



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**BAZI MEZOJENİK/NONMEZOJENİK SIVI
KRİSTAL KARIŞIMLARIN TERMAL VE
OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan DİNDAR

**Danışman
Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ**

**Ağustos-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Sinan DİNDAR tarafından hazırlanan "Bazı Mezozenik/Nonmezozenik Sıvı Kristal Karışımların Termal ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi" adlı tez çalışması 27/08/20021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Hasan ESKALEN

Danışman

Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Cihat ÖZAYDIN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür 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 atıf 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.

İmza

Sinan DİNDAR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

BAZI MEZOJENİK/NONMEZOJENİK SIVI KRİSTAL KARIŞIMLARIN TERMAL VE OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sinan DİNDAR

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman: Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

2021, 71 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Hasan ESKALEN

Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Dr. Öğr. Üyesi Cihat ÖZAYDIN

Sıvı kristaller katıların düzenli halini ve sıvıların akışkan halini birlikte gösterdiğinden teknolojik uygulamalarda oldukça ilgi çekici maddelerdir. Keşfi yüzyıl öncesine dayanmasına rağmen teknolojik ve endüstriyel anlamda kullanımı yenidir. Günümüzde birçok sıvı kristal karışım sentezlenmiştir ve sentezlenmeye de devam edilmektedir. Bu tez çalışmasında da nonmezojenik olan 4-Aminobenzoik asit (4ABA) ve 3-Aminobenzoik (3ABA) asitleri ile mezojenik 4-(Oktiloksi)benzoik asit (8OBA)'ın karışımları üzerinde çalışılmıştır. Değişik oranda sıvı kristal karışımlar üretilmiş ve üretilen sıvı kristal karışımların sıvı kristalik özellikleri incelenmiş ve karakterizasyonu yapılmıştır. Karışımların termal analizleri için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) kullanılmıştır. Faz geçiş sıcaklıkları ve entalpileri gibi önemli özellikler tayin edilmiştir. Karışımların mikro yapı özellikleri X-Işınları Difraksiyonu (XRD) ile incelenmiştir. Kimyasal bağ durumları FTIR analizleriyle belirlenerek yorumlanmıştır. Karışımların sıvı kristalik faz tayini Polarize Optik Mikroskop (POM) ve DSC ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre karışımlarının termal analizlerindeki faz geçişleri ve faz yapıları üretilen malzemelerin sıvı kristalik özellik gösterdiği anlaşılmıştır. DSC analizinde görülen geniş nematik alan aralığı özellikle teknolojik ve endüstriyel anlamda kullanılan sıvı kristallerde tercih edilen bir özelliktir. Karışımların ısıtma oranına bağlı faz geçiş sıcaklıkları ölçüldüğünde ısıtma oranı arttıkça faz geçiş sıcaklıkları çok az miktarda artmaktadır. Isıtma oranı arttıkça, faz geçiş aralıklarında da artış gözlenmiştir. IR spektrumlarında gözlemlenen (O-H) pikleri ve (C=O) pik kaymaları, karışımı oluşturan maddeler arasında bir kompleksleşmeyi ve bu kompleksleşmenin de yeni bir sıvı kristal faz oluşturduğunu ifade etmiştir. IR spektroskopisinde gözlemlenen H bağı varlığı sentezlenen sıvı kristallerin monomerik yapıda olduğunu göstermektedir. XRD analizinde ölçülen bazal mesafe (tabakalar arası mesafe) karışımları oluşturan maddelerin bazal mesafe değerleri arasındadır. X ışınları kırınımındaki veriler sıvı kristal karışım moleküllerin monoklinik yapı oluşturduğunu göstermektedir. XRD grafiklerinde gözlenen keskin ve düzenli pikler karışımın kristal yapısının düzenli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: DSC, Faz Geçişleri, POM, Sıvı Kristal Karışımlar, Termal Özellikler, XRD

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THERMAL AND OPTICAL PROPERTIES OF SOME MESOGENIC/NONMESOGENIC LIQUID CRYSTAL MIXTURES

Sinan DİNDAR

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN PHYCS**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

2021, 71 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Hasan ESKALEN

Assoc. Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Asst. Prof. Dr. Üyesi Cihat ÖZAYDIN

Liquid crystals are very interesting materials in technological applications because they show the ordered state of solids and the fluid state of liquids together. Although its discovery dates back a century, its technological and industrial use is new. Today, many liquid crystal mixtures have been synthesized and continue to be synthesized. In this thesis, mixtures of non-mesogenic 4-Aminobenzoic acid (4ABA) and 3-Aminobenzoic (3ABA) acids and mesogenic 4-(Octyloxy)benzoic acid (8OBA) were studied. Different ratios of liquid crystal mixtures were produced and the liquid crystalline properties of the produced liquid crystal mixtures were investigated and characterized. Differential Scanning Calorimetry (DSC) was used for the thermal analysis of the mixtures. Important properties such as phase transition temperatures and enthalpies have been determined. The microstructural properties of the mixtures were investigated by X-Ray Diffraction (XRD). Chemical bond states were determined by FTIR analysis and interpreted. Liquid crystalline phase determination of the mixtures was made with Polarized Optical Microscope (POM) and DSC. According to the results obtained, it was understood that the phase transitions and phase structures in the thermal analyzes of the mixtures showed liquid crystalline properties. The wide nematic field range seen in DSC analysis is a preferred feature especially in liquid crystals used in technological and industrial terms. When the phase transition temperatures of the mixtures are measured depending on the heating rate, the phase transition temperatures increase slightly as the heating rate increases. As the heating rate increased, an increase was also observed in the phase transition intervals. The (O-H) peaks and (C=O) peak shifts observed in the IR spectra indicated that there was a complexation between the substances forming the mixture and this complexation formed a new liquid crystal phase. The presence of H bond observed in IR spectroscopy shows that the synthesized liquid crystals are in monomeric structure. The basal distance (distance between the layers) measured in the XRD analysis is between the basal distance values of the substances that make up the mixtures. X-ray diffraction data show that liquid crystal mixture molecules form monoclinic structures. The sharp and regular peaks observed in the XRD graphs show that the crystal structure of the mixture is regular.

Keywords: DSC, Liquid Crystal Mixtures, Phase Transitions, POM, Thermal Properties, XRD.

ÖNSÖZ

Bu tez araştırmasında değerli bilgilerini benimle paylaşan saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ ve tüm hocalarıma sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan sevgili aileme ve kıymetli eŐime sonsuz teŐekkür ederim.

Sinan DİNDAR
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. SIVI KRİSTALLER	4
2.1. Sıvı Kristal Nedir?	4
2.2. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması.....	6
2.2.1. Termotropik Sıvı Kristaller	7
2.2.2. Liyotropik Sıvı Kristaller	10
2.2.3. Diskotik (Disk Benzeri) Sıvı Kristaller	11
2.3. Sıvı Kristallerde Anizotropik Fiziksel Özellikler	11
2.3.1. Düzen Parametresi	11
2.3.2. Manyetik Anizotropi	12
2.3.3. Optiksel Anizotropi.....	14
2.3.4. Dielektrik Anizotropi	15
2.3.5. Viskozite.....	17
2.4. Sıvı Kristal Karışımlar	19
2.5. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları	20
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	24
4. MATERYAL VE YÖNTEM	31
4.1. Materyal	31
4.2. Karışımların Hazırlanması	32
4.3. Deneyde Kullanılan Cihazlar	33
4.3.1. Polarize Optik Mikroskop (POM)	33
4.3.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)	34
4.3.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi (FTIR).....	34
4.3.4. X-Işını Difraktometresi (XRD).....	37
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	39
5.1. POM Çalışmaları	39
5.1.1. SM1 Sıvı Kristalinin POM Analizi	39

5.1.2. SM2 Sıvı Kristalinin POM Analizi.....	41
5.1.3. SM3 Sıvı Kristalinin POM Analizi.....	43
5.1.4. SM4 Sıvı Kristalinin POM Analizi.....	45
5.2. DSC Çalışmaları.....	47
5.2.1. SP1 Termal Analizi.....	48
5.2.2. SP2 Termal Analizi.....	49
5.2.3. SM1 Sıvı Kristalinin Termal Analizi.....	50
5.2.4. SM2 Sıvı Kristalinin Termal Analizi.....	51
5.2.5. SM3 Sıvı Kristalinin Termal Analizi.....	52
5.2.6. SM4 Sıvı Kristalinin Termal Analizi.....	53
5.2.7. SM5 Sıvı Kristalinin Termal Analizi.....	54
5.2.8. SM6 Sıvı Kristalinin Termal Analizi.....	55
5.2.9. SM7 Sıvı Kristalinin Termal Analizi.....	56
5.2.10. SM8 Sıvı Kristalinin Termal Analizi.....	57
5.2.11. SM1 Sıvı Kristalinin Isıtma Oranına Bağlı Termal Analizi.....	58
5.3. FTIR Çalışmaları.....	59
5.3.1. SM1 Sıvı Kristalinin IR Spektroskopisi.....	61
5.3.2. SM2 Sıvı Kristalinin IR Spektroskopisi.....	63
5.3.3. SM3 Sıvı Kristalinin IR Spektroskopisi.....	64
5.3.4. SM4 Sıvı Kristalinin IR Spektroskopisi.....	65
5.4. XRD Çalışmaları.....	67
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4. 1. Deneyde kullanılan maddelerin kimyasal yapılarının ve lineer formüllerinin gösterimi.....	31
Çizelge 4. 2. Deneyde araştırılan kimyasal maddeler ve sentezlenen karışımlar	32
Çizelge 5. 1. SP1 numunesinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).	49
Çizelge 5. 2. SP2 faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	50
Çizelge 5. 3. SM1 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	51
Çizelge 5. 4. SM2 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	52
Çizelge 5. 5. SM3 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	53
Çizelge 5. 6. SM4 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	54
Çizelge 5. 7. SM5 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	55
Çizelge 5. 8. SM6 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	56
Çizelge 5. 9. SM7 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	57
Çizelge 5. 10. SM8 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).....	58
Çizelge 5. 11. SM1 sıvı kristalinin ısıtma oranına bağlı faz geçiş sıcaklıkları.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1. Friedrich Richard Kornelius Reinitzer (1857-1927).....	2
Şekil 2. 1. Sıvı kristal moleküllerinin faz geçiş aşamalarının şematik gösterimi	4
Şekil 2. 2. Kalamitik sıvı kristal: (a) kimyasal yapı, (c) boşluk doldurma modeli, (e) fiziksel model. Diskotik sıvı kristal: (b) kimyasal yapı, (d) boşluk doldurma modeli, (f) fiziksel model.....	5
Şekil 2. 3. Sıvı kristallerin sınıflandırılması	7
Şekil 2. 4. a) Nematik fazda moleküler düzenlemeler. b) Polarize ışık mikroskobu ile görüntülenen nematik doku	8
Şekil 2. 5. a) Smektik A fazında moleküler düzenlemeler. b) Polarize optik mikroskobu ile görüntülenen Smektik A fazının dokusu	8
Şekil 2. 6. a) Smektik C fazında moleküler düzenlemeler b) Polarize optik mikroskobu ile görüntülenen Smektik C fazının dokusu.....	9
Şekil 2. 7. a) Kolesterik fazda moleküler düzenlemeler b) Polarize optik mikroskobu ile görüntülenen Kiral (Kolesterik) fazının dokusu	10
Şekil 2. 8. Disk benzeri sıvı kristal.....	11
Şekil 2. 9. Sıvı kristal moleküllerinin yönelimi (A) Smektik, (B) Nematik ve (C) İzotropik faz	16
Şekil 2. 10. a) Bir sıvı kristal molekülünün ϵ_{\perp} ve ϵ_{\parallel} dielektrik sabitleri. b) direktör	17
Şekil 2. 11. Nematik sıvı kristallerin viskozitesinin ölçülmesi.....	18
Şekil 2. 12. Sıcaklık ile üç viskozitenin tipik değişimi	19
Şekil 2. 13. E7 ötektik sıvı kristal karışımının kimyasal bileşenleri	20
Şekil 2. 14. Nematik sıvı kristal ekran	22
Şekil 4. 1. Faz geçişlerini gözlemlemek için hazırlanan sıvı kristal hücreleri	32
Şekil 4. 2. Polarize ekipmanlı araştırma mikroskobu.....	33
Şekil 4. 3. Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı.....	34
Şekil 4. 4. Polistirenin kızılötesi spektrumu	35
Şekil 4. 5. FTIR Spektrum Cihazı.....	36
Şekil 4. 6. X-Işını Difraktometrisi (XRD) cihazı.....	38
Şekil 5. 1. SM1 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 50 °C, b) 80 °C, c) 110 °C, d) 125 °C, e) 130 °C, f) 145 °C	40
Şekil 5. 2. SM1 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 100 °C, b) 82 °C, c) 60 °C, d) 40 °C	41
Şekil 5.3. SM2 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 90 °C, b) 110 °C, c) 160 °C, d) 180 °C	42
Şekil 5. 4. SM2 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 85 °C, b) 70 °C	43
Şekil 5. 5. SM3 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a): 60 °C, b): 85 °C, c): 110 °C, d): 140 °C, e):175 °C, f) 180 °C	44
Şekil 5. 6. SM3 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 110 °C, b) 90 °C, c) 70°C, d) 40 °C.....	45
Şekil 5. 7. SM4 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 50 °C, b) 90 °C, c) 120 °C, d) 150 °C, e) 160 °C, f) 170 °C	46

Şekil 5. 8. SM3 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 110 °C, b) 100 °C, c) 70 °C, d) 40 °C.	47
Şekil 5. 9. SP1 DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı	48
Şekil 5. 10. SP2 DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.	49
Şekil 5. 11. SM1 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.....	50
Şekil 5. 12. SM2 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.....	51
Şekil 5. 13. SM3 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.....	52
Şekil 5. 14. SM4 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.....	53
Şekil 5. 15. SM5 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.....	54
Şekil 5. 16. SM6 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.....	55
Şekil 5. 17. SM7 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.....	56
Şekil 5. 18. SM8 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.....	57
Şekil 5. 19. SM1 sıvı kristalinin ısıtma oranına bağlı termal analizi	58
Şekil 5. 20. 8OBA FTIR Spektrumu	60
Şekil 5. 21. 4ABA FTIR Spektrumu	60
Şekil 5. 22. 3ABA FTIR Spektrumu	61
Şekil 5. 23. SM1 (8OBA/4ABA karışım kompleksinin) FTIR spektrumu	62
Şekil 5. 24. SM2 (8OBA/3ABA karışım kompleksinin) FTIR spektrumu	63
Şekil 5. 25. SM3 (8OBA/4ABA karışım kompleksinin) FTIR spektrumu	64
Şekil 5. 26. SM4 (8OBA/3ABA karışım kompleksinin) FTIR spektrumu	65
Şekil 5. 27. SM1 ve SM2 sıvı kristal karışımlarının XRD sonuçları	67
Şekil 5. 28. SM3 ve SM4 sıvı kristal karışımlarının XRD sonuçları	67
Şekil 5. 29. %50-%50 mol oranında üretilen SM1 sıvı kristal karışımının bileşenleri ile karşılaştırılması	68
Şekil 5. 30. %50-%50 ağırlık oranında üretilen SM3 sıvı kristal karışımının bileşenleri ile karşılaştırılması	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Plakaların Kesit Alanı
B	Manyetik İndüksiyon
H	Manyetik Alan Gücü
M	Mıknatıslanma
n	Molekülerin Ortalama Yön Direktörü
n_e	Olağandışı Kırılma İndisi
nm	Nanometre
n₀	Normal Kırılma İndisi
S	Düzen Parametresi
v	Kinematik Viskozite
ε	Dielektrik Sabiti
η	Dinamik Viskozite
μ₀	Boş Alan Geçirgenliği
ρ	Yoğunluk
χ	Manyetik Duyarlılık
χ^m	Kütleyle Bağlı Manyetik Duyarlılık
χ^M	Molar Duyarlılık
Δε	Dielektrik Anizotropi
Δn	Optiksel Anizotropi veya çift kırılma
θ	Eğim Açısı, Sapma Açısı

Kısaltmalar

Cr	Kristal Faz
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi
I	İzotropik Faz
LC	Sıvı Kristal
N	Nematik Faz
POM	Polarize Optik Mikroskop
SmA	Smektik A Fazı
SmC	Smektik C Fazı
TLC	Termotropik Sıvı Kristaller
XRD	X-Işını Difraktometresi
3ABA	3-Aminobenzoik asit
4ABA	4-Aminobenzoik asit
8OBA	4-(Oktiloksi)benzoik asit

1. GİRİŞ

Maddeyi oluşturan taneciklerin dizilimlerine göre maddeler en temel düzeyde doğada üç halde bulunur. Bu haller; katı, sıvı ve gazdır. Katı halde, maddeyi oluşturan tanecikler arasındaki boşluk yok denecek kadar azdır ve tanecikler düzenli bir dizilim gösterirler. Tanecikler arasındaki bağlar güçlü olduğundan yer değiştirme hareketi yapamazlar ancak titreşim hareketi yapabilirler. Bu nedenle belirli bir şekle ve hacme sahiptirler. Yine de katı bir madde yeterince ısıtılırsa maddeyi oluşturan taneciklerin titreşimi artar ve bir noktada tanecikler arası bağlar zayıflayarak madde sıvı hale geçer. Sıvı halde madde akışkandır ve belirli bir hacme sahiptir ancak belirli bir şekli yoktur. Sıvı tanecikleri titreşim hareketinin yanında öteleme hareketi de yaparlar. Kristal katıların anizotropik yönelimlerine karşın sıvılar izotropik maddelerdir. Bazı maddeler katı halden sıvı hale geçerken ara fazlar gösterebilirler. Katılardaki düzenli kristal yapıyı ve sıvıların akışkanlıklarını birlikte gösteren bu ara fazdaki maddeler sıvı kristal maddelerdir. Sıvı kristal maddeler ısıtıldığında anizotropik katıdan izotropik sıvıya direkt geçmek yerine ara fazlar göstererek kademeli bir geçiş sergiler. Katıların düzenli kristal yapısı ve sıvıların akışkan yapısını bir arada gösterdiğinden üstün özelliklere sahiptirler.

