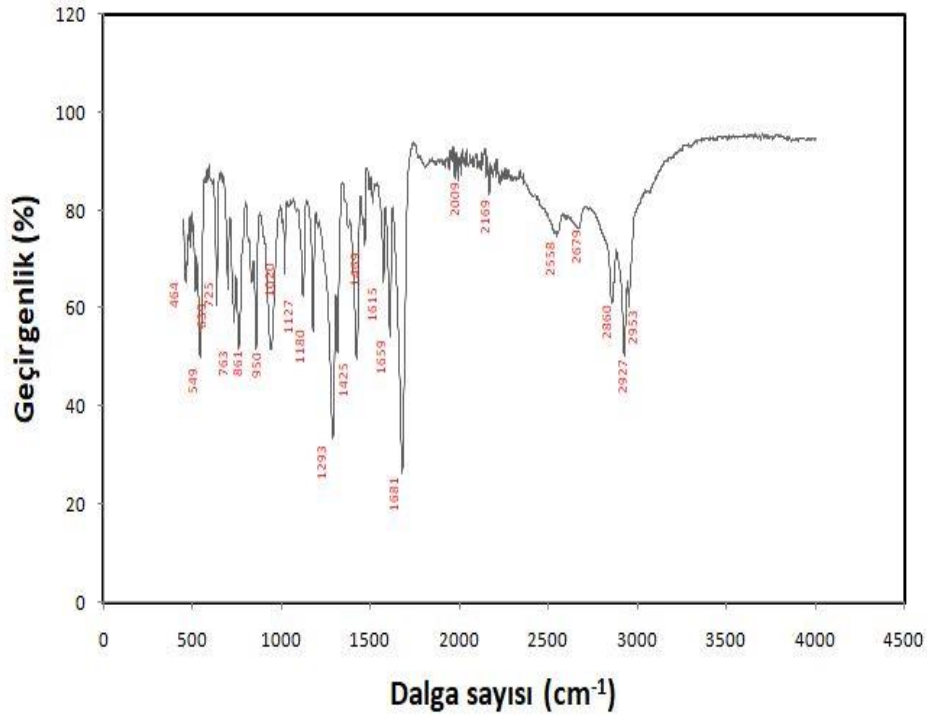
Şekil 4.19. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının devamlı soğutma sırasında gözlenen POM görüntüleri; a) İzotropik-Nematik, b) Nematik, c) Smektik A

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/8CB sıvı kristal karışımın oda sıcaklığında kristal yapısını araştırmak için X-ışını difraktometre (XRD) ile analizler yapılmıştır. 5BA/8CB sıvı kristal karışımın XRD analiz sonucu Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Şekil 4.20’de görüldüğü üzere XRD sonuçları kristal yapıyı işaret eden Bragg kırınım pikleri göstermiştir. Bu kırınım pikleri 5BA/8CB sıvı kristal karışım numunesinin oda sıcaklığında (yaklaşık 25 °C) kristal yapıda olduğunu ifade etmektedir. Şekil 4.20’de görüldüğü gibi $2\theta=22,34^\circ$ ’de gözlenen kırınım pikinin d mesafe değeri 3.98 Å olarak ölçülmüştür. Kırınım piklerinin d değerlerinin ortalaması alınarak 5BA/8CB

sıvı kristal karışımının kristal durumunda ortaya çıkan moleküler dizilimde bazal mesafe değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Şekil 4.20’de görüldüğü gibi moleküler dizilimde bazal mesafe değerinin $d=3.79 \text{ Å}$ olduğu ölçülmüştür. Ayrıca XRD analizlerinin literatür çalışmalarında rapor edilenlere göre değerlendirilmesi yapıldığında 5BA/8CB sıvı kristal karışım kompleksinin kristal yapısının monoklinik yapıda olduğu sonucu çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar Sundaram ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmayla benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.20. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının XRD analiz sonuçları