Sıvı kristal maddeler yüksek geometrik anizotropiye sahip olduğundan çok ilgi çekici maddelerdir. Sıcaklık, basınç, elektrik alan, manyetik alan vb. altında çok değişik etkiler gösterebildiğinden bilim insanlarınınca ilgi odağı olmuştur. Elektrik ve manyetik alanda moleküllerin sıraya dizilmesi, çift kırınım, viskozite, iletkenlik ve esnek yapıda olma gibi özellikler sıvı kristallerin çok geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlamıştır. Sıvı kristallerin bilinen en yaygın kullanım alanı Sıvı Kristal Ekran teknolojisidir. Televizyonlarda, uçak kokpitlerinde, saatlerde, monitörlerde, hesap makinelerinde vb. sıvı kristal ekran kullanılır. Sıvı kristal moleküller dış etkenlere karşı aşırı hassasiyet gösterdiğinden sensör uygulamalarında da yaygın olarak kullanılır. Moleküllerin havadaki gaz değişimlerine karşı gösterdiği tepkiden yararlanılarak çevre kirliliğine karşı sensör geliştirilmiştir. Tıpta hastalıklı dokuların teşhisinde ve termometreler gibi birçok alanda da sıvı kristaller kullanılmaktadır.

Sıvı kristaller teknolojik ürünlerde kullanılmak üzere yapay olarak üretildiği gibi doğal olarak canlı dokularda da bulunabilir. Hücre zarında, ilkel plazma kütlelerinde, düz ve çizgili kasların yapısında da doğal olarak sıvı kristal bulunur. Bilim insanlarının

yaptığı çalışmalara göre insan beyninin yapısında da sıvı kristaller bulunmaktadır. Ayrıca sabunun yapısında da sıvı kristal yapılar bulunmaktadır.

1800'lü yılların ortalarında Virchow, Mettenheimer ve Valentin sinir lifini su içerisinde gözlemlediklerinde akışkan ve polarize ışık altında ilginç davranışlar sergilediklerini gözlemlemişlerdir. Bu üç bilim insanı sıvı kristalleri ilk defa gözlemlemiştir. Ancak bunun yeni bir faz olduğunu keşfedememişlerdir. Sıvı kristaller ilk olarak 1888 yılında Avusturyalı botanikçi Friedrich Richard Kornelius Reinitzer tarafından keşfedilmiştir (Boer, 2005) (Şekil 1.1).



Şekil 1. 1. Friedrich Richard Kornelius Reinitzer (1857-1927) (Dunmur, 2014)

Reinitzer bitkilerdeki kolesterolün biyolojik işlevini incelerken kolesteril benzoat adlı bileşiğin iki farklı erime noktası olduğunu gözlemlemiştir. Reinitzer'in yaptığı bu çalışmada kolesteril benzoat atmosferik basınçta 145,5°C ye ısıtıldığında bulanık bir sıvıya dönüşürken sıcaklık 178,5°C ye getirildiğinde ise bulanıklık ortadan kalkarak berrak sıvı bir sıvıya dönüştüğü gözlemlenmiştir. Gözlemlerini Alman Fizikçi Otto Lehman ile paylaştı. Lehman kendi geliştirdiği polarize mikroskop altında bu maddeyi incelediğinde sıvı gibi aktığını ve kristal gibi optik özelliklere sahip olduğunu kaydetti. Bu yeni maddeyi sıvı kristal olarak adlandırdı. Bu yıllarda incelenen sıvı kristallerin hepsi doğada bulunan sıvı kristallerdi.

Sıvı kristaller ile ilgili başka önemli katkılarda 1922'de George Friedel tarafından yapıldı. Friedel sıvı kristallerle ilgili birçok deney yaptı. Sıvı kristal yapıların kusurlarını ve elektrik alan etkilerini ilk defa açıklamıştır. Ayrıca sıvı kristallerin sınıflandırmasını da yapmıştır. Sonraki yıllarda sıvı kristaller üzerinde yapılan çalışmalar artarak yeni sıvı kristaller maddeler sentezlenmiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra sıvı kristallere olan ilgi tekrar canlanmış ve Avrupa'daki laboratuvarlarda bu konudaki çalışmalar tekrar başlamıştır. Sıvı kristallerle ilgili önemli çalışmaları olan George William Gray bu konudaki çalışmaları daha ileri götürerek sıvı kristallerin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır.

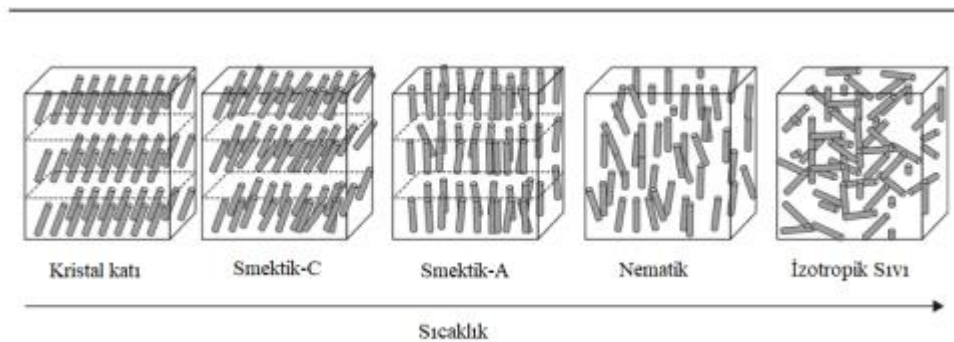
1960'tan sonraki on yılda sıvı kristallere olan ilgiyi ve araştırmayı artıran birkaç gelişme görüldü. Bunlar arasında Maier ve Saupe'nin yaptığı çalışmalar vardı. Sıvı kristallere olan ilginin artması şu anda düzenli olarak yapılan Uluslararası Sıvı Kristal Konferanslarının yapılmasında büyük bir rol oynadı. Bu iki yılda bir düzenlenen konferansları ilk defa 1965 yılında Ohio'daki Kent State Üniversitesi'nde düzenleyen Glenn Brown'a borçluyuz. Günümüze kadar yeni araştırmaların ve teknolojik inovasyonun devam edeceği bir bilim insanları topluluğu oluşturdu (Gray ve ark., 2009). 1965'lerin ortalarında optoelektronik ekranlarda sıvı kristal uygulamaları katlanarak artmış ve tüm gelişmiş sanayi ülkelerindeki birkaç merkezden birçok kuruma yayılmıştır. 1977'de Chandrasekhar'ın yaptığı çalışma sıvı kristal uygulamalarının sadece çubuk benzeri moleküllerle değil disk benzeri moleküllerle de yapılacağını ortaya koymuştur (Stegemeyer, 1994).

Sıvı kristal uygulamaları artık büyük endüstriyel ekranlardan birçok teknolojik uygulamaya kadar hayatımızın her alanında yerini almış durumda ve geliştirilen yeni uygulama alanları ile hayatımızdaki önemi gittikçe artmaktadır. Özellikle görüntüleme ve ekran teknolojisinde hızlanan araştırma çalışmaları bu konuyu önemli bir noktaya taşımıştır. Son yıllarda cep telefonu, monitör, televizyon vb. ekranlara olan ilginin artmasıyla beraber sıvı kristal alanında araştırma ve geliştirme çalışmaları heyecan verici ve geniş bir alan haline geldi.

2. SIVI KRİSTALLER

2.1. Sıvı Kristal Nedir?

Genellikle maddenin üç fazından (katı, sıvı ve gaz) söz ederiz. Ancak bu sınıflandırma tam olarak doğru değil. Özellikle bazı organik maddeler katı fazdan sıvı faza tek bir geçiş değil, yeni fazlar içeren bir dizi geçiş gösterirler. Bu fazların mekanik özellikleri ve simetri özellikleri bir sıvının ve bir kristalin özellikleri arasında orta düzeydedir (Gennes ve Prost, 1993). Katı kristaller ve sıvı fazlara ek olarak sıvı kristaller sıvılar gibi akışkan ara fazlar sergilerler ancak kristallerin bazı fiziksel özelliklerine de sahiptirler. Bu tür alışılmadık ara fazlar sergileyen malzemeler genellikle mezojenler (mezojenik madde) olarak adlandırılırlar ve gösterdikleri çeşitli ara fazlar mezofaz olarak adlandırılır. İyi bilinen ve geniş çapta üzerine çalışılan sıvı kristaller termotropikler, polimerler ve liyotropiklerdir. Sıcaklığın bir işlevi olarak ya da bileşen konsantrasyonuna bağlı olarak oluşan bu sıvı kristaller nematik, smektik ve kolesterik gibi mezofazlar gösterirler (Şekil 2.1). Bu malzemelerin fiziksel ve optiksel özelliklerini anlamak için malzemeyi oluşturan moleküllere bakmak gerekir (Khoo, 2007).

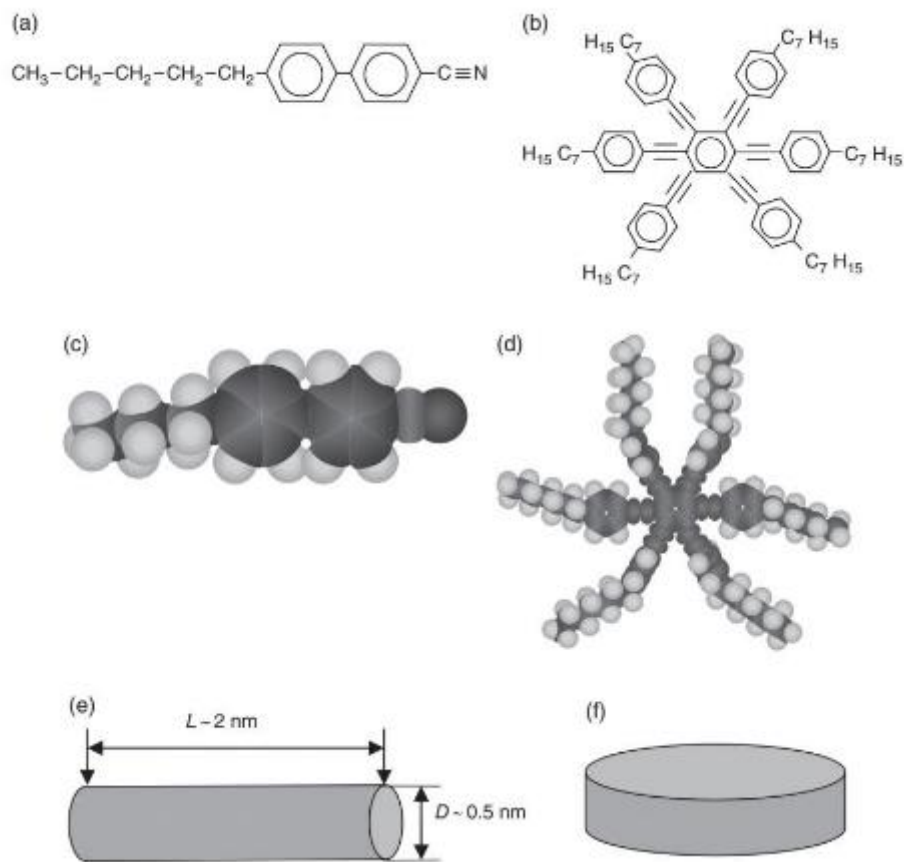


Şekil 2. 1. Sıvı kristal moleküllerinin faz geçiş aşamalarının şematik gösterimi (Yang, 2014)

Sıvı kristaller kristal katı ve izotropik sıvı arasındaki mezofazlardır. Bileşenler Şekil 2.2'de gösterildiği gibi çubuk benzeri (kalamitik) veya disk benzeri (diskotik) organik moleküllerdir. Moleküllerin boyutu tipik olarak birkaç nanometredir (nm). Çubuk benzeri moleküllerin uzunluğu ve çapı arasındaki oran veya disk benzeri moleküllerin çapı ve kalınlığı arasındaki oran yaklaşık 5 veya daha büyüktür.

Moleküller küresel olmadıkları için konumsal düzenin yanı sıra yönelim düzenine sahip olabilirler.

Şekil (2.2) (a) tipik bir kalamitik sıvı kristal molekülü gösterir. Kimyasal adı 4'-n-Pentil-4-siyano-bifenildir ve 5CB olarak kısaltılır. Sert çekirdek olan bifenil ve esnek kuyruk olan hidrokarbon zincirinden oluşur. Molekülün boşluk doldurma modeli Şekil (2.2) (c) 'de gösterilmektedir. Molekülün kendisi silindirik olmasa da Şekil (2.2) (e) 'de gösterildiği gibi bir silindir olarak kabul edilebilir.



Şekil 2. 2. Kalamitik sıvı kristal: (a) kimyasal yapı, (c) boşluk doldurma modeli, (e) fiziksel model. Diskotik sıvı kristal: (b) kimyasal yapı, (d) boşluk doldurma modeli, (f) fiziksel model (Yang, 2014)

Şekil (2.2) (b) tipik bir diskotik sıvı kristal molekülü göstermektedir. Aynı zamanda sert bir çekirdeğe ve esnek bir kuyruğa sahiptir. Dallar yaklaşık olarak tek bir düzlemedir. Molekülün boşluk doldurma modeli Şekil (2.2) (d)'de gösterilmektedir. Molekül düzlemine dik kalıcı bir dipol momentine yoksa merkezde bulunan eksen

etrafında hızlı dönmesi nedeniyle Şekil (2.2) (f)'de görüldüğü gibi fiziksel davranışına bakıldığında bir disk olarak kabul edilebilir (Yang ve Wu, 2014).

Çubuk benzeri sıvı kristal moleküller tarafından sergilenebilecek fazların çeşitliliği Şekil (2.1)'de gösterilmektedir. Yüksek sıcaklıkta moleküller konumsal veya yönelimsel düzene sahip olmadıkları izotropik sıvı haldedir. Moleküller kolaylıkla hareket edebilir ve malzeme su gibi akabilir. Öteleme viskozitesi su ile karşılaştırılabilir. Moleküllerin hem uzun hem de kısa eksenleri herhangi bir yönü işaret edebilir.

Sıcaklık düştüğünde malzeme en yaygın ve en basit sıvı kristal faz olan nematik faza dönüşür. Burada moleküllerin yönelimsel düzeni vardır. Ancak yine de konumsal bir düzen yoktur. Moleküller hala etrafa yayılabilir ve öteleme viskozitesi izotropik sıvı halinden çok fazla değişmez. Moleküllerin uzun eksenini tercih edilen bir yöne sahiptir. Moleküller termal hareket nedeniyle hala dönüyor olsa da uzun eksenin zaman ortalamalı yönü sıvı kristal direktör olarak adlandırılan bir birim vektör olan n ile gösterilir.

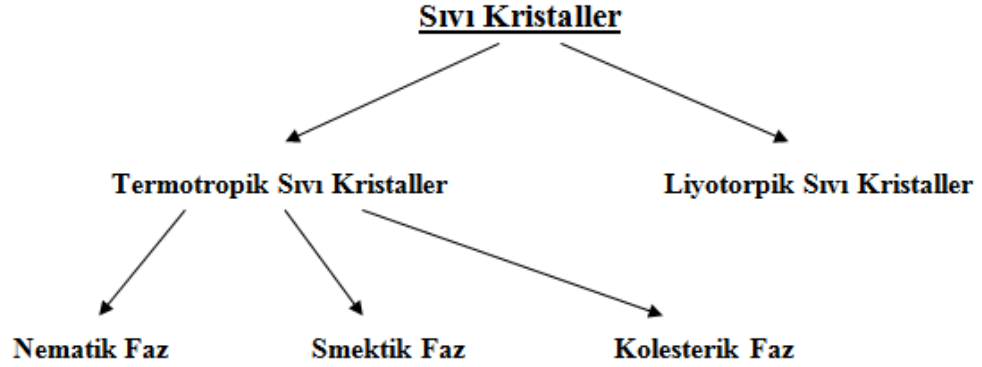
Sıcaklık daha da düşürüldüğünde malzeme Smektik-C fazına dönüşebilir. Burada sıvı kristal yönlendirici artık katmana dik değil eğiktir. Sıcaklık daha da düştüğünde malzeme yönelimsel düzeninin yanı sıra moleküllerin kısmi konum düzenine sahip olduğu yani moleküller katmanlı bir yapı oluşturduğu Smektik-A fazına dönüşebilir. Düşük sıcaklıkta ise malzeme hem konumsal hem de yönelimsel sıraların olduğu kristal katı fazdadır. Öteleme viskozitesi sonsuz derecede yükselir ve moleküller artık dağılmaz (Şekil 2.1) (Yang ve Wu, 2015).

2.2. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristallerin birkaç sınıflandırması vardır. Sıvı kristaller molekülün geometrik şekline bağlı olarak kalmitik (çubuk şekilli), diskotik (disk şekilli) ve bükülmüş çekirdekli olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir. Ayrıca moleküllerin kendi arasındaki organizasyonuna bağlı olarak nematik, smektik, sütunlu, bükülü, mavi faz gibi kategorilere de ayrılabilir (Pal ve Kumar, 2017).

Bir sıvı kristalde faz geçişleri sıcaklığa bağlı olarak meydana gelirse mezofazlar termotropik olarak adlandırılır. Mezofazların uygun bir çözücü içinde konsantrasyonlarının değişmesiyle de faz geçişleri oluşabilir. Bu tür mezofazlar

liotropik olarak adlandırılır (Blinov ve Chigrinov, 1993). Faz geçiş durumlarına göre sıvı kristaller temel olarak ikiye ayrılır (Şekil 2.3).



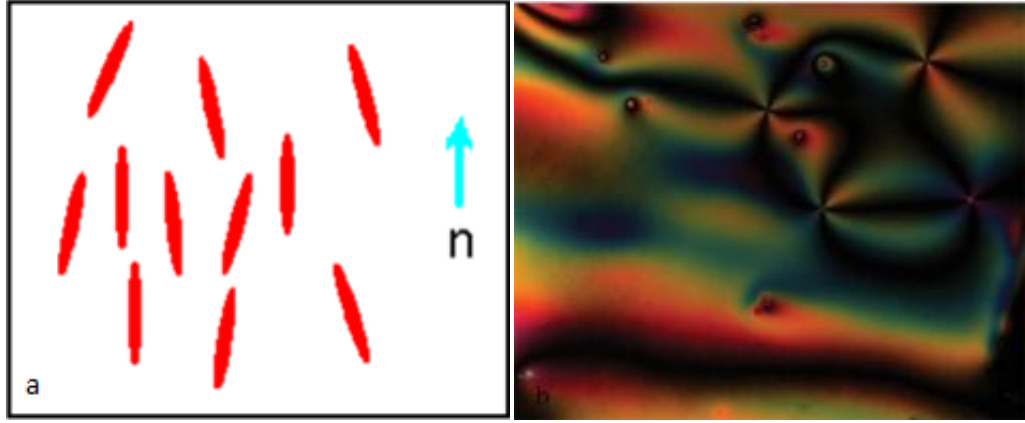
Şekil 2. 3. Sıvı kristallerin sınıflandırılması

2.2.1. Termotropik Sıvı Kristaller

Faz geçişleri sıcaklığa bağlı olarak gerçekleşen sıvı kristallere termotropik sıvı kristaller (TLC) denir. Bu tez çalışmasında termotropik sıvı kristaller incelenmiştir. Termotropik sıvı kristaller molekül yapıları bakımından çubuk şekilli ya da disk şekilli olabilirler. Termotropik sıvı kristallerin büyük çoğunluğu nematik, smektik ve kolesterik olarak sınıflandırılan çubuk benzeri moleküller içerir.

2.1.1.1. Nematik Faz

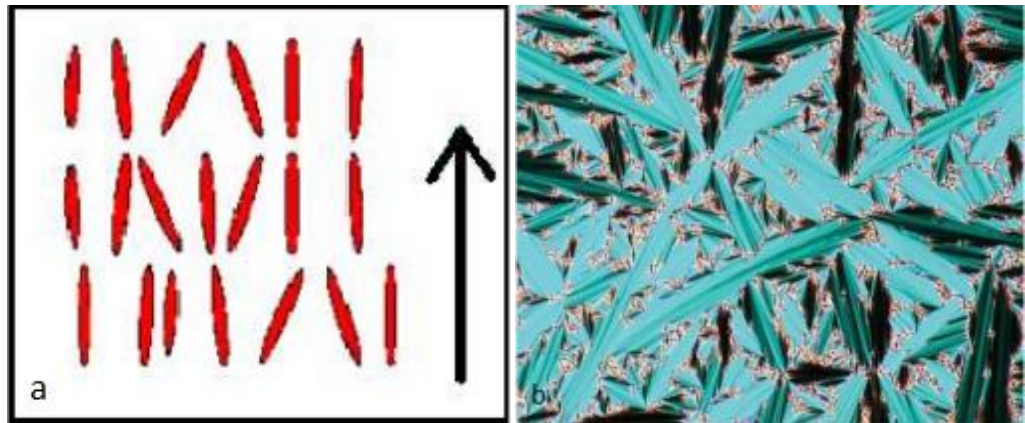
Nematik faz (N) esasen moleküllerin yönelimsel olduğu ancak moleküllerin uzun menzilli konumsal sıralanmasının olduğu tek boyutlu olarak sıralanmış bir elastik sıvıdır. Bu aşamada çubuk benzeri moleküller uzun eksenleri kabaca aynı yöne bakacak şekilde birbirine paralel hizalanma eğilimindedir (Şekil 2.4). Moleküllerin işaret ettiği ortalama yön fazın yöneticisi olarak adlandırılır ve genellikle n sembolü ile gösterilir (Demus ve ark., 2011). Moleküller nematik faz içinde serbestçe hareket edebilirler ve uzun moleküler eksen etrafında dönebilirler. Nematik sıvı kristaller teknolojik olarak kullanımı en yaygın olan sıvı kristallerdir. Piyasada bulunan sıvı kristal ekranların (LCD) çoğunda kullanılmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla malzeme nematik fazdan izotropik sıvı faza geçer.



Şekil 2. 4. a) Nematik fazda moleküler düzenlemeler. b) Polarize ışık mikroskobu ile görüntülenen nematik doku (Hirst, 2019)

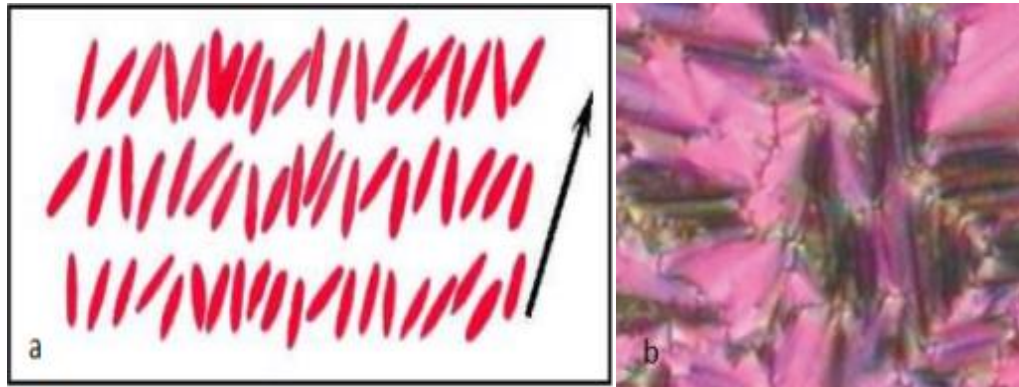
2.2.1.2. Smektik Faz

Smektik fazlar nematik fazdan daha yüksek bir düzen derecesi gösterir. Moleküller sadece uzun moleküler eksenleri bir yön ile yönlendirilmezler aynı zamanda moleküllerin katmanlı bir yapı halinde organize olmaları anlamında bazı konumsal sıralara da sahiptirler. Katmanların içinde ek konumsal düzen olabilir. Çeşitli smektik fazlar vardır ve bu fazlar hem katmanların içinde hem de katmanları arasında mevcut olan düzen derecesine göre birbirinden farklıdır (Bruce ve ark., 2011). Smektik-A (SmA) ve Smektik-C (SmC) fazlarında moleküller kendilerini katmanlar halinde düzenlerler ve daha ince bir bakış açısıyla tek katmanların iki boyutlu sıvılar olduğu tek boyutlu bir periyodik kafes oluşturdukları şeklinde tanımlanabilir. Smektik-A fazında ortalama moleküler eksen n smektik katmanlara normaldir (Şekil 2.5).



Şekil 2. 5. a) Smektik A fazında moleküler düzenlemeler. b) Polarize optik mikroskobu ile görüntülenen Smektik A fazının dokusu (Hirst, 2019)

Smektik-C fazı için Smektik-A'dan daha düşük simetriye sahiptir (Şekil 2.6). Smektik-A'dan Smektik-C'ye faz geçişi iki bileşenli bir düzen parametresinin yani Smektik katmanlar üzerindeki moleküler eksenin izdüşümünün iki bileşeninin sıralanması şeklinde açıklanabilir (Pershan, 1988).

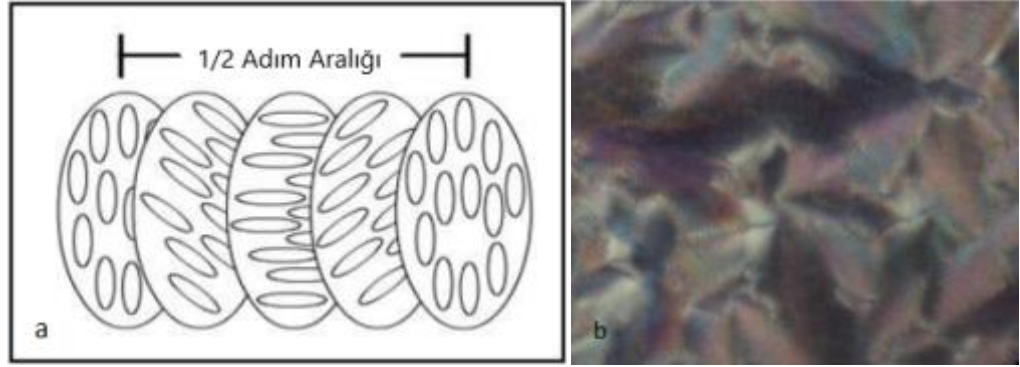


Şekil 2. 6. a) Smektik C fazında moleküler düzenlemeler b) Polarize optik mikroskobu ile görüntülenen Smektik C fazının dokusu (Dierking, 2014)

2.2.1.3. Kiral (Kolesterik) Faz

Kiral sıvı kristal fazların en iyi bilineni kolesterik faz veya kiral nematiktir N^* (Burada N^* kiral fazı belirtmek için bir yıldız işaretidir). Kolesterik faz Reinitzer tarafından 1888'de keşfedilen ilk sıvı kristaldir. Reinitzer mikroskop altında saf kolosterel benzoatı gözlemledi ve iki görünür erime noktası fark etti. Katı kristal formu ilk önce şimdi kolesterik faz olarak bilinen bir faza eritildi ve daha sonra kolesterik fazın izotropik bir sıvı faza eridiği ikinci bir erime noktası gözlemledi. Kolesterol nispeten sert bir merkezi çekirdeğe sahip kiral bir moleküldür.

Kolesterik fazın yapısı Şekil 2.7'de şema ile temsil edilmektedir. Yukarıdan başlayıp kalın bir kolesterik faz tabakası boyunca aşağı doğru hareket ettiğini hayal edin. Moleküler yönelim levha boyunca düzlem içinde dönerek üstteki moleküller doğrudan aşağıda bulunan moleküllere göre biraz farklı bir yönelim sergileyerek sürekli olarak değişir. Kolesterik faz smektik faz gibi tabakalaşmaz ve moleküler sıralama ve viskozite açısından nematik faza benzedir (Hirst, 2019).



Şekil 2. 7. a) Kolesterik fazda moleküler düzenlemeler b) Polarize optik mikroskobu ile görüntülenen Kiral (Kolesterik) fazının dokusu (Suroviec ve Kulesza, 2016)

2.2.2. Liyotropik Sıvı Kristaller

Yalnızca görece yüksek polariteye sahip bileşiklerden (amfilik bileşikler) ve belirli çözücülerden oluşan karışımlarda bulunan sıvı kristallere liyotropik sıvı kristal denir. Liyotropik sıvı kristallerin oluşması için polar bileşiklerin çözücü molekülleri ile güçlü bir etkileşim olması gerekir. Bu tür sıvı kristallerin iyi bilinen örnekleri alkali n-alkanoatlar (sabunlar) ve su karışımlarıdır (Stegemeyer, 1994).

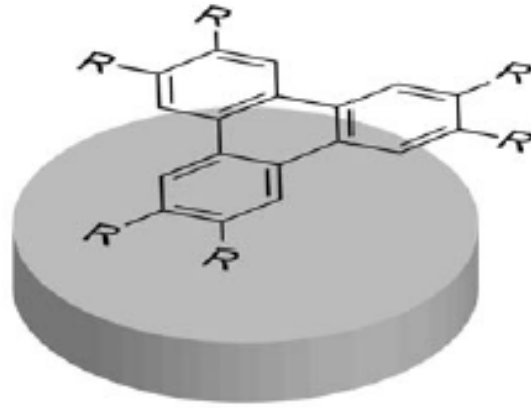
Liyotropik sıvı kristaller iki veya daha fazla bileşenden oluşur. Genellikle bileşenlerden biri bir amfifildir (bir veya daha fazla uzun hidrokarbon zincirine bağlı bir polar kafa grubu içerir) ve diğeri sudur. Böyle bir sistemin bilindik bir örneği sudaki sabundur. Su içeriği arttıkça birkaç mezofaz elde edilir. Mezofazlardaki moleküler paketleme türleri Şekil 2.7'de şematik olarak gösterilmektedir ancak bu yapının birkaç modifikasyonu mevcuttur.

Doğada en sık karşılaşılan sıvı kristaller, madde fazları sıcaklıktan ziyade konsantrasyonla değişen çalşan liyotropik sıvı kristallerdir. Sabunlar dâhil olmak üzere günlük yaşamda bu malzemelerin birçok örneği vardır. En yaygın liyotropik sıvı kristal malzemeler liyotropik kristal fazın fosfolipitlerin suda çözünmesinden oluştuğu vücudumuzdaki hücre membranları olabilir. Bu nedenle yaşamın kendisi kritik bir şekilde bu her yerde bulunan aşamaya bağlıdır. (Woltman ve ark., 2007).

Liyotropik sıvı kristalleri doğada bol miktarda bulunur ve canlı sistemlerde her yerde bulunur. Yapıları oldukça karmaşıktır ve henüz aydınlatılmaya başlanmıştır (Chandrasekhar, 1992). Bununla birlikte bu tez araştırmasında temel olarak düşük moleküler ağırlıklı termotropik sıvı kristallerin fiziği ile sınırlı kalacağız, polimer ve liyotropik sistemler ayrıntılı olarak araştırılmamıştır.

2.2.3. Diskotik (Disk Benzeri) Sıvı Kristaller

Lehman ve diğerlerinin ilk araştırmalarından bu yana mezomorfizmin sadece çubuk benzeri veya çıta benzeri yapıdaki molekülleri sergileyebileceği kabul edildi. Bu kabul edilen ilkenin istisnası ilk olarak 1977'de Chandrasekhar'ın basit disk benzeri moleküllerden oluşan saf bileşiklerde sıvı kristalin davranışı keşfettiği zaman gözlemlendi. Dikkatli bir termodinamik optik ve X-ışını çalışmalarından mezofaz yapısının iki boyutta translasyon periyodikliğine ve üçüncü boyutta sıvı kristal dağıtıcıya sahip olduğunu gösterdiler. Billard tarafından disk benzeri molekülleri ve ortaya çıkan mezofazları tanımlamak için 'diskotik' kelimesi önerildi. Diskotik moleküller diskotik nematik ve sütunlu olmak üzere iki farklı faz sınıfı sergiler (Singh, 2002). Şekil 2.8'de disk benzeri sıvı kristal örneği gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. Disk benzeri sıvı kristal

2.3. Sıvı Kristallerde Anizotropik Fiziksel Özellikler

2.3.1. Düzen Parametresi

Katı moleküler yapıya sahip bir molekülün yönelimi, uzayda bir birim vektör ve birim vektör etrafındaki enine yönelimi tanımlayan bir açı kullanılarak açıklanabilir. Çubuk benzeri bir molekül için uzun eksenin yönü genellikle molekülün yönünü temsil eden birim vektör olarak seçilir. Çoğu sıvı kristalin nematik fazında uzun eksenler birbirine yaklaşık olarak paralel hizalanır. Bu boylamsal bir yönelim düzenine yol açar. Moleküllerin çapraz yönelimi rastgele kalır. Bu nedenle, ortamın herhangi bir

noktasında noktanın yakın çevresinde tercih edilen yönelimi (veya uzun eksenlerin ortalama yönünü) temsil etmek için bir birim vektör n tanımlayabiliriz. Bu vektör, direktör olarak bilinir. Homojen nematik bir sıvı kristalde direktör n noktadan noktaya değişebilir ve genellikle uzayın bir fonksiyonudur (x, y, z) . Her molekülün uzun eksenini temsil edecek bir birim vektör tanımlayacak olursak, direktör n nokta etrafındaki küçük hacimli bir eleman üzerindeki birim vektörlerin istatistiksel ortalamasıdır.

Bir sıvı kristalin boylamasına düzen parametresi S şu şekilde tanımlanır:

$$S = \frac{1}{2} (3\cos^2\theta - 1) \quad (2.1)$$

Burada θ tek bir molekülün uzun ekseni ile direktör n arasındaki açıdır ve parantezler istatistiksel bir ortalamayı gösterir. Mükemmel paralel hizalama için $S = 1$, tamamen rastgele yönlendirmeler için ise $S = 0$ değerini alır. Nematik fazda düzen parametresi S büyük ölçüde sıcaklığa bağlı bir ara değere sahiptir. Aydınlanma noktasında $S = 0$ olduğu görülür. S düzen parametresinin tipik değerleri düşük sıcaklıklarda 0,6 ile 0,4 arasındadır. Aydınlanma noktasına yaklaşıldığında düzen parametresi S aniden sıfıra düşer. S 'nin değeri ayrıca moleküllerin yapısına da bağlıdır. Deneysel gözlem sikloheksan halkalarına dayalı sıvı kristallerin aromatik sistemlerden daha yüksek S değerleri sergilediğini göstermektedir (Yeh ve Gu, 2010).