Şekil 4.21. 5BA/8CB sıvı kristal karışımının FTIR analiz sonuçları

Eşit kütle oranlarında (% wt) üretilen 5BA/8CB sıvı kristal karışımının kimyasal bağ yapılarını ve karışımı oluşturan saf bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluşarak yeni bir kompleksleşmenin olup oluşmadığını araştırmak için Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ile analizler yapılmıştır. FTIR analizleri referans olarak potasyum bromür (KBr) ile ~ 25 °C ortam sıcaklığında katı halde iken gerçekleştirildi. Sıvı kristal mezojenik 5BA ve 8CB sıvı kristallerinin karıştırılması ile üretilen 5BA/8CB karışımının FTIR analiz sonucu Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü üzere, 5BA/8CB karışım kompleksinin FTIR spektrumları, $\nu(\text{C}=\text{O})$ gerilmesi, O-H gerilmesi, C-O gerilmesi ve N-H gerilmesi gibi moleküller arası ve moleküller arası bağları ifade eden oldukça fazla emilim bandı pikleri göstermektedir. 1293 cm^{-1} ’de gözlemlenen pik C–O gerilme titreşimine, 1615 cm^{-1} ’de gözlenen pik C=C gerilme titreşimine, 1681 cm^{-1} ’de gözlemlenen pik C=O gerilme titreşimine, 2927 cm^{-1} ’de gözlemlenen pik C–H gerilme titreşimine ve 2558 cm^{-1} ’de gözlemlenen pik O–H gerilme titreşimini göstermektedir. 1425 cm^{-1} ’de ortaya çıkan soğurma band piki, C-O gerilme titreşimleriyle birleştirilmiş O-H düzlem içi bükülmeye yorumlanır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sıvı kristaller, sıvı ve katı hal arasında bir geçiş durumunda bulunan, düzenli yapıya sahip benzersiz maddelerdir. Sıvı kristallerin bu özellikleri, katıların düzenli yapıları ve sıvıların akışkan özelliklerini bir araya getirir. Birçok alanda kullanımının yaygınlaşmasıyla sıvı kristaller oldukça ilgi çekici bir araştırma konusu olmuştur. Bu tez çalışmasında bazı sıvı kristal karışımlar üretilmiş ve bu sıvı kristal karışımların termal ve optiksel özellikleri incelenmiştir. 5BA ile 5CB, 6CB, 7CB ve 8CB sıvı kristalleri belirli oranlarda karıştırılıp elde edilen sıvı kristal karışımların XRD, FTIR, DSC ve POM sonuçları analiz edilerek yorumlanmıştır.

5BA/5CB karışımının XRD sonuçları kristal yapıyı işaret eden Bragg kırınım pikleri göstermiştir. Bu kırınım pikleri 5BA/5CB sıvı kristal karışım numunesinin oda sıcaklığında (yaklaşık 25 °C) kristal yapıda olduğunu göstermektedir. Tabakalar arasındaki en yüksek mesafe değeri $d=4,12 \text{ Å}$, ortalama bazal mesafe değeri ise $d=5,06 \text{ Å}$ olduğu bulunmuştur. 5BA/6CB karışımının XRD sonuçları kristal yapıyı işaret eden Bragg kırınım pikleri göstermiştir. Bu kırınım pikleri 5BA/6CB sıvı kristal karışım numunesinin oda sıcaklığında (yaklaşık 25 °C) kristal yapıda olduğunu göstermektedir. Tabakalar arasındaki en yüksek değeri $d=4,54 \text{ Å}$, ortalama bazal mesafe değeri ise $d=6,53 \text{ Å}$ olarak bulunmuştur. 5BA/7CB karışımının XRD Ayrıca XRD analizlerinin literatür çalışmalarında rapor edilenlere göre değerlendirilmesi yapıldığında 5BA/7CB sıvı kristal karışım kompleksinin kristal yapısının monoklinik yapıda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tabakalar arasındaki en yüksek değeri $d=4,02 \text{ Å}$, ortalama bazal mesafe değeri ise $d=5,35 \text{ Å}$ olarak bulunmuştur. 5BA/8CB karışımının XRD Ayrıca XRD analizlerinin literatür çalışmalarında rapor edilenlere göre değerlendirilmesi yapıldığında 5BA/8CB sıvı kristal karışım kompleksinin kristal yapısının monoklinik yapıda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tabakalar arasındaki en yüksek mesafe değeri $d=3,98 \text{ Å}$, ortalama bazal mesafe değeri ise $d=3,79 \text{ Å}$ olarak bulunmuştur. Ayrıca XRD analizlerinin literatür çalışmalarında rapor edilenlere göre değerlendirilmesi yapıldığında bu sıvı kristal karışım komplekslerinin kristal yapılarının monoklinik yapıda olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

FTIR analizinde elde edilen sonuçlara göre, sentezlenen 5BA/5CB, 5BA/6CB, 5BA/7CB ve 5BA/8CB sıvı kristal karışımlarında sıvı kristal karışımın kimyasal bağ yapılarını ve karışımı oluşturan saf bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluşarak yeni bir kompleksleşmenin oluşup oluşmadığını araştırmak için Fourier

Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ile analizler yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda H bağının olduğu gözlenmiştir. H bağının olması karışımların monomerik olduğunu ifade eder. Ayrıca karışımlarda C=O, C-H ve H-O bağlarının olduğu gözlenmiştir. Karışımlarda (O-H) pikler ve (C=O) pik kaymaları gözlenmesi karışımı oluşturan maddeler arasında bir kompleksleşmeyi ve bu kompleksleşmenin de yeni bir mezojenik malzeme üretildiğini gösterir. Ayrıca bazı pik değerlerinde ortaya çıkan soğurma C-O gerilme titreşimleriyle birleştirilmiş O-H düzlem içi bükülme olduğunu göstermiştir. Bu bağlamda karışımda kullanılan saf maddelerin molekülleri, molekül içi bağlarını koruduğunu göstermektedir.

DSC analizinde devamlı ısıtma ve devamlı soğutma sırasında farklı faz geçişlerinin olduğu gözlenmiştir. DSC grafiklerinden 5BA/5CB, 5BA/6CB, 5BA/7CB ve 5BA/8CB ikili karışımların entalpi değişimleri ile faz geçiş sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir. DSC sonuçlarında devamlı ısıtma ve soğutma esnasında 3 tane faz geçiş piki görülmüştür. 5BA/7CB ve 5BA/8CB sıvı kristal karışımlarının ısıtılması sırasında smektik C (SmC) fazı görülmüştür. Isıtma işlemine -25 °C'den 120 °C'ye kadar ısıtma ve -20 °C'ye kadar soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. DSC sonuçları devamlı ısıtma ve soğutma esnasında kristal-smektik, smektik-nematik ve nematik-izotropik faz dönüşümlerini işaret eden piklerin olduğunu göstermiştir. Mezojenik faz dönüşümlerin genellikle 1. düzende gerçekleştiği ve soğutma sırasında gerçekleşen dönüşümlerin daha düzenli olduğu görülmüştür. Soğutma sırasında gözlenen Smektik A fazının termal stabilitesinin diğer fazların termal stabilitesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle SmA fazı bu çalışmada daha karardır denilebilir. Soğutma sırasında gözlenen mezofaz alanının ısıtma sırasında gözlenen mezofaz alanından daha geniş olduğu ve 5CB/8CB sıvı kristal karışımının mezofaz alanının yaklaşık 102 °C ile diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Isıtma esnasında görülen pik sıcaklık ve entalpi değişim değerleri soğutma sırasında görülen pik sıcaklık ve entalpi değişim değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi maddenin ısıtılması esnasında bazı kimyasal bağların yüksek enerji sebebiyle kırılmaları ve soğutulması esnasında kırılan bu bağların yeniden oluşamamasıdır.