2.3.2. Manyetik Anizotropi

Sıvı kristal fazda moleküllerin hizalanmasına yardımcı olmak için kullanılabilen anizotropik moleküller anizotropik manyetik duyarlılık sergiler. Manyetik alanın etkisi molekülün manyetik duyarlılığına χ bağlıdır. Manyetik duyarlılık büyük kalıcı dipol momentlerinin varlığından ve ayrıca moleküler ağırlıktan etkilenir. Yüksek moleküler ağırlıklı polimerler azaltılmış bir moleküler hareket sergileme eğilimindedir ve iyi bir hizalama vermeyebilir ancak daha düşük moleküler ağırlıklı sıvı kristal moleküllerde iyi hizalama daha kolay elde edilebilir. Hizalanma için gerekli manyetik alanlar 6-7 Tesla aralığındadır. Ayrıca manyetik alanlar faz geçişlerini de etkileyebilir (Coates, 2000).

Sıvı kristaller manyetik alana son derece duyarlıdır. Sıvı kristallerde manyetik anizotropi başından beri incelenmiş ve sıvı kristal malzemelerin davranışının

incelenmesine yardımcı olmuştur. Diyamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik olmak üzere 3 ana manyetik malzeme türü vardır. Uygulanan bir alanın yokluğunda birçok malzemede atomik elektronların yörünge ve spin hareketleriyle ilişkili manyetik etkiler tam olarak ortadan kalkar. Diyamanyetik bir malzemeye değişen bir manyetik alan uygulandığında atomdaki elektron akımlarında değişiklikler meydana gelir. İndüklenen akım nedeniyle manyetik alan uygulanan alana karşı olduğu için net alan uygulanan alandan daha küçüktür. Paramanyetik bir materyalde tek atomlarla ilişkili kalıcı bir manyetik dipol momenti vardır. Paramanyetik bir malzemeye manyetik alan uygulandığında dipoller kendilerini alan boyunca dipol momentleriyle hizalama eğiliminde olurlar. Böylece malzemenin içinde toplam manyetik alanı artırırılar. Ferromanyetik bir malzeme bir manyetik alanın yokluğunda bile dipollerin kendiliğinden hizalanması sağlayacak kadar güçlü etkileşimlerle karakterize edilirler.

Sıvı kristaller çoğu organik madde gibi diyamanyetikdir. Bu sistemler tarafından sergilenen diyamanyetizma, tekli moleküler bileşenlerin manyetik özelliklerinin ilave katkılarının bir sonucudur. Harici bir manyetik alanın nematik olarak uygulanması, manyetik indüksiyon B ve manyetik alan gücü H olarak tanımlanan bir miknatıslanma M ile sonuçlanır.

$$M = \mu_0^{-1}B - H \quad (2.2)$$

Burada μ_0 boş alanın manyetik geçirgenliğidir. Bir sistemin manyetik hassasiyeti, sistemin B göstergesinin harici bir alanına verdiği yanıtı açıklar. Alanın küçük değerleri için yanıt doğrusaldır.

$$M_\alpha = \mu_0^{-1} \chi_{\alpha\beta} B_\beta ; \quad \alpha, \beta = x, y, z \quad (2.3)$$

Burada $\chi_{\alpha\beta}$ manyetik duyarlılık tensörünün χ elamanıdır. Diyamanyetik malzemeler için χ daima negatif, alan kuvvetinden bağımsız ve birçok organik madde için 10^{-5} civarındadır. Manyetizasyondan oluşan duyarlılık hacim duyarlılığı olarak tanımlanır ve boyutsuzdur. Maddenin kütlesine ilişkin duyarlılığa kütle duyarlılığı χ^m denir.

$$\chi^m = \chi/\rho ; \quad (2.4)$$

m^3/kg boyutuna sahiptir ve burada ρ maddenin yoğunluğudur. Molar duyarlılık χ^M kütle duyarlılığıyla ilişkilidir.

$$\chi^M = M\chi^m \quad (2.5)$$

Burada M molar kütledir ve m^3/mol boyutuna sahiptir. Tek eksenli mezofazların manyetik özellikleri manyetik alan sırasıyla moleküler uzun eksene veya direktöre paralel ve dikey olarak uygulandığında ortaya çıkan iki duyarlılık (χ_{\parallel} ve χ_{\perp}) tarafından tanımlanabilir. Anizotropik diyamanyetik duyarlılık anizotropisi,

$$\Delta\chi = \chi_{\parallel} - \chi_{\perp} \quad (2.6)$$

B ve \hat{n} arasındaki açı için toplam mıknatıslanma şu şekilde yazılabilir.

$$M = \mu_0^{-1}[\chi_{\perp}B + \Delta\chi(B \cdot \hat{n})\hat{n}] \quad (2.7)$$

Aromatik halka sistemine sahip tüm sıvı kristallerin anizotropisinin pozitif ve 10^{-7} büyüklük derecesine sahip olduğu bulunmuştur. Bir sikloheksan halkası ile ikame edilen her benzen halkası ile büyüklüğün azaldığı bulunmuştur. Negatif bir anizotropi tamamen sikloalifatik sıvı kristaller olarak gözlenir. Diyamanyetik anizotropi, bir mezofazın yönelim derecesini tanımlamak için bir düzen parametresi olarak kullanılabilir (Bahadur, 1990).

2.3.3. Optiksel Anizotropi

Sıvı kristal çalışmalarında optiksel anizotropinin önemli bir yeri vardır. Sıvı kristal malzemelerin optik özellikleri dış etkilere güçlü bir şekilde etkilenir. Birçok sıvı kristal uygulamasının geliştirilmesinin temelinde sıvı kristallerin optik özellikleri vardır (Simoni, 1997). Optik anizotropi sıvı kristal görüntüleme cihazlarında sıvı kristal karışımların optimizasyonu için temel bir fiziksel özelliktir. Sıvı kristaller optik olarak anizotropik malzemelerdir. Işık dalgalarının ortam içinde yayılma hızı artık tekdüze değildir. Ancak malzemeyi geçen ışık dalgalarının yönüne ve polarizasyonuna bağlıdır. Böylece malzemenin farklı yönde farklı kırılma indekslerine sahip olduğu bulunmuştur. Hizalanmış sıvı kristal moleküllerinin ışığın polarizasyonunu kontrol etme kabiliyetiyle

sıvı kristal ekran teknolojisi geliştirilmiştir. Hizalanmış tek eksenli sıvı kristaldeki malzemeler, tek eksenli kristaldekine benzer şekilde davranır ve ışık iki kez kırılmaya uğradığından çift kırılma gösterir. Sıvı kristallerde optiksel anizotropiyi incelemek için kırılma indisinden yararlanır. Tek eksenli sıvı kristallerin iki kırılma indisi normal kırılma indisi n_0 ve olağandışı kırılma indisi n_e vardır. Normal kırılma indisi n_0 elektrik vektörünün optik eksene dik salındığı bir ışık dalgası ile gözlenir. Olağandışı kırılma indisi n_e elektrik vektörünün optik eksene paralel titreştiği doğrusal olarak polarize bir ışık dalgası için gözlemlenir. Optik anizotropi veya çift kırılma dalga boyuna ve sıcaklığa bağlıdır ve denklemlerle tanımlanır.

$$\Delta n = n_e - n_0 = n_{\parallel} - n_{\perp} \quad (2.8)$$

Burada n_{\parallel} ve n_{\perp} sırasıyla direktörle paralel ve dik bileşenlerdir. Çubuk benzeri sıvı kristal molekülleri için $n_{\parallel} > n_{\perp}$ olduğundan Δn pozitifdir ve 0.02 ile 0.4 arasında olabilir. Disk benzeri sıvı kristal molekülleri için $n_{\parallel} < n_{\perp}$ olarak tanımlanır. Dolayısıyla negatif çift kırılma nematik, disk benzeri ve sütun benzeri sıvı kristal fazlarla ilişkilidir. Kiral nematiklerde optik eksen direktöre dik olan helis eksenini ile çakışır ($n_e = n_{\perp}$) ve n_0 hem n_{\parallel} hem de n_{\perp} nin bir fonksiyonudur ve dalga boyunun göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Kiral nematikler için ışığın dalga boyu büyük olduğunda,

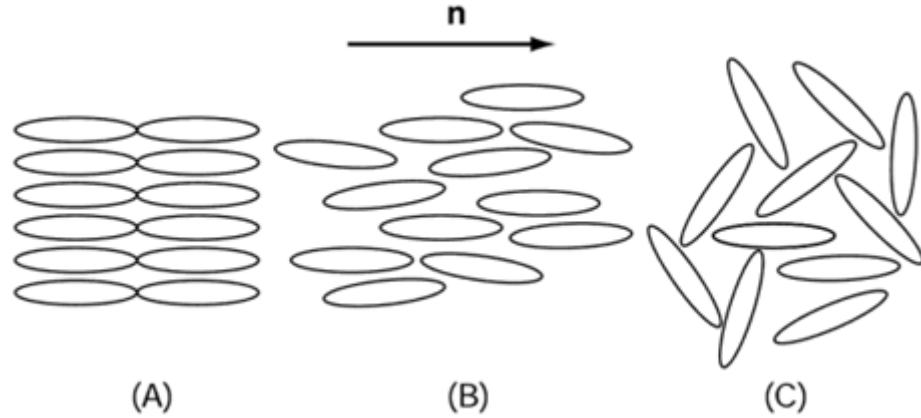
$$n_0 = \left[\frac{1}{2} (n_{\parallel}^2 + n_{\perp}^2) \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

$$n_e = n_{\perp} \quad (2.10)$$

2.3.4. Dielektrik Anizotropi

Sıvı kristal moleküller genellikle şekil olarak uzundur ve 2 nm civarında bir uzunluğa sahiptir. Şekilleri nedeniyle en düşük enerji durumunda birbirine az ya da çok paralel olma eğilimindedirler. Moleküllerin ortalama yönlenme eksenini direktör olarak adlandırılan n , bir birim vektördür. Nematik sıvı kristal molekülleri polar değildir. Bu nedenle n ve $-n$ arasında fark yoktur. Sıvı kristallerin dielektrik sabiti ve kırılma indisi direktör boyunca farklıdır ve direktöre diktir (Şekil 2.9). Bu da sırasıyla dielektrik ve optik anizotropiye neden olur. Dielektrik anizotropi sıvı kristal moleküllerinin

elektrooptik cihazlarda uygulama için çok önemli olan bir elektrik alanındaki yönünü değiştirmeyi mümkün kılar (Boer, 2005).



Şekil 2. 9. Sıvı kristal moleküllerinin yönelimi (A) Smektik, (B) Nematik ve (C) İzotropik faz (Boer, 2005)

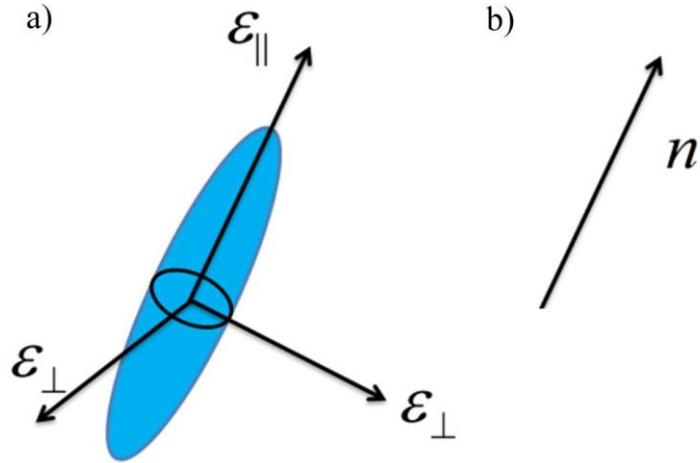
Bir nematik sıvı kristalin dielektrik davranışı sırasıyla simetri eksenine dik olarak ölçüldüğünde iki dielektrik sabiti ile tanımlanır: ϵ_{\parallel} ve ϵ_{\perp} . Dielektrik anizotropi, $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$, sıvı kristallerin tüm elektrooptik uygulamalarında önemli bir rol oynar. $\Delta\epsilon$ pozitif veya negatif olabilir. Dielektrik anizotropinin işareti moleküler polarizasyona ve kalıcı elektrik dipol momentinin değerine ve açısal konumuna bağlıdır. (Meier ve diğ. 2012). Dielektrik sabiti numune içindeki moleküllerin yönüne bağlıdır ve elektrik alan tarafından indüklenir. Genellikle daha yüksek dielektrik sabiti molekül boyunca (ϵ_{dik}) değil uzun molekül ekseninin yönü ($\epsilon_{paralel}$) boyuncadır. Dielektrik anizotropi ($\Delta\epsilon$), $\epsilon_{paralel}$ ve ϵ_{dik} arasındaki farktır. Nematik sıvı kristallerin dielektrik tensörü;

$$\bar{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_{\perp} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{\parallel} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Sıvı kristallerin dielektrik anizotropisi;

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} \quad (2.12)$$

ile hesaplanır.



Şekil 2. 10. a) Bir sıvı kristal molekülünün ϵ_{\perp} ve ϵ_{\parallel} dielektrik sabitleri. b) direktör

Sıvı kristal molekülde $\epsilon_{\parallel} > \epsilon_{\perp}$ ise molekülün uzun eksenine doğrultusundaki polarizasyon kapasitesi daha büyüktür; $\epsilon_{\parallel} < \epsilon_{\perp}$ ise uzun eksene dik doğrultudaki polarizasyon kapasitesi daha büyüktür. Dielektrik anizotropinin pozitif veya negatif olması sıvı kristal molekülün elektrik alana göre dik veya paralel olmasını belirler (Şekil 2.10).

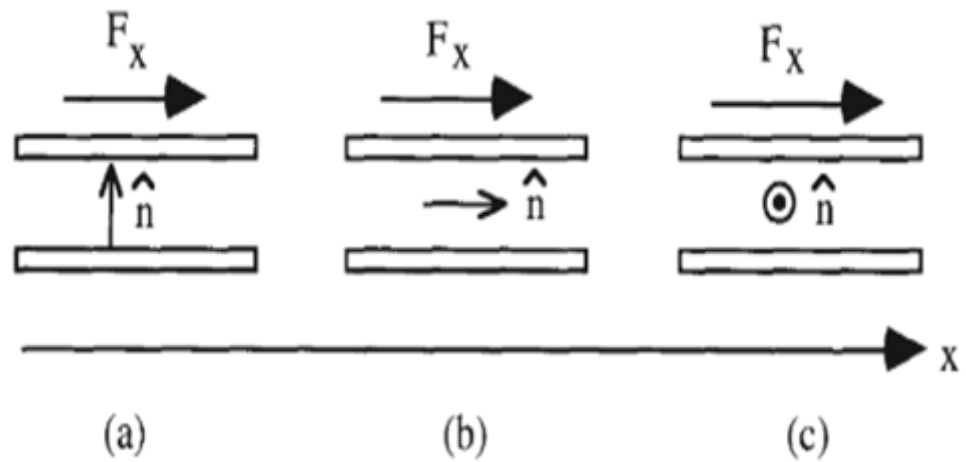
2.3.5. Viskozite

Sıvı kristallerin viskoz davranışı sistemin dinamik davranışı üzerinde belirgin etkilere sahiptir. Özellikle düşük sıcaklıklarda viskozitedeki artış şu anda birçok sıvı kristal uygulamasının sınırlayıcı faktörlerinden biridir. Viskozite değerlerini düşürmek için moleküllerin tasarımdaki anlayış ne bununla ilgili gelişmeler bu nedenle çok önemlidir. Viskoziteler kinematik viskoziteler ν veya dinamik viskoziteler η olarak ifade edilebilir. Kinematik viskozitenin ν belirlenebilmesi için malzemenin yoğunluğunun ρ bilinmesi gerekir.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.13)$$

Birçok yaygın nematik sıvı kristalin yoğunluğu 20 °C'de 0.98 ile 1.02 gcm^{-3} aralığında olduğundan ν ve η arasında bir ayırım yapılmamalıdır. Herhangi bir

malzemenin viskozitesi moleküllerin birbirleri ile etkileşmesinden kaynaklanan kolektif bir özelliktir. Bu nedenle viskozitenin moleküler ortama güçlü bir bağımlılığı söz konusudur. Bir nematik sıvı kristalin tam bir karakterizasyonu için farklı viskozite katsayıları gereklidir (Bahadur, 1990). Sıvı kristallerin viskozitesini anlamak için sıvı kristal malzemeyi iki düz plaka arasına yerleştirerek ve bir plakayı belirli bir hızda diğerinin ötesine taşımak için gerekli kuvvet ölçülebilir. Plakalar xy düzleminde uzanır ve d mesafesi ile ayrılır. Alt plaka sabittir ve üst plaka üzerine etki eden kuvvet (F_x) x yönündedir. Üst plakanın hızı (v_x) da üst yönündedir.

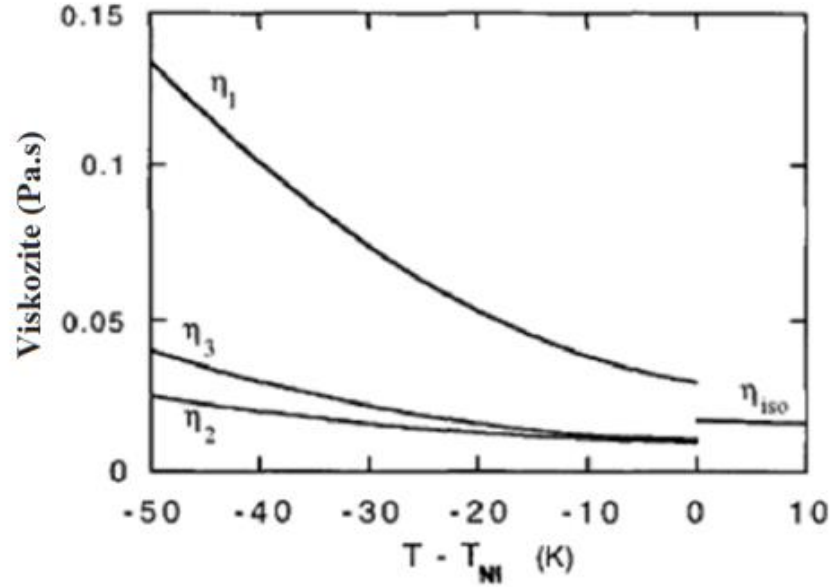


Şekil 2. 11. Nematik sıvı kristallerin viskozitesinin ölçülmesi (Collings, 1998)

Şekil 2.11 sıvı kristalin direktörünün farklı yönleri işaret ettiği üç durumu göstermektedir. Üst plakayı belirli hızda hareket ettirmek için gereken kuvvetin her durum için farklı olduğunu hayal etmek zor değildir. Akışın laminar olduğu ve her sıvının hızının plaka ile aynı hızda hareket ettiği varsayımı yapılırsa, hız gradyanı tarafından bölünen kesme gerilimi olarak viskozite tanımı yapılır.

$$\eta = \frac{F_x/A}{dv_x/dz} = \frac{F_x d}{A v_x} \quad (2.14)$$

Burada A plakaların kesit alanıdır. Elde edilen üç viskoziteye Miesowicz katsayıları da denir.



Şekil 2. 12. Sıcaklık ile üç viskozitenin tipik değişimi (Collings, 1998)

Şekil 2.12’de η_1 (akışa dik ve hız gradyanına paralel direktör), η_2 (akışa paralel direktör) ve η_3 (akışa dik ve hız gradyanına dik direktör) gösterilmiştir. Viskozitenin tipik bir sıcaklığa bağımlılığı verilmiştir. Burada η_1 diğer ikisinden çok daha fazladır. Her üç viskozite de sıvılar için oldukça tipik olan artan sıcaklıkla azalır.

2.4. Sıvı Kristal Karışımlar

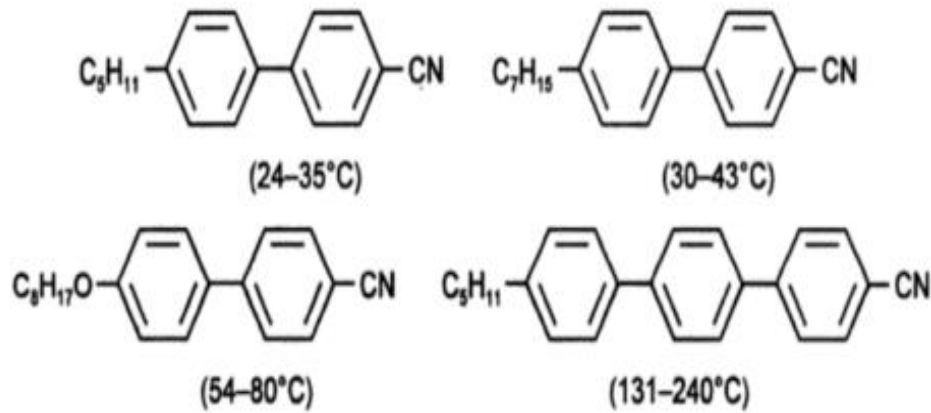
Sıvı kristal maddelerin özelliklerini geliştirmek amacıyla yeni sıvı kristal karışımlar oluşturularak karışımların özelliklerini incelenmektedir. Bu çalışmalarla sıvı kristallerin fiziksel özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Sıvı kristallerin özellikle elektro-optik uygulamalarda kullanılması için geniş faz geçiş aralıkları, düşük faz geçiş entalpileri, düşük erime noktası ve yüksek berraklaşma noktası tercih edilmektedir. Sıvı kristal teknolojisi kullanılarak üretilen bir cihazın çok düşük ve çok yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi oldukça önemlidir.

Bilinen bir sıvı kristal molekülünde küçük değişiklikler yapmak sıvı kristalin fazlarında ve özelliklerinde büyük değişikliklere yol açabilir veya herhangi bir sıvı kristal fazını kararsız hale getirebilir. Bu nedenle belirli fiziksel özelliklere sahip bir sıvı kristal karışımı sentezlemeye çalışmak çok zor olabilir. Genellikle sıvı kristalleri incelerken fazın oda sıcaklığında stabil kalması için belirli fazların aralığını genişletmek isteriz veya malzemenin viskozite gibi fiziksel özelliklerini değiştirmek isteriz. Bunu

yapmanın kolay bir yolu sıvı kristal malzemeyi ya başka bir sıvı kristalle ya da herhangi bir sıvı kristal fazı sergilemeyen bir malzemeyle karıştırmaktır.

Bir sıvı kristal malzemeye katkılamak oldukça basit bir tekniktir. Katkı yapılmak istenen madde sıvı kristale oda sıcaklığında eklenir ve daha sonra karışım, karışımdaki herhangi bir sıvı kristal malzemenin izotropik (sıvı) fazda olduğu nokta olan en yüksek berraklık noktasının üstünde ve altında döngüye alınır. Karışım yeterince uzun süre (ortalama bir saat) döndürülürse homojen bir karışım elde edilebilir ve karışımın homojenlik durumu optik mikroskop kullanılarak kontrol edilebilir (Kirchhoff, 2010).

Ticari amaçla üretilen yüksek performanslı sıvı kristallerin sıcaklık aralığını genişletmek için ötektik sıvı kristal karışımları kullanılır. Şekil 2.13'te üç siyanobifenil ve bir siyanoterfenilden oluşan dört bileşenli E7 sıvı kristal karışımının kimyasal formülleri gösterilmiştir. Şekilde karışımı oluşturan her maddenin nematik sıcaklık aralığı parantez içinde verilmiştir. Bu sıvı kristal karışımı 60 °C'nin altında çalışan kol saatleri ve düşük maliyetli hesap makineleri için geliştirilmiştir (Rabilloud, 1997).



Şekil 2. 13. E7 ötektik sıvı kristal karışımının kimyasal bileşenleri (Rabilloud, 2000)

2.5. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları

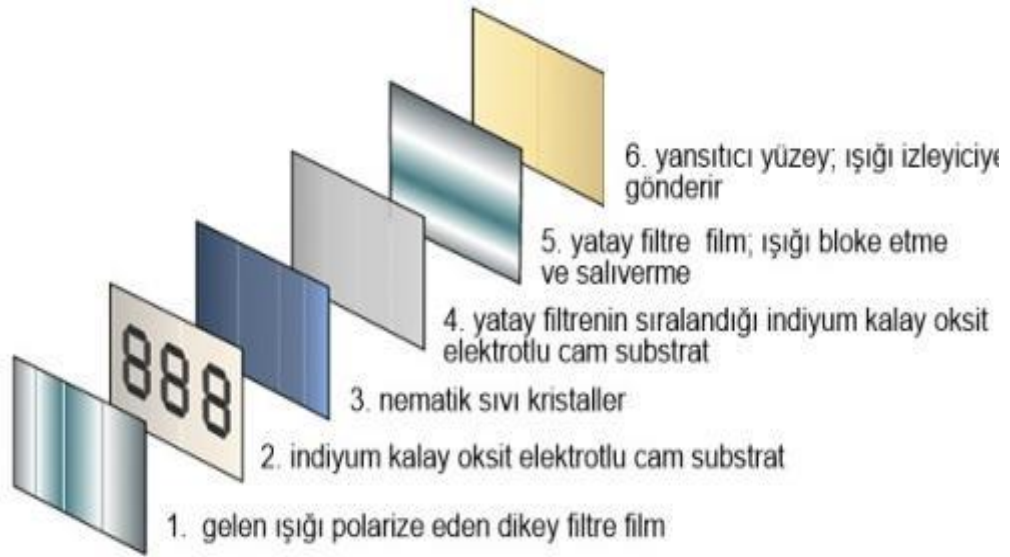
Sıvı kristal maddeler sıcaklık, basınç, elektrik alan ve manyetik alan gibi dış etkilere karşı yüksek hassasiyet gösterdiğinden kullanım alanları oldukça geniştir. Sıvı kristal moleküllerinin sahip olduğu çift kırılma, yüksek anizotropi, akışkanlık vb. özellikler teknolojik ve endüstriyel alanda kullanımını artırmaktadır. En yaygın

kullanımı LCD (Liquid Crystal Display) ekran görüntüleme tekniğidir. Televizyonlar, saatler, cep telefonları, hesap makineleri başta olmak üzere birçok cihazda LCD ekran teknolojisi kullanılmaktadır. Moleküllerin sıcaklık değişimine karşı gösterdiği yüksek hassasiyetten yararlanılarak sıvı kristal termometreler geliştirilmiştir. Çevresel etkilere karşı gösterdiği tepkilerden yararlanarak sensör yapımında kullanılmaktadır. Hava kirliliğinin tespitinde, tıpta hastalıklı dokuların teşhisinde, akıllı camlar, elektro optik uygulamalar ve daha birçok alanda sıvı kristaller kullanılmaktadır.

Sıvı kristal uygulamalarının çoğunun temelinde moleküllerin uygulanan bir elektrik alana tepki vermesi vardır. Çünkü sıvı kristallerin elektrik iletkenliği düşük olduğundan bir elektrik alan uygulandığında çok az güç tüketir. Güç tüketiminin önemli bir faktör olduğu düşünüldüğünde sıvı kristal ekranlar (LCD'ler) günümüzde önemli görüntüleme cihazları haline gelmiştir. Kararlı kimyasal bileşiklerin geliştirilmesi, güvenilir üretim prosedürleri ve optimize edilmiş optik özellikler yalnızca pille çalışan cihazlarda değil neredeyse tüm cihaz türlerinde sıvı kristal göstergelerin başarısı için önemli olmuştur. Çoğu LCD'deki anahtarlama hızları, alfanümerik ekranlar ve çoğu video uygulaması (aktif devrelerin tek bir ögenin anahtarlama hızında tüm çerçeveyi değiştirmeye yardımcı olduğu) için iyi olan milisaniye aralığındadır. Yeni malzemeler ve cihaz yapılarındaki ilerleme, LCD'lerin anahtarlama hızını istikrarlı bir şekilde artırmaktadır.

Nematik sıvı kristal göstergeler uzun yıllardır kol saatleri ve hesap makinelerinde sayısal gösterge olarak üretilmekte olup günümüzde çeşitli makinelerde (yazar kasalar, benzin pompaları, elektronik test cihazları vb.) kullanılmaktadır.

Şekil 2.14'te gösterildiği gibi bu ekranda kullanılan nematik sıvı kristal iki cam arasında bulunur. Her bir cam parçasının sıvı kristal ile temas halinde olan tarafına, şeffaf iletken indiyum katkılı kalay oksit (ITO) elektrotu yerleştirilir, ardından sıvı kristali yönlendirmek için bir polimer kaplama yapılır. Polimer kaplama bir yönde ovulur, bu da kaplamaya bitişik sıvı kristal yönlendiricinin sürtünme yönüne paralel olarak yönlendirilmesine neden olur. Nematik sıvı kristal göstergeyi çalıştıran şey, iki iç cam yüzey için sürtünme yönlerinin birbirine dik olmasıdır. Bu nedenle yönlendirici iki cam parçası arasındaki $10/xm$ 'lik boşluğu kaplayan sıvı kristalde 90° döner.



Şekil 2. 14. Nematik sıvı kristal ekran (url)

Her bir cam parçasının sıvı kristalle temas etmeyen tarafına iki polarize film eklenir. Cam parçaları üzerindeki bu polarizasyon filmleri aynı cam parçası üzerinde sürtünme yönüne paralel polarize edilirse ışığın geçmesine izin verecek şekilde yönlendirilir. Üst polarize filme çarpan ışık üst cam parçası için sürtünme yönü boyunca polarize olur ve sıvı kristalin kalınlığı ve optik özellikleri uygun şekilde seçilirse ışığın polarizasyonu sıvı kristalden geçerken yönlendirici ile birlikte döner. Bu nedenle camın alt parçasındaki polarize filminden geçer. Uygulanan voltaj olmadığında sıvı kristal ekran şeffaftır.

Elektrotlara yeterince büyük bir voltaj uygulandığında, sıvı kristaldeki yönlendirici elektrik alanına paralel olarak yönlendirilir. Bu, her bir cam parçasının yanındaki ince bir sınır tabakası dışında yönlendiricinin ışığın yayılma yönüne paralel olduğu anlamına gelir. Üst polarize film tarafından polarize edilen ışık sıvı kristalin direktörü boyunca yayılırken bu yönde polarize kalır, bu nedenle camın alt parçası üzerindeki dikey polarize film tarafından söndürülür. Böylece uygun bir voltaj uygulandığında LCD opak olur (Collings, 1997).

Sıvı kristallerin ticari olarak kullanıldığı başka bir alan da sıcaklık sensörleri alanıdır. Kiral nematik sıvı kristaller bu tür sensörler için mükemmel bir çözüm sağlar. Farklı kiral nematik adım aralıklarına sahip sıvı kristalleri karıştırarak elde edilen sıvı kristal bileşiklerle hemen her sıcaklık değişimi gösterecek şekilde seçici yansıma oluşturulabilir. Örneğin bir kiral nematik sıvı kristalin adım aralığı, sıcaklık smektik

faza geçişe doğru düşürüldüğünde sapma eğilimi gösterir. Bu sapma çok keskin olabilir ve rengin sıcaklığa aşırı duyarlı olduğu bir sensör üretilebilir. Bu malzemelerin birkaçını her biri biraz farklı bir sıcaklığa duyarlı olacak şekilde yan yana koymak, sıvı kristal sıcaklık sensörleri yapmanın başka bir yoludur. Bu cihazlar akvaryum termometrelerinde, ateş termometrelerinde, cilt için tanısal sıcaklık sensörlerinde vs. yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Kiral nematik sıvı kristaller kullanılarak sıcaklığa duyarlı sanat eserleri bile gerçekleştirilmiştir. Bu tür sensörler genellikle LCD gibi iki cam parçasının arasına sıvı kristal yerleştirilerek yapılmaz. Bunun yerine kirali nematik malzeme ya bir polimer kaplama içinde kapsüllenir ve bir katı matris içine yerleştirilir ya da bir PDLC gibi katı bir polimer malzeme içinde basitçe damlacıklar halinde dağıtılır.

Sıvı kristaller optik özelliklerini önemli ölçüde değiştiren şekillerde uygulanan birçok etkiye duyarlı olduklarından diğer sensörlerde kullanılma olasılıkları vardır. Örneğin elektrik veya manyetik alanın varlığını tespit edebilen bir cihaz, bir sıvı kristal kullanılarak kolaylıkla imal edilebilir. Ek olarak sıvı kristal cihazlara dayalı olarak basınç, kesme gerilimi, kızılötesi ve diğer radyasyon ve kimyasal buhar sensörlerinin tümü mümkündür (Sage, 1992).

Hem kristal hem de sıvı özelliklere sahip sıvı kristal malzemeler benzersiz optik özelliklere sahip oldukları için günümüz teknolojisinde anahtar bileşenlerdir. Sıvı kristal teknolojisi, cihaz teknolojisinin yanı sıra bilim ve teknolojinin birçok alanı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu özel malzeme türü için uygulamalar hala keşfedilmekte ve birçok farklı soruna etkili çözümler sunmaya devam etmektedir (Palanna, 2009).

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Uzuner (2001) yaptığı çalışmada p-asetoksibenzoik asit (p-ABA), m-asetoksibenzoik asit (m-ABA) ve p-asetoksifenilasetik asit (p-AFAA) monomerlerine dayanan bir dizi homopolimer ve kopoliester kondensasyon yöntemi ile sentezlemiştir. Sentezlenen maddelerin özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda polimer zincirleri içinde p-fenilen gruplara sahip monomerlerin artış miktarına bağlı olarak kristal yapıda düzelme olduğu gözlemlenmiştir. 100P homopolimeri dışında diğer polimerlerin işleme kolaylığı bakımından uygun erime ve camsı geçiş sıcaklığına sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Sıvı kristal maddeler sahip olduğu çift kırınım özelliği sayesinde elektro-optik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. 5CB sıvı kristali ile bir elektro-optik lazer ışığı modülatörü yapılmıştır (Köysal, 2002). Yapılan çalışmalar modülatörün yapımında kullanılan 5CB sıvı kristali için faz geçiş sıcaklıkları, optiksel anizotropinin voltaj ve dalga boyuna bağlı değişimi literatürdeki diğer çalışmalarla benzer olduğunu göstermektedir.

Katı ve sıvı faz arasındaki geçiş birden olmamakla beraber bu geçiş ara fazlar sergilemektedir. Bu tür ara faz sergileyen maddelere mezofaz denir (Özgan ve ark.,2003). Modife Pople ve Karasz modeli kullanarak düzen parametrelerin sıcaklıkla değişimi, katı-nematik ve nematik-izotropik sıvı faz geçişleri ve teorik faz diyagramları incelemiştir. Yapılan çalışmada basınç sıfır olduğunda tek faz geçişi elde edilirken yüksek basınçlarda iki faz geçişi olduğu görülmüştür. Burada basıncın faz geçişlerine etkisi gösterilmiştir.

Sıvı kristallerin elektro optik özellikleri ve faz geçişlerini incelemek amacıyla yapılan çalışmada 5CB sıvı kristali katkılılandırılarak araştırma yapılmıştır. Sonuçlar sıvı kristallerin optoelektronik uygulamaları hakkında yeni bilgiler vermektedir (Coşkun, 2007).

Nematik sıvı kristallerle 6CB, 8CB ve 8OCB ve bunların karışımları ile yapılan çalışmada kapasitans dielektrik ve iletkenlik özelliklerini incelemiştir (Ateş, 2010). Sıvı kristallerin kapasitans değerlerinin frekans azaldıkça düştüğü belirtilmiştir. İletkenlik değerinin ise frekans arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sıvı kristallerin cihaz uygulamalarında tercih edilme sebebi olan düşük voltajla moleküllerin yöneliminin değiştirilebildiği kanıtlanmıştır.