Üretilen 5BA/5CB, 5BA/6CB, 5BA/7CB ve 5BA/8CB karışımlarının faz dönüşümleri için morfolojik tekstürleri devamlı ısıtma ve soğutma sırasında POM ile analizi yapılmıştır. Soğutma sırasında görülen faz geçiş sıcaklığı ısıtma sırasında görülen faz geçiş sıcaklığına göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. DSC çalışmalarında bulunan faz geçiş sıcaklıklarının, POM çalışmalarından elde edilen faz geçiş sıcaklıklarıyla uyumlu içinde

olduğu görülmüştür. POM çalışmalarında elde edilen verilere göre 5BA/7CB ve 5BA/8CB karışımlarında ısıtma sırasında smektik C fazı gözlenmiştir. Buradaki dönüşüm fazların adlandırmaları yapılırken DSC çalışmalarıyla da uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Üretilen sıvı kristal karışımlarla ilgili ilerleyen yıllarda daha duyarlı ısıtma tablası olan POM cihazı kullanılarak faz geçişleri gözlenebilir. Daha net ve çözünürlüğü yüksek faz geçiş görüntüleri çekilebilir. Farklı karışım oranlarında sentezlenerek karışımların DSC ve POM analizleri yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Akar, B. 2006, Nematik Sıvı Kristallerin Tek Duvarlı Karbon Nanotüplerin Yöneliminde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi. GYTE. Gebze.
- Bahadır, B., (1995), Liquid Crystals Applications and Uses, *World Scientific Publishing Co.Pte. Ltd.*
- Balejščíková L., Lacková V. , Tomašovičová N. , Kováč J. , Kopčanský P. Experimental assessment of interactions between liquid crystal 4-cyano-4'-hexylbiphenyl and magnetoferritin. *Mendeleev Communications* Volume 30, Issue 1, January–February 2020, Pages 73–75.
- Bilen, K., (1994), Isıtılan Düzlem Bir Plakaya Dik ve Eğik Hava Jeti Çarpmasında Isı Transfer Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi, *KTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi*, Trabzon, 86.
- Blinov, L. M. and Chigrinov, V. G., 1994, *Electrooptic Effects in Liquid Crystal Material*. Springer-Verlag, New York.
- Buyuktanir E.A., Frey M.W, West J.L. 2010, Self-assembled, optically responsive nematic liquid crystal/polymer core-shell fibers: *Formation and characterization* Polymer Volume 51, Issue 21, 1 October 2010, Pages 4823-4830.
- Chen L.G., 2007, Thermo-Optical Properties of Polymer Dispersed Liquid Crystals. *Ph.D. Thesis*. RMIT University.
- Chandrasekhar, S. (1992). *Liquid Crystals*. Cambridge University Press.
- Chandrasekar, G., Pongali Sathya Prabu, N., MadhuMohan, M.L.N., 2018, Calorimetric investigations of hydrogen-bonded liquid crystal binary mixtures, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 134, 1799–1822.
- C. Keith, R.A. Reddy, A. Hauser, U. Baumeister, C. Tschierske, Silicon-Containing Polyphilic Bent-Core Molecules: The Importance of Nanosegregation for the Development of Chirality and Polar Order in Liquid Crystalline Phases Formed by Achiral Molecules , *J. Am. Chem. Soc.* 126, 3051-3066 (2006).
- Colling P. and Hird, M., (2001), "Introduction to Liquid Crystals, Chemistry And Physics", Taylor & Francis Ltd.
- Collings, P.J. (2002), *Liquid Crystals: Nature's Delicate Phase of Matter*. Princeton University Press.
- DasGupta S., Roy S.K. 2003, Splay and bend elastic constants and rotational viscosity coefficient in a mixture of 4-4-n-pentyl-cyanobiphenyl and 4-4-n-decyl-cyanobiphenyl. *Physics Letters A* 306 (2003) 235–242.

- Devadiga D., Ahipa T. N. A. 2022, Review on the emerging applications of 4-cyano-4'-alkylbiphenyl (nCB) liquid crystals beyond display. *Materials Science and Engineering: B* Volume 275, January 2022, 115522.
- De Gennes P. G. and Prost J. 1993, *Physics of Liquid Crystals* 2nd Ed. (Oxford: Clarendon Press). Tschierske, C. *Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C* 2001, 97, 191.
- Dindar S. 2021, Bazı Mezojenik/Nonmezojenik Sıvı Kristal Karışımların Termal Ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, Batman Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Batman.
- Dierking, I., 2003, *Textures of Liquid Crystals 1st ed.* Wiley-VCH, Germany, 33-36, 172-212.
- Donino, B., Guillion, D., Deschenaux, Bruce, D.W., (2003). *Comprehensive Coordination Chemistry II* Eds. McCleverty, J.A., Meyer, T.J., Pergamon, Oxford.
- Dong R.Y., Kohlmeier A., Tamba M.G., Mehl G. H., Burnell E.E. 2012, Solute NMR study of a bimesogenic liquid crystal with two nematic phases. *Chemical Physics Letters* Volume 552, 12 November 2012, Pages 44-48.
- Ekici Z., 2014. Sıvı kristaller, Genel Özellikleri, Sıvı kristallerin sentezi ve uygulama alanları Adıyaman Üniversitesi Yüksek Lisans tezi, Adıyaman.
- Eker Z., 2023, Sıvı Kristal Karışımların Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Batman Üniversitesi. Batman.
- Elouali F.Z., Tabet D. A., 2009. Memory effects of polymerized 2-hydroxyethyl methacrylate/ 4-cyano-4'-pentylbiphenyl mixtures. *Physics Procedia* 2 (2009) 1405–1410.
- Emek, M., 2007, Faz Dönüşümlerinin Nematik Sıvı Kristallerin Elektrooptik Özelliklerine Etkisi, Çukurova Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Adana, 33.
- Epik, H., 1995, Nematik ve Simektik Fazlarda Işık Transmisyonu, Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi. İzmir.
- Friedel, G., 1922, The Mesomorphic States of Matter (Les états mésomorphes de la matière) *Annales de Physique* 18, 273–474.
- Ghanadzadeh A. and Beevers M.S. The static Kerr effect of two nematic mixtures comprised of pentyl and heptyl cyanobiphenyls in the isotropic phase. *Journal of Molecular Liquids* Volume 112, Issue 3, 30 July 2004, Pages 141-145.
- Goodby, J. W. 1998, *Handbook of liquid crystals (Vol. 1)*. Wiley.