Prabu ve ark. (2011) yeni lineer hidrojen bağı sıvı kristal homolog seriler sentezlemiş karakterize etmiştir. Sentezlenen sıvı kristal kompleks karışımlarının hidrojen bağlarının oluşumunu anlamak için FTIR analizi yapılmıştır. Polarize mikroskop ve DSC çalışmaları ile ilgili entalpi değerleriyle birlikte çeşitli mezofazları ve bunlara karşılık gelen geçiş sıcaklıkları belirlenmiştir. Burada sıcaklığa bağlı FTIR çalışmaları için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu teknikle elde edilen spektral sonuçlar geleneksel yöntemle uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Bu FTIR çalışmaları çeşitli mezofazlarda kayma ve yeni tepe noktalarının oluşumu hakkında bilgi vermiştir. Böylece mezojenin kimyasal moleküler ortamı hakkında bilgiyi zenginleştirmiştir.

Nematik sıvı kristaller 6CB, 8CB, 8OCB, 6BA, 8OBA ve 10OBA ile oluşturulan ikili sıvı kristal karışımları ile ilgili araştırmada karışımların faz geçiş sıcaklıkları, entalpi ve entropileri DSC ile analiz edilmiştir. POM ve DSC sonuçları nematik ve smektik faz geçişlerini göstermiştir. Elde edilen faz geçiş sıcaklıkları DSC ve POM sonuçları uyum içinde olduğu gösterilmiştir (Okumuş, 2012).

(Prabu ve ark., 2013) supramoleküler hidrojen bağı sıvı kristallerin yeni bir smektik düzenin X-ışını, optik ve dielektrik çalışmalarla karakterizasyonunu yapmışlardır. Yapılan çalışmada çeşitli alkiloksi benzoik asitler arasında hidrojen bağları oluşturulmuştur. Hidrojen bağının oluşumu FTIR spektroskopik çalışmalarla doğrulanmıştır. Optik mikroskop (POM) çalışmaları zengin faz varyansı sergilediğini ortaya koymuştur. DSC çalışmalarıyla faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri ortaya çıkarılmıştır. Araştırmada Smektik X olarak etiketlenen yeni bir smektik düzen gözlenmiştir. Bu faz XRD içeren yeni tekniklerle karakterize edilmiştir. Çeşitli homologların smektik C ve smektik X fazlarındaki optik eğim açısı ölçülmüş ve bir güç yasasına uyarlanmıştır. Farklı mezojenlerin nematik ve smektik C fazlarında dielektrik gevşemeleri gerçekleştirilmiş ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Buna ek olarak bu mezojenlerin nematik fazdaki ışık filtreleme etkisi incelenmiştir.

Sıvı kristallerin genel özellikleri ve sınıflandırılması Ekici (2014) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada sıvı kristallerin oluşumu ve yaygın kullanım alanları belirtilmiştir.

Sıvı kristaller ile ilgili başka bir araştırmada lineer supra-moleküler sıvı kristaller, 4-(oktiloksi) benzoik asit (8OBA) ve 4-(oktiloksi)-3-floro benzoik asit (8OBAF) sentezlenmiştir. Bu bileşiklerin yapısı NMR ve FTIR ile araştırılmıştır. Bu bileşiklerin termal ve faz davranışları, polarize optik mikroskopi (POM), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve dielektrik spektroskopisi ile incelenmiştir. Flor atomun

benzen halka çekirdekli bileşiklerin ve elektro-optik ve optik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu bileşiklerin ikili karışımlarının faz diyagramı (sıcaklık-konsantrasyon) soğutma modunda olduğu kadar ısıtmada da çizilmiştir. İkame edilmiş mezojen, 80BA'ya kıyasla zengin faz varyansı sergilediği gösterilmiştir. Deneysel gözlemlerden komplekslerde smektik-G fazı ortaya çıktığı görülmüştür (Fouzai ve ark., 2018).

4-oktiloksi benzoik asit (8OBA) ve azelaik asit (AZA) karışımı ile yeni supramoleküler sıvı kristal sentezi gerçekleştirilmiş ve sentezlenen sıvı kristalin karakterizasyonu yapılmıştır (Okumuş ve Sünkür,2017). Deneysel sonuçlar karışımın sıvı kristal özelliği gösterdiğini belirtmiştir.

Dört farklı moleküler düzenlemeye sahip polar nematik sıvı kristallerin moleküler etkileşimlerinin IR bant yoğunluklarını nasıl etkilediğini anlamak için FTIR spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. E7 moleküllerinin polar sert kısımları arasında oluşan moleküler bağların sıvı kristallerin çekirdek kısımlarından gelen IR bant yoğunluklarının azalmasına neden olduğu bulunmuştur. Sıvı kristallerin kalınlığı arttıkça moleküler bağların daha önemli hale geldiği yapılan çalışmada bulunmuştur. (Kim ve ark.,2017)

Mezojenik p-n-heptiloksi benzoik asit (7BOA) ve p-n- alkil benzoik asitlerden (nBA) türetilen yedi doğrusal hidrojen bağlı termotropik sıvı kristalin tasarımı, sentezi ve karakterizasyonu yapılmıştır. Hidrojen bağları FTIR analizi ile teyit edilmiştir. Faz geçiş sıcaklıkları ve bunlara karşılık entalpi değerli DSC ve POM ile belirlenmiştir. Faz geçişinin sırası, kaydedilen DSC termogramlarının tepe yüksekliklerinden Navard ve Cox oranı hesaplanarak incelenmiştir. Bu Karakterizasyon tekniklerine ek olarak nematik fazda ışık filtreleme işlemi de gerçekleştirilmiştir (Sankarranarayanan ve ark., 2017).

1:1:1 ağırlık oranında karıştırılan 6BA, 8OBA ve 10OBA karışımının sıvı kristalik davranışına 8OCB'nin etkisi Okumuş (2017) tarafından araştırılmıştır. Sonuçlar karışımın sıvı kristalik özelliği gösterdiğini ortaya koymuştur. Üçlü karışıma 8OCB eklenmesi ile karışımın nematik alan aralığının arttığı gözlemlenmiştir. Karışımdaki 8OCB'nin ağırlık oranının artmasıyla nematik-izotropik geçiş sıcaklığının azaldığı ölçülmüştür.

Sıvı kristal uygulamalarının geliştirilmesinde moleküllerin sahip olduğu yüksek anizotropi önemlidir. Moleküllerin yönelime bağlı değişen özellikleri sayesinde sıvı kristal cihazlar üretilmektedir. Yıldırım (2017) yaptığı çalışmada E7 sıvı kristal karışımı nano boyutta ve sert yüzeyi olan silindirik porlara sahip alümina (AAO) membranlar

kullanılarak sıkıştırmanın sıvı kristal karışımının termal, yapı ve moleküler dinamik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Karışım termal ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre dielektrik spektroskopisi ile incelenen moleküler dinamik özelliklerine bakıldığında por içerisine sıkıştırılan sıvı kristal moleküllerin dinamiğinin hızlandığı ve alfa relaksasyon sürecinin baskın olduğu gözlenmiştir. Sıkıştırılmış olan E7 sıvı kristalinin camsı geçiş sıcaklığı por çapı azaldıkça düştüğü gözlemlenmiştir.

Bükümlü nematik sıvı kristal aygıtların elektro-optik özellikleri ve uygulama alanları üzerine bir araştırma yapılmıştır (Karapınar, 2017). Araştırmada nematik sıvı kristal bir cihazın düzen parametresinin sıcaklığa ve optik geçirgenliğinin ise uygulanan gerilime bağlılığı gibi bazı fiziksel özellikler incelenmiştir.

Başka bir çalışmada Maier-Saupe teorisi kullanılarak sıvı kristallerdeki nematik-izotropik faz geçişi araştırılmıştır. Bu teori nematik-izotropik faz geçişini açıklamak için oldukça yararlıdır. Sonuç olarak sıcaklık ve fraksiyonel arasında yakın bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur (Gültepe, 2018).

Sıvı kristallerle ilgili bir diğer çalışmada çeşitli sıvı kristal uygulamalarının işleyişi, sıvı kristal malzemeler, fazlar, malzemelerin sentezleri vb. sıvı kristal fiziği tartışılmıştır. (Philips, 2018).

Eskalen ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, nematik sıvı kristal karışımı E7, heksilsilyanobifenil (6CB) ve heksilbenzoik asitten (6BA) yeni bir sıvı kristal karışım kompleksi tasarlanmış ve sentezlenmiştir. DSC ve POM sonuçlarında sıvı kristal komplekslerinin smektik ve nematik faz ile sıvı kristal özellikler sergilediğini rapor etmişlerdir. E7 oranı %80 iken karışım kompleksi en geniş nematik aralığa sahip olduğunu ve E7 özellikleri sergilediğini ifade etmişlerdir. E7 ağırlık oranı %80'den az olduğunda hidrojen bağlarının oluşumu ile mezojenik fazların sayısı arttığı ve nematik aralığın azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen numunelerin elektriksel özellikleri empedans spektroskopisi tekniği ile ölçülmüştür. Işık geçirgenlik deneyi yardımıyla numunelerin çift kırılma ve kontrast oranı da incelenmiştir.

Eskalen ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, grafen oksit (GO) ve metil mavisi (MB) boyasının sıvı kristal karışımı E7'ye dağıtılmasıyla sıvı kristal kompleks sistemler elde edilmiştir. Hazırlanan sıvı kristal kompleks sistemlerin faz geçişleri ve mikroyapısal özellikleri, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve polarize optik mikroskopi (POM) ile araştırılmıştır. DSC ve POM sonuçları, komplekslerin moleküler yapılarında herhangi bir değişiklik olmadığını ve sürekli

ısıtma sırasında tamamen sıvı kristal özellikler sergilediklerini göstermiştir. Ayrıca karmaşık sistemlerin voltaja bağlı optik iletimleri, voltaj iletim deneyleri ile ölçülmüştür. Kompleks sistemlerin optik iletimlerinin birbirinden çok farklı olmadığı ancak kompleksin eşik voltajının GO katkısı ile azaldığı ve MB/GO katkısı için arttığı tespit edilmiştir.

Okumuş ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada yeni bir supramoleküler sıvı kristal kompleksi tasarlanmış ve saf sıvı kristaller para-azoksiyanisol (PAA) ve 4-heksilbenzoik asitten (6BA) oluşturulmuştur. Oluşturulan PAA/6BA ikili sıvı kristal kompleks sisteminin termal ve mikroyapısal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), polarize optik mikroskopi (POM) ve X-ışını difraktometresi (XRD) ile incelenmiştir. XRD sonuçları, hidrojen bağlı PAA/6BA kompleksinin moleküler sıralamasının ortorombik yapıda düzenlendiğini göstermiştir. DSC ve POM sonuçları, PAA/6BA ikili kompleksinin, PAA ve 6BA molekülleri arasında oluşan hidrojen bağları nedeniyle sıvı kristal özellikler sergilediğini açıkça göstermiştir. Ayrıca PAA/6BA sıvı kristal kompleksinin faz geçişleri için aktivasyon enerjileri Kissinger, Ozawa ve Takhor yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Okumuş ve Sünkür (2019) 4-oktiloksibenzoik asit (8OBA) ve adipik asit (ADA) kimyasal maddelerini sentezleyerek karışımın karakterizasyonunu yapmışlardır. POM ve DSC sonuçları karışımın ara fazlar sergilediğini ve sıvı kristal özelliği gösterdiğini ortaya koymuştur. Isıtma ve soğutma sonucunda oluşan nematik alan değeri de ölçülmüştür.

Bükülmüş çekirdekli nematik sıvı kristallerle ilgili yapılan tez araştırmasında oksadiazol bazlı bükülmüş çekirdekli sıvı kristallerdeki ve bunların karışımlarındaki elastik davranış araştırılmış ve bu sistemlerde faz davranışları hakkında bilgi verilmiştir (Srigengan, 2019).

Çubuk şekilli, muz şekilli geometriye sahip ve koyu faz sergileyen 4 farklı sıvı kristalin analizi ile ilgili çalışma Yıldız (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sıvı kristallerin faz geçişlerinin belirlenmesinde dielektrik spektroskopinin etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmış ve bu sıvı kristallerin dielektrik özellikleri literatüre eklenmiştir.

Nematik bir sıvı kristalin ve polianilin (PANI) ve gümüş nanopartiküller (Ag NP'ler) ile karışımlarının termo-dinamik, dielektrik ve elektro optik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Polianilin ve gümüş nanoparçacıkların birleşik etkisini görselleştirmek için bir polianilin/gümüş nanokompozit hazırlanmıştır. Eşit

konsantrasyonda polianilin, gümüş nanoparçacıklar ve polianilin/gümüş nanokompozit alınmış ve saf nematik sıvı kristal (NLC) malzemesine katılanmıştır. Saf NLC malzemesinin çeşitli sıvı kristal (LC) parametrelerinin ve farklı katkı maddeleri ile karışımlarının karşılaştırılması da yapılmıştır. Termodinamik çalışma, LC'de polimer ve nanoparçacık ikilisinin varlığının, LC malzemesinin düzen parametresini ayarlayabileceğini göstermiştir. Dielektrik geçirgenlik, dielektrik anizotropi ve iletkenlik değerlerini elde etmek için dielektrik ölçümleri yapılmıştır. Deneysel değerler, polianilin/gümüş nanokompozit katkılı sıvı kristal karışımının, sıvı kristal ekranların ve diğer enerji verimli cihazların özelliklerini geliştirmede kullanılabileceği sonucunu ortaya konmuştur (Vimal ve ark., 2019).

Son yıllarda ilgi çekici konulardan olan karbon kuantum parçacıklarının sıvı kristallere karıştırılması yeni araştırma konularından birisi olmuştur. Örneğin Eskalen (2020) hidrotermal yöntemle mandalina suyundan karbon kuantum noktalarını (CQD'lar) nano boyutta sentezlemiş ve bu çok küçük boyutlu nanopartiküller nematik sıvı kristal karışım E7'ye dağıtılmıştır. Saf ve CQDs katkılı sıvı kristallerin eşik voltajı dielektrik spektroskopi ölçümlerinden elde edilmiş ve artan CQDs ekleme konsantrasyonu ile eşik voltajının arttığı gözlemlenmiştir. Numunelerin izotropik faz geçiş sıcaklıklarına nematik, DSC termogramları ve POM ile araştırılmıştır. Artan CQD ekleme konsantrasyonu ile kademeli olarak azalan faz geçiş sıcaklıkları ortaya çıktığını rapor etmiştir.

Hamdi ve ark. (2020) yaptığı çalışmada, rijit birim, tolan ve esnek alkiloksi yan gruplarından oluşan bir sıvı kristal (R=OC6H13) sentezlemişlerdir. Element analizi ile ürünün saflığı doğrulanmıştır. Kimyasal yapısı NMR ve FTIR analizleri ile karakterize edilmiştir. Fizikokimyasal özellikleri Polarize Optik Mikroskop (POM) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ile araştırılmıştır. Bileşiğin iyi termal stabilite ve yüksek çift kırılma ile nematik faz sergilediği ortaya koyulmuştur. Ayrıca iki smektik fazı sergilediği gösterilmiştir. Elde edilen POM sonuçlarındaki faz dizileri, DSC tarafından gerçekleştirilen sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu ortaya koyulmuştur.

Steroidler ve steroidal türevler ile ilgili yapılan bir çalışmada, kolesterol, stigmasterol ve ergosterolün bazı yeni 4-merkaptalkil benzoatlarının temamorfik davranışlarını gösterilmiştir. Araştırmada yan zincirlerdeki oksijenin kükürt atomu ile yer değiştirmesinin mezojenik davranışları üzerindeki etkisinin yanı sıra, steroidal iskeletin etkisine odaklanılmıştır. Kolesterol analoglarının smektik, kolesterik ve mavi fazlar gösterdiği bulunurken stigmasterol ve ergosterol türevlerinin doğada smektogenik

olduğu gösterilmiştir. Stigmasterol türevlerinin, karşılık gelen kolesterol ve ergosterol analoglarına kıyasla önemli ölçüde daha düşük berraklaşma sıcaklıkları sergiledikleri bulunmuştur. Ayrıca kolesteril türevlerinde oksijen atomunun sülfür ile yer değiştirmesi, berraklaşma sıcaklıklarında önemli bir azalma ile sonuçlandığı ortaya koyulmuştur (Bhat ve ark., 2020).

Balkanlı ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada 4-Benziloksifenil 4-[4-(n dodesiloksi)benzoiloksi]benzoat (BDBB) sıvı kristal karışımı hazırlanarak karakterizasyonu yapılmıştır. Sentezlenen sıvı kristalin termodinamik özelliklerini araştırmak için Ters Gaz Kromatografisi analiz yöntemi kullanılmıştır. Karışımın seçiciliğini incelemek için asetat ve alkol izomerleri 333.2 K ile 483.2 K arasında sıcaklıklarda Ters Gaz Kromatografisi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. BDBB karışımı üzerinde n-heptan, n-oktan, n-nonan, n-dekan, undekan, dodekan, tridekan, n-bütül asetat, izobütül asetat, etil asetat, n-propilbenzen, izopropilbenzen, etilbenzen, klorobenzen ve toluenin tutulma diyagramları, 483.2–493.2 K sıcaklıklarla çizilmiştir. Ayrıca karışımın Flory-Huggins etkileşim parametresi ve sonsuz seyreltmede ağırlık fraksiyonu aktivite katsayısı araştırılmıştır.