- Goodby, J. W., Bruce, D. W., Hird, M., Imrie, C. ve Neal, M., 2001, "An Introduction to Materials Discussion No. 4: *Molecular Topology in Liquid Crystals*", J. Mater. Chem., 11:2631-2636.
- Gwizdała W., Górny K., Gburski Z. 2008, Molecular Dynamics and dielectric loss in 4-cyano-4-*n*-pentylbiphenyl (5CB) mesogene film surrounding carbonnanotube—Computersimulation. *Journal of Molecular Structure* Volume 887, Issues 1–3, 17 September 2008, Pages 148-151.
- Gwizdała W., Górny K., Gburski Z. 2011, Thedynamics of 4-cyano-4-*n*-pentylbiphenyl (5CB) mesogen molecules located between graph enelayers—MD study.*Spectrochimica Acta PartA: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* Volume 79, Issue 4, 15 August 2011, Pages 701-704.
- Hamdi, R., Khalfallah, C. B., Soltani, T., 2020, Synthesis and Study of Physicochemical Properties of Relatively High Birefringence Liquid Crystals: Tolane-TypeWith Symmetric Alkoxy Side Groups, *Journal of Molecular Liquids*, 310, 113205.
- Harris K. D., Bastiaansen C. W. M., andBroer D. J., 2007, Physical Properties of Anisotropically Swelling Hydrogen-Bonded Liquid Crystal Polymer Actuators. *Journal of Micro electromechanical Systems*.Vol. 16, No. 2, 480-488.
- Ihata O., Yokota H., Kane K., Ujiie† S., and Kato T., 2000, Induction of Mesophases Through the Complexation Between Benzoic Acids With Lateral Groups and Polyamides Containing a 2,6-diaminopyridine Moiety. *Liquid Crystals*. Vol. 27, No. 1, 69- 74.
- Imrie, C. T., Inkster, R. T., Lu, Z. B., Ingram, M. D. 2004, Discotic side group liquid crystal polymer electrolytes. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol. 408, pp. 33-43.
- Nishiyama I, J. Yamamoto, J. W. Goodbyand H. Yokoyama: "Novel ChiralEffects on the Molecular Organization in the Liquid-crystalline Phases" Chem. Mater. 16, 3212 (2004).
- Kara, Y. E. , Gülseven Sıdır, Y. & Horoz, S. 2023, Thestudy on determination interactions between liquid crystals and nanoparticle: Fluorescencespectra of nanoparticle-dopedliquid crystals. *Open Journal of Nano*, 8 (1) , 50-64 .
- Katranchev B.and Petrov M., 2005, Surface Orientation of Smectics C and Nematic With Short Range Smectic C Order Using a Holographic Diffraction Grating. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 7, No. 1, p. 265 – 268.
- Kaya, N., 2010, Mavi - Kırmızı Boya ve Karbon Nanotüp Katkılı Nematik Sıvı Kristallerin Karakterizasyonu ve Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Kekler, H. ve Hatz, R., 1980, *Handbook of Liquid Crystals*, Verlag Chemie, Weinheim

- Khoo, I.C., 1993, Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals, *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.*, Singapore, 440s.
- Khoo, I.C., 1995, Liquid Crystals Physical Properties and Nonlinear Optical Phenomena, John Wiley & Sons, Inc., New York, 320s.
- Kırmızıgül F. 2008, CdO İnce Filmlerin Püskürtme Yöntemi İle Hazırlanması, Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Kim C., Jang C.A pH-dependent optical sensor based on ultraviolet-treated liquid crystals to detect xanthine. *Sensors and Actuators B: Chemical* Volume 372, 1 December 2022, 132652.
- Kirchhoff, J., 2010, Investigations into Complex Liquid Crystal Mixtures, Florida State University, Florida.
- Korkmaz B. 2022, Synthesis Of New Mesogens And Investigation Of Their Liquid Crystalline Properties, İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora Tezi, İstanbul.
- Kozen, A. C., et al. 2017, "Nanoporous liquid crystal electrolytes for lithium metal batteries," *Nature Materials*, 2017.
- Köysal, O., (2007). Azo boya ve fullerene katkılı nematik sıvı kristallerin elektro optik özelliklerinin incelenmesi. *Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*. Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi, Kocaeli.
- Kyrou C., Ambrozic M., Tsiourvas D., Kralj S., Atata S.B., Lelidis I. 2023, Effect of quantum dots on the phase behavior and order of 8CB liquid crystal. *Journal of Molecular Liquids* Volume 387, 1 October 2023, 122568.
- Lagerwall, J. P. F., & Scalia, G. 2012, A new era for liquid crystal research: applications of liquid crystals in soft matter nano-, bio- and micro technology. *Current Applied Physics*, 12(5-6), 1387-1412.
- Leaf Group Medya 1655 26th St Santa Monica; <https://sciencing.com/types-liquid-crystals-6707420.html>.
- Matsuoka T., Mizoguchi Y., Koda S., Yamamuro N.O., Ogawa H., Nomura H. Reorientational motion and volume tric behavior in the binary mixtures of 4-cyano-4'-pentylbiphenyl and triphenylphosphite. *Journal of Molecular Liquids* Volume 119, Issues 1-3, 15 May 2005, Pages 107-111.
- Nesrullazade, A., 2000, Sıvı Kristaller: Yapıları, Özellikleri, Uygulamaları, *Ege Üniversitesi Basım Evi*, İzmir, 436s.
- Niu X., Liu W., Sun S. 2017, Study of Langmuir-Blodgett films of chiral nematic liquid crystals prepared by a templating method. *Journal of Molecular Liquids* Volume 241, September 2017, Pages 662-665.