Mezojenik olmayan itakonik asit (IA) ve mezojenik 4-undesiloksibenzoik asitten (11OBA) yeni bir moleküller arası hidrojen bağı sıvı kristal karışım (HBLC) sentezlenip ve karakterizasyonu yapılmıştır. Hidrojen bağı oluşumu spektroskopik çalışmalar kullanılarak analiz edilmiştir. POM ile geçiş sıcaklığına karşılık gelen sıvı kristal fazların varlığı doğrulanmıştır. Elde edilen POM ve DSC çalışmaları mevcut karışımın nematik ve smektik mezojenik faz geçişlerini içerdiğini ortaya koymaktadır. Sentezlenmiş karışımın HD görüntüleme cihazları için kullanımının uygun olduğu yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur (Balasubramanian ve ark., 2021).

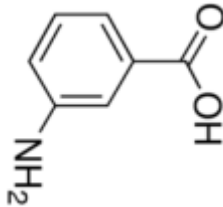
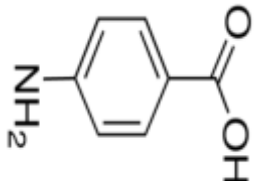
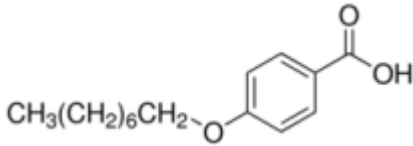
Khan ve Mukherjee (2021) yaptıkları çalışmada konik şekilli sıvı kristallerde izotropik ve smektik A faz geçişini Landau teorisini kullanarak açıklamışlardır. Deneysel sonuçlarla konik şekilli sıvı kristallerde smektik fazda elektrooptik anahtarlamının yanı sıra ferroelektriğe benzer bir polarizasyon zirvesi gözlemlenmiştir. Bu davranış fenomenolojik teori kullanılarak açıklanmıştır. Anahtarlama süresinin sıcaklığa bağımlılığı da açıklanmıştır. Teorik ve deneysel sonuçlar arasında niteliksel bir bağlantı bulunmuştur.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu tez araştırmasında kullanılan kimyasal maddeler Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır. Bu çalışmada mezojenik olmayan 4-Aminobenzoik asit (4ABA) ve 3-Aminobenzoik asit (3ABA) ile mezojenik 4-Oktiloksibenzoik asit (8OBA) kimyasal maddeleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kimyasal maddelerin saflık oranı >%98 olduğundan bu oran yeterli görülüp saflaştırma işlemine gerek duyulmamıştır. Saf maddelerin kimyasal yapıları ve lineer formülleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1. Deneyde kullanılan maddelerin kimyasal yapılarının ve lineer formüllerinin gösterimi

LC	Lineer Formül	Kimyasal Yapı
3ABA	$H_2NC_6H_4COOH$	
4ABA	$H_2NC_6H_4COOH$	
8OBA	$CH_3(CH_2)_7OC_6H_4COOH$	

Deneysel çalışmada kullanılacak karışım numuneleri oluşturulurken saf maddeler istenilen oranda karıştırılarak tartıldı. Deneyde kullanılan kimyasal maddeler ve sentezlenen karışımlar Çizelge 4.2’de gösterildiği gibi sembolize edilmiştir.

Çizelge 4. 2. Deneide araştırılan kimyasal maddeler ve sentezlenen karışımlar

No	Karışım Numunesi	Karıştırma Oranı	Sembol
1	4ABA		SP1
2	3ABA		SP2
3	8OBA/4ABA	%50 - %50(mol)	SM1
4	8OBA/3ABA	%50 - %50(mol)	SM2
5	8OBA/4ABA	%50 - %50 (ağırlık)	SM3
6	8OBA/3ABA	%50 - %50(ağırlık)	SM4
7	8OBA/4ABA	%80 - %20 (ağırlık)	SM5
8	8OBA/4ABA	%35 - %65 (ağırlık)	SM6
9	8OBA/4ABA	%20 - %80 (ağırlık)	SM7
10	8OBA/3ABA	%65 - %35 (ağırlık)	SM8

4.2. Karışımların Hazırlanması

Tez araştırmasında kullanılacak sıvı kristal karışımlar hazırlanırken önceden belirlenen oranlarda kimyasal maddeler hassas terazi ile ölçülerek karıştırılmıştır. Karışımların homojen bir yapı elde etmesi için ısıtma tablası üzerinde kristal fazdan sıvı faza kadar ısıtılmıştır. Numune sıvı fazda soğumaya bırakılmış ve katı faz oluşunca tekrar ısıtma işlemi yapılmıştır. Faz dönüşümleri ve ısıtma esnasında mekaniksel yöntemlerle karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Karışımların ısıl işlem sırasında faz geçişlerini incelemek için hazırlanan sıvı kristal hücreleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1. Faz geçişlerini gözlemlemek için hazırlanan sıvı kristal hücreleri

4.3. Deneyde Kullanılan Cihazlar

4.3.1. Polarize Optik Mikroskop (POM)

Polarize ışık mikroskobu, sıvı kristal ve polimerlerin incelenmesi için standart bir araçtır ve mineroloji için geliştirilmiştir. Parlak alan mikroskobunun tüm faydalarına sahiptir ve başka herhangi bir optik mikroskopi tekniğinde bulunmayan yerel yönelimler hakkında zengin bilgi sunar. Polarize ışık mikroskobu izotropik ve anizotropik materyalleri ayırt edebilir. Bu teknik malzemenin yapısı ve bileşimi hakkında ayrıntılı bilgi ortaya çıkarmak için anizotropinin optik özelliklerinden yararlanır. Anizotropik malzemeler, gelen ışığın yönelimine veya onun kristalografik eksenlerine göre değişen optik özelliklere sahiptir. Anizotropik malzemeler ışın ayırıcı görevi görür ve ışık ışınlarını iki kısma böler. Polarize mikroskopi tekniği, malzemeler hakkında bilgi elde etmek için aynı optik yol boyunca yeniden bir araya getirildikleri için bölünmüş ışık ışınlarının girişiminden yararlanır (Scharf, 2007).

Karışımların faz geçişlerini incelemek için Batman Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan Leica marka Polarize Optik Mikroskop kullanılmıştır (Şekil 4.2).

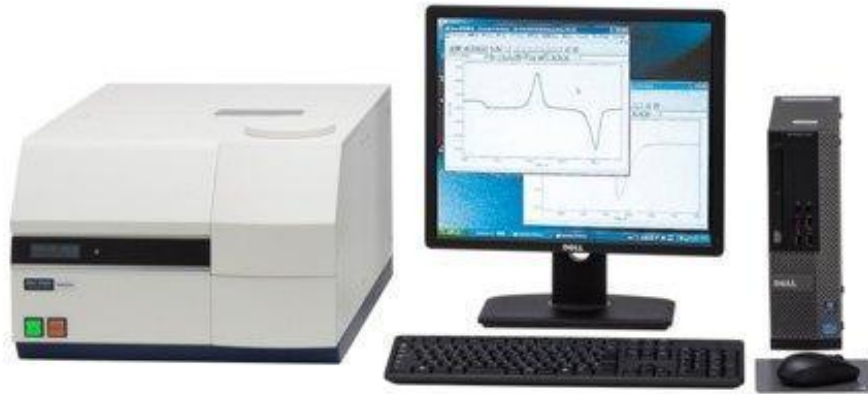


Şekil 4. 2. Polarize ekipmanlı araştırma mikroskobu

4.3.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

Sıvı kristalleri incelemek için kullanılan en yaygın termal teknik diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) olmuştur. Bu yöntem, bilgisayar yazılım programları ile ticari cihazlar kullanarak entalpi değişikliklerini (-0.01 j / g kadar küçük), çok küçük numune büyüklüğünü (-10 mg) hızlı ve rahat çalıştırma prosedürlerini tespit etmek için yüksek hassasiyet avantajlarına sahiptir. Şekil 4.4'te sıvı kristallerin faz geçişlerini, faz geçiş sıcaklıklarını ve entalpi değişikliklerini belirlemede kullanılan DSC cihazı gösterilmiştir. DSC, yeni faz geçişlerini keşfetmek ve termal özelliklerin niteliksel büyüklüğünü belirlemek için birçok yönden ideal bir termal analiz tekniğidir.

Çalışmamızda üretilen sıvı kristal karışımları termal özellikleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Kimya bölümünde bulunan Perkin Elmer DSC 8000 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile araştırılmıştır.

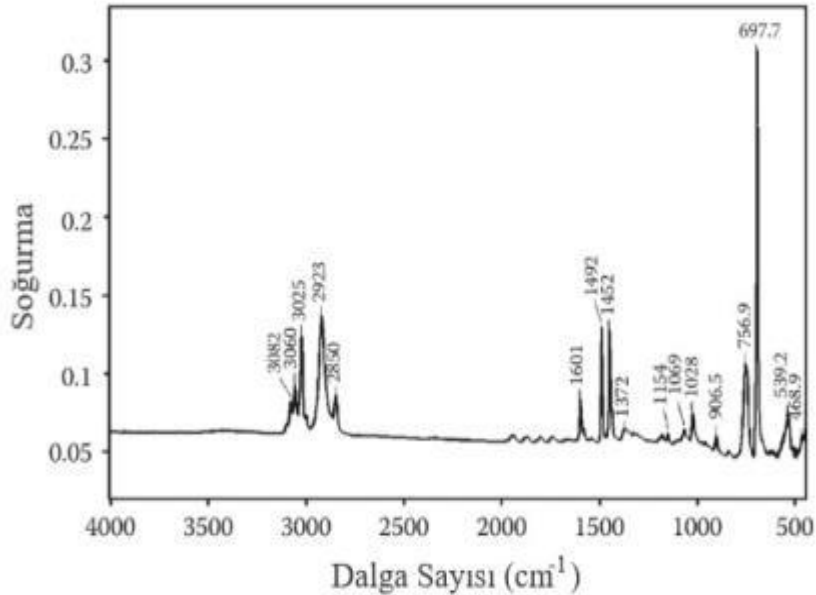


Şekil 4. 3. Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı (url)

4.3.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi (FTIR)

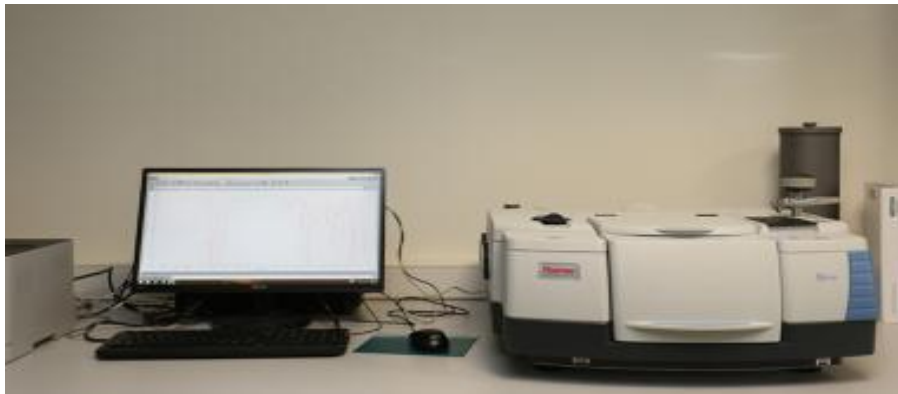
Bir ışığın özelliğine karşı ölçülen kızılötesi ışık yoğunluğunun grafiğine kızılötesi spektrum denir. Kızılötesi spektrumun bir örneği Şekil 4.5'de gösterilmektedir. Geleneksel olarak, bir kızılötesi spektrumun x ekseninde solda yüksek dalga sayısı ve sağda düşük dalga sayısı ile çizilir. FTIR spektrumlarının grafikleri her zaman bu kuralı takip etmelidir. Şekil 4.4'te 4000 cm^{-1} 'nin solda ve 500 cm^{-1} 'nin sağda olduğuna ve spektrumun bir numune tarafından absorbe edilen ışık miktarını

ölçen absorbans birimlerinde çizildiği görülmektedir. Şekilde görülebileceği gibi pik noktaları yukarı bakmaktadır ve pik noktaları önemli miktarda ışığın bir numune tarafından emildiği dalga sayılarını göstermektedir. Birçok kimyasal bileşimin tanımlanması ve karakterizasyonu kızılötesi spektroskopi ile gerçekleştirilebilir. Kızılötesi spektrofotometre, organik bileşiklerin analizinde kullanılan temel araçlardan biridir. Son derece küçük numuneleri analiz edebilen bir analiz yöntemidir. Moleküllerin kovalent bağları uygun frekansta kızılötesi radyasyon ile ışılandığında, bağlar kızılötesi enerjiyi emer ve kaydedilen spektrumda karakteristik absorpsiyon zirveleri oluşur. Bu absorpsiyon, iki veya daha fazla atomun veya atom grubunun titreşim frekansı kızılötesi radyasyonunkine eşit olduğunda gerçekleşir. Bu nedenle, spektrumdaki absorpsiyon zirvesi belirli grubun veya moleküldeki bağın titreşim frekansını temsil eder. Bir kızılötesi analiz yapıldığında, numune sürekli kızılötesi radyasyon ışını içine yerleştirilir ve numuneden iletilen radyasyon daha sonra bir prizma veya ızgara optiği ile bir spektrumda dağıtılır. Kızılötesi dedektörler, iletilen radyasyonun yoğunluğunu algılar ve yoğunluk, kızılötesi frekansa karşı örnek tarafından iletilen veya yok edilen kızılötesi radyasyon yüzdesinin bir grafiği olarak yükseltelen ve kaydedilen bir sinyale dönüştürülür.



Şekil 4. 4. Polistirenin kızılötesi spektrumu

Araştırılan bir numuneyle ilgili soruları yanıtlamak için kızılötesi spektrumları kullanılır. Burada yaygın olarak yanıtlanmaya çalışılan soru, 'Bu örnekte hangi moleküller var?' sorusudur. Bir kızılötesi spektrumdaki pik noktaları moleküler yapı ile ilişkilidir. Son 100 yıldan fazla bir süredir çok sayıda kızılötesi spektrum ölçülmüştür ve bu spektrumlardan türetilen bilinen moleküllerin pik noktaları, bilinmeyen bir numunedeki molekülleri tanımlamak için kullanılabilir. Karşılaştırma yaparken 'Bu iki örnek aynı mı?' sorusunu soruyoruz. Bu soru, bilinmeyen spektrumu bir referans spektrumla karşılaştırarak ve iki spektrumdaki pik noktalarının, yüksekliklerin ve genişliklerin ne kadar iyi eşleştiğine dikkat edilerek yanıtlanır. Spektrumları her biriyle karşılaştırmak, bilinmeyen bir spektrumu yorumlamaktan daha kolaydır, ancak yine de doğru şekilde yapılması gerekir. Kızılötesi spektrumları kullanılarak numunedeki molekül konsantrasyonları hakkında da bilgi sahibi olunabilir. Pik noktaları, bir numunedeki moleküllerin yapılarını verir. Pik yoğunlukları bir numunedeki molekül konsantrasyonlarını verir ve pik genişlikleri pH ve hidrojen bağı dahil numunenin kimyasal matrisine duyarlıdır. Katılar, sıvılar, gazlar, polimerler, sıvı kristaller, organikler, inorganikler, biyolojik malzemeler, saf maddeler ve karışımlar dahil olmak üzere birçok numune türünün kızılötesi spektrumları ölçülebilir. Kızılötesi spektroskopisi numune açısından zengin bilgi sunduğundan oldukça avantajlıdır. Numuneleri kızılötesi spektrumları ile ölçmek nispeten daha hızlı ve kolaydır. Elbette numunenin doğası ve seçilen numune alma tekniği analizin hızını ve kolaylığını etkileyecek ve bazı numuneler diğerlerinden daha zor olacaktır. Ancak birçok örneğin kızılötesi spektrumları beş dakika veya daha kısa sürede ölçülebilir. Kızılötesi spektroskopinin bir diğer avantajı ise oldukça hassas ve duyarlı ölçümler yapabilesidir (Coleman ve Powell, 1966). Şekil 4.5'te FTIR Spektrometri cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4. 5. FTIR Spektrum Cihazı

4.3.4. X-Işını Difraktometresi (XRD)

X ışını kırınımı (XRD) doğal ve üretilmiş materyallerin kimyasal bileşimi ve kristal yapısı hakkında ayrıntılı bilgiler sunan çok yönlü ve tahribatsız bir yöntemdir. XRD yöntemi bir toplu analiz cihazı olarak düşünülebilir ve başta toz formu olmak üzere nanomalzemelerin karakterizasyonu için kullanılabilir. Ortalama bilgiler elde edilip diğer analiz sonuçları ile ilişkilendirilebilir. XRD'nin temel avantajı tahribatsız olması, invazif olmaması ve numune hazırlığında vakum gerektirmediği için kısıtlılığı bulunmamasıdır. X ışını kırınımı ilkesi sayesinde araştırılan materyal hakkında çok sayıda yapısal, fiziksel ve kimyasal bilgi elde edilebilir.

X ışını kırınımında materyallerin kristal özelliklerini araştırmak için kolime edilmiş (yönlendirilmiş) foton demeti (genellikle monokromatik) kullanılır. Oluşan enterferans şekli, materyali oluşturan kristal fazların örgü özellikleri ile ilişkilidir.

XRD, tüm sentezlenmiş ve doğal materyal tiplerinin mikro ve kristal yapıları ile kimyasal bileşimleri hakkında ayrıntılı bilgiler sağlayan çok yönlü bir yöntemdir. Materyallerde x ışını kırınımı sadece fazların tanımlanmasından biriken katmanların kalınlık ölçümüne kadar biçim değişim miktarını incelemeye kadar çok fazla alanda kullanılmaktadır. Diğer uygulamalar arasında polikristallerin tanecik büyüklüğü ile rezidüel gerilimin ölçümü de vardır; gerilim ölçümünde belli bir kristalografik pikin düzlemler arası mesafesi, atomik ölçekte bir ekstensometre (uzamaölçer) olarak kullanılır.