- Ojha P.D. , Praveen P.L. 2013, Theoretical study on liquid crystal cyanobiphenyls: Phase stability and phase behavior. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* Volume 74 Issue 11, November 2013, Pages 1653-1659.
- Okumuş M. 2012, Alkil Benzoik asit ve alkiloksisianobifenil- benzoik asit sıvı kristaller ve karışımlarının faz dönüşümleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Ün. Doktora Tezi, Kahramanmaraş.
- Okumuş M., Özgan Ş., Kırık İ., Kerli S. 2016, Thermal and optical characterization of liquid crystal 4'-hexyl-4-biphenylcarbonitrile/4-hexylbenzoic acid mixtures. *Journal of Molecular Structure* Volume 1120, 15 September 2016, Pages 150-155.
- Oladejo S.A. 2021, Temperature-dependent fluorescence emission of 4-cyano-4'-pentyl biphenyl and 4-cyano-4'-hexylbiphenyl liquid crystals and the bulk phase transitions. *Journal of Molecular Liquids* Volume 323, 1 February 2021, 114590.
- Özaydın, S., 2007, Bazı karışım Nematik Sıvı Kristallerde Elektrooptik Özelliklerinin Faz Sıcaklığında incelenmesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Özgen, Ş., Yazıcı, M., 2003. Sıvı Kristaller ve Faz Geçişleri, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2): 20-26.
- Pal, S. K. and Kumar, S., 2017, *Liquid Crystal Dimers*, Cambridge University Press 2.
- Blinov, L.M. and Chigrinov, V.G., 1993, *Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials*, Springer Science & Business Media, 1.
- Prabu, N. P. S., Vijayakumar V. N. and Mohan M. L. N. M., 2011, Characterization of Hydrogen Bonded Liquid Crystal Homologous Series: Detailed FTIR Studies in Various Mesophases, *Journal of Molecular Structure*, 994(1-3), 387-391.
- Rosales, J. L., et al. 2021, "Liquid Crystal-Based Sensors: Recent Advances and Future Perspectives," *Sensors*, 2021.
- San, S. E., 2002, Boya Katkılı Nematik Sıvı Kristallerde Optik Nonlinearitenin Kırınım Ağı Difraksiyonu Yöntemi ile İncelenmesi, Doktora Tezi. GYTE. Gebze.
- Schadt, M. 1994, "Liquid Crystal Displays". H. Stegemeyer (Ed.). *Liquid Crystals*. New York: Steinkopff/Springer. ss. 195-226.
- Schadt, M. 1997, "Liquid Crystal Materials and Liquid Crystal Displays". E. N. Kaufmann; Ch. J. Summers (Ed.). *Annual Review of Materials Sciences*. 27. New York. ss. 305-375.
- Singh, S., 2002, *Liquid Crystal Fundamentals*, World Scientific, Singapore, 312-314.
- Shen, D., 2000, PhD-Thesis, Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg.
- Donino, B., Guillion, D., Deschenaux, Bruce, D.W., (2003). *Comprehensive Coordination Chemistry II* Eds. Mc Cleverty, J.A., Meyer, T.J., Pergamon, Oxford.

- Shin, S., T., Kumar, S., Finotello, D., Keast, S., S., Neubert, M., E., 1992, High-Precision Heat Capacity Study of Phase Transitions In A Lyotropic Liquid Crystal, *Physical Review A*, 45, 8683-8692.
- Skoog, D.A., Holler, F.J. ve Nieman, T.A., 1998, Principles of Instrumental Analysis, 5th Edition, Kılıç, E., Köseoğlu, F., Yılmaz, H., (çeviri) *Bilim Yayıncılık*, Ankara, s. 850.
- Sundaram, S., Subhasri, P., Rajasekaran, T., Jayaprakasam, R., Senthil T., Vijayakumar, V., 2017, Induced smectic X phase through intermolecular hydrogen bonded liquid crystals formed between citric acid and pn-(octyloxy) benzoic acid, *Brazilian Journal of Physics* 47, 382-392.
- Svård M., Nordström F.L., Jasnobulka T. And Rasmuson Å.C., 2010, *Thermodynamics and Nucleation Kinetics of m-Amino benzoic A, Cryst. Growth Des.* 10(1), 195-204.
- Taguchi D., Hamatsu M., Kitazawa K., Manaka T., Iwamoto T. 2006, Orientational ordering process of 4'-n-pentyl-4-cyanobiphenyl molecules deposited on polyimide Langmuir-Blodgett films. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* Volumes 284-285, 15 August 2006, Pages 263-266.
- Takezoe H. "Bent-Core Liquid Crystals: Their Mysterious and Attractive World" *Jpn. J. Appl. Phys.* 45 (2A), 2006, pp.597-625.
- The Official Web Site of the Nobel Prize, http://www.nobelprize.org/educational/physics/liquid_crystals/history/, 15 Kasım 2015.
- Upadhyay P., Rastogi M. K., Kumar D. 2015, Polarizability study of nematic liquid crystal 4-cyano-4'-pentylbiphenyl (5CB) and its nitro derivatives. *Chemical Physics* Volume 456, 29 July 2015, Pages 41-46.
- Uzun, H., 2001, m-Hidroksibenzoik asit İçeren Termotropik Sıvı Kristal Kopoliesterlerin Sentezi ve Bazı Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-64.
- Valisko', M., Liszi, J., Szalai, I., 2004. Relative Permittivity of a Few H-bonded Liquid Crystals. *Journal of Molecular Liquids* 109, 39-43.
- Wang Y., Zhao L., Xu A, Wang L., Zhang L., Liu S., Liu Y., Li H. 2018, Detecting enzymatic reactions in penicillinase via liquid crystal micro droplet-based pH sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical* .Volume 258, 1 April 2018, Pages 1090-1098.
- Yablonovitch, E., "Liquid-Crystal Displays: Are They Planar or Homeotropic?," *Science*, 1993.
- Zhao, D.Y., Meng, Q.Y., Cui, X.P. and Yang, H., 2009, Synthesis and Mesomorphic Properties of Novel Tolane-type Liquid Crystals. *Chinese Chemical Letters*, 20: 1283-1286.

Zola, R. S. 2007, Liquid crystals: concepts and physical properties illustrated by experiments. *World Scientific Publishing Co.*

(url**) <https://asubtam.aksaray.edu.tr/diferansiyel-taramali-kalorimetre-cihaz-dsc>

(1, url) Liquid Crystals, History and Properties of Liquid Crystals, http://www.nobelprize.org/educational/physics/liquid_crystals/history/index.html, 5 Mart 2013.

(*, url) Lehmann's Polarization Microscope, http://www.personal.soton.ac.uk/tim/crystals_that_flow/lehmann_microscope.jpg, 10 Nisan 2013.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erhan BAYRAM
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: İbrahim ÇEÇEN Üniversitesi, Merkez, Ağrı	2012
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi ,Merkez, Batman	2023
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2021 -	100.Yıl Ortaokulu	Öğretmen

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

YAYINLAR