Pik pozisyonlarına bakarak kristal hücrenin geometrisini öğrenmek ve numunelerde mevcut kristal fazların tanımlanmasını yapmak mümkündür. Piklerin şiddeti, hücredeki atomları ve bu atomların pozisyonu ile öncelikli yönelimlerini belirlemeyi sağlar. Piklerin şekli ve asimetrisi, kristal alanların ortalama boyutu hakkında bilgi içerir kristal defektler (yer değişimleri, yığıma hataları vs.) Numune rotasyonuna bağlı pik kayması, numunedeki rezidüel gerilim ile ilişkilidir. Standart uygulama alanları şöyledir:

- Çevresel analiz: kayalar, topraklar, killer, mineraller, ince tozlar, serbest silisyum, asbest ve lifler.
- Çimento, petrol, cam, tekstil, elektronik, nükleer endüstrisi
- Katalizör çalışmaları
- Polimerler, patlayıcılar, seramik materyaller ve yeni materyaller
- Tarım, biyoloji ve kimya bilimleri

- Farmasötik ve kozmetik
- Adli tıp bilimleri
- Arkeoloji, arkeometri, sanat...

Son yıllarda nanomalzemelerde XRD kullanımı gelişmiştir ve spesifik uygulamalar yayımlanmıştır. XRD özellikle tek başına veya polimer, sıvı ya da biyomalzeme gibi farklı matrislerin içinde dağılmış nano tozların analizinde faydalıdır. Ayrıca düşük kristalliğe sahip karbon materyallerin nano yapıları da yüksek enerjili x-ışını kırınımı kristal formların kimyasal halleri kullanılarak analiz edilmiştir. Kristal/amorf oranı nano toz karakterizasyonu için de çok önemlidir (Ersöz, 2018).

Hazırlanan sıvı kristal karışımların XRD analizi için Batman Üniversitesi Merkezi Laboratuvarda bulunan Rigaku marka XRD cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6. X-Işını Difraktometrisi (XRD) cihazı

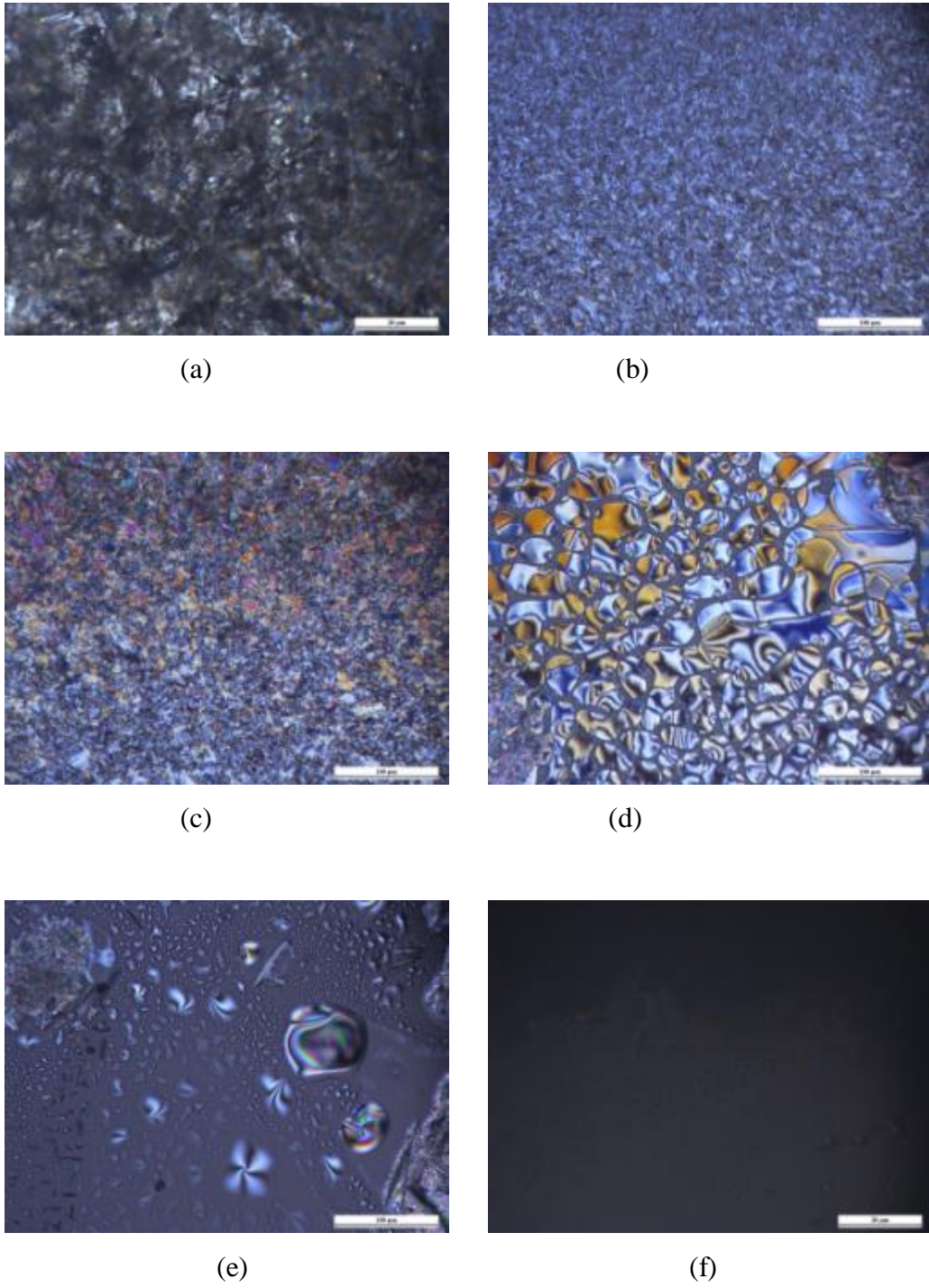
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. POM Çalışmaları

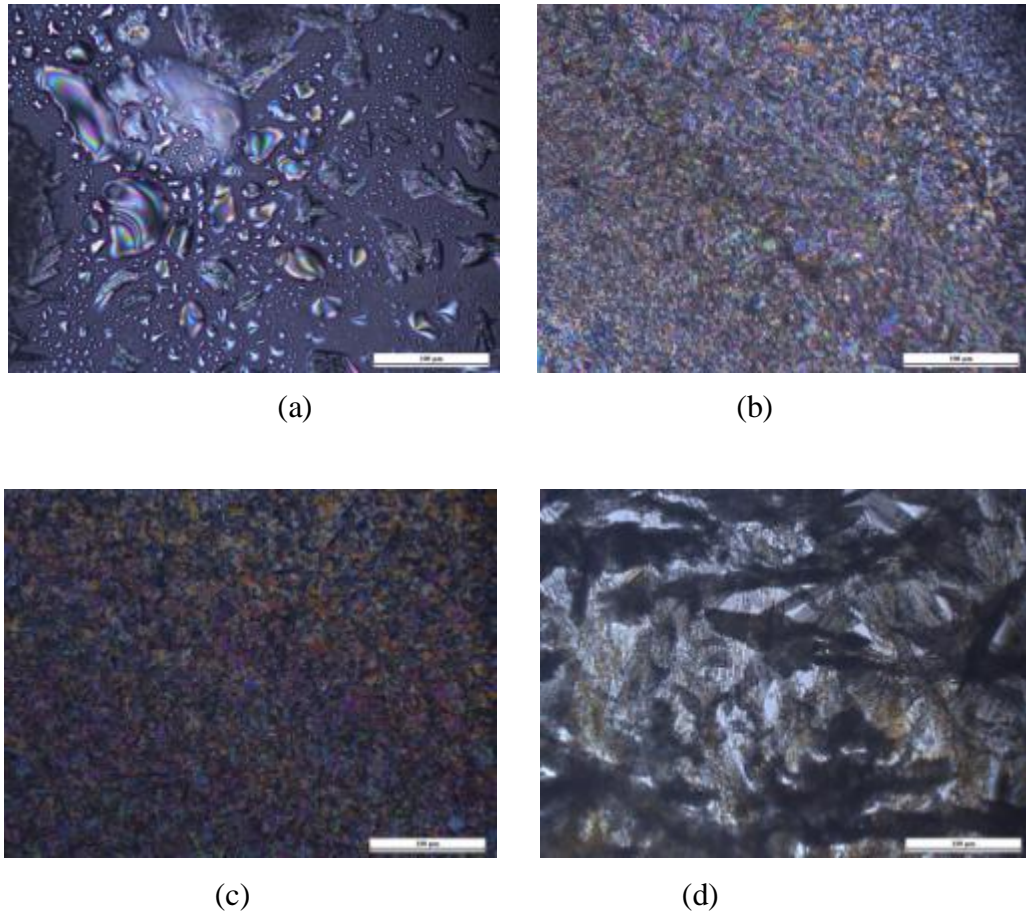
Hazırlanan sıvı kristal hücrelerine yerleştirilen sıvı kristal karışımlar polarizasyon mikroskobu altında sürekli ısıtma ve sürekli soğutma sırasında sergilediği ara fazlar ve faz geçiş görüntüleri kaydedilmiştir. Sıvı kristal karışımlar oda sıcaklığından 200°C'ye kadar ısıtılıp karışımın tam olarak izotropik faza geçmesi için 2 dakika bekletilerek daha sonra soğumaya bırakılmıştır. Araştırmada kullanılan tüm sıvı kristal karışımlar için POM ile kaydedilen faz geçişleri, DSC analizleri ile ölçülen faz geçiş sıcaklıkları ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. POM sonuçları sentezlenen tüm karışımların sıvı kristal özellikleri gösteren mezofazlar olduğunu teyit etmiştir. Sıvı kristal karışımlarının polarizasyon mikroskobu altındaki görüntüleri literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılarak faz geçişleri adlandırılmıştır (Dierking, 2006). Sıvı kristaller çift kırınım özelliğine sahip olduğundan girişim renklerini vermektedir. Bu çalışmada araştırılan sıvı kristal karışımların POM ile elde edilen görüntülerinde de bu girişim renkleri gözlemlenebilmektedir.

5.1.1. SM1 Sıvı Kristalinin POM Analizi

SM1 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma sırasında sergilediği mezofazlar ve faz geçişleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil 5.1(a-f)'de görüldüğü gibi fazlar ve sıcaklıkları sırasıyla Kristal faz (50°C), Smektik A (80°C), Smektik C (110°C), Nematik faz (125°C), Nematik – İzotropik faz geçişi (130°C) ve İzotropik faz (145°C) olduğu bulunmuştur. Şekil 5.1(d)'de görüldüğü gibi SM1 sıvı kristal karışımının nematik fazının damlacık şekilli nematik olduğu gözlemlenmiştir (Chung, 2001). İzotropik fazda incelenen sıvı kristal karışımlar polarizasyon mikroskobu altında çift kırılmaya uğramadığından herhangi bir görüntü elde edilememektedir. Şekil 5.2'de ise SM1 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma sırasında sergilediği mezofazlar ve faz geçiş sıcaklıkları gösterilmiştir. Şekil 5.2'de fazlar ve sıcaklıkları sırasıyla İzotropik – Nematik faz geçişi (100°C), Smektik C (82°C), Smektik A (60°C) ve Kristal faz (40°C) olarak bulunmuştur. SM1 sıvı kristal karışımın POM ile tespit edilen faz geçişleri ve faz geçiş sıcaklıkları DSC sonuçları ile ölçülen faz geçiş sıcaklıkları ile karşılaştırıldığında birbiri ile uyum içinde oldukları görülmüştür.



Şekil 5. 1. SM1 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 50 °C, b) 80 °C, c) 110 °C, d) 125 °C, e) 130 °C, f) 145 °C

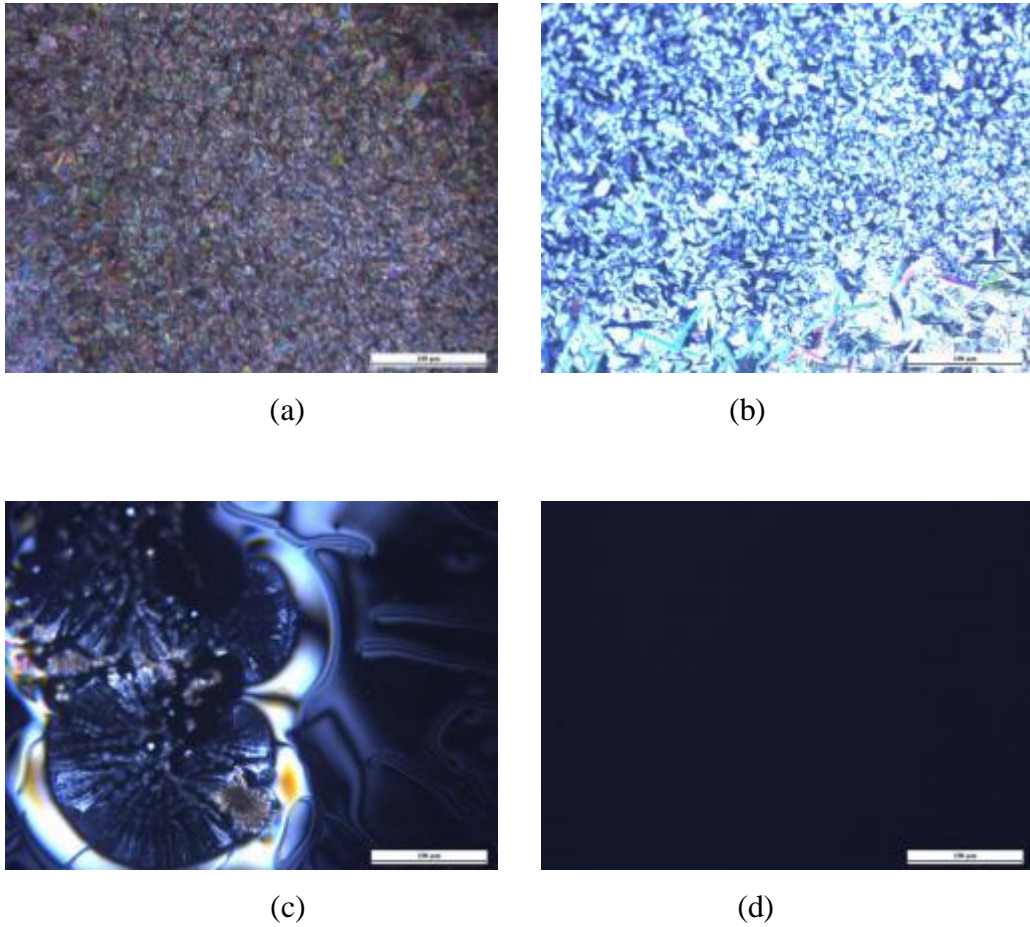


Şekil 5. 2. SM1 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 100 °C, b) 82 °C, c) 60 °C, d) 40 °C

5.1.2. SM2 Sıvı Kristalinin POM Analizi

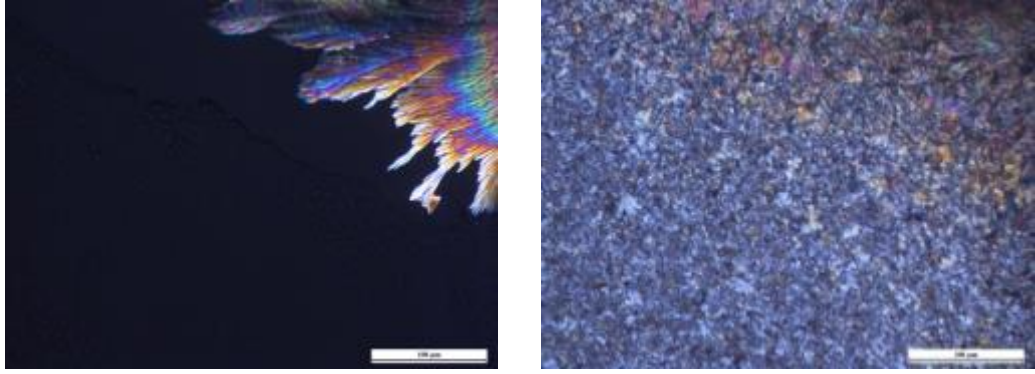
SM2 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma sırasında polarizasyon mikroskobu altındaki faz geçişleri Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Şekil 5.3 (a-d)'de sırasıyla Smektik A (90°C), Smektik C (110°C), Nematik – İzotropik faz geçişi (160°C), İzotropik (180°C) fazları gösterilmiştir. Şekil 5.3 (a) Smektik A fazının fokal konik fan tekstür yapısında olduğunu açıkça göstermektedir. Şekil 5.3 (b) ısı etkisiyle tabakalı yapıdaki moleküllerin birbirlerinden uzaklaşması ve hidrojen bağları etkisiyle moleküler yönelimler arası bir açı olacak şekilde dizildiklerini ifade eden Smektik C yapıyı göstermektedir. Isı biraz daha artırılıp sıcaklık 160 °C'ye ulaştığında ise nematik damlacıklarındaki moleküllerin birbirlerinden uzaklaşarak rastgele yönelimler göstermeye başladığını yani nematik fazın izotropik faza dönüşmeye başladığını göstermektedir. İzotropik fazda (Şekil 5.3.d) numune içinden geçen ışık herhangi bir kırınıma uğramadığından görüntü siyah olarak görünmektedir. Isıtma ve soğutma

sırasında kristal ve sıvı kristal fazda karışım polarizasyon mikroskobu altında çift kırılmaya uğradığından girişim renkleri gözlemlenebilmektedir.



Şekil 5.3. SM2 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 90 °C, b) 110 °C, c) 160 °C, d) 180 °C

SM2 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma sırasında polarizasyon mikroskobu altındaki faz geçişleri Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Şekil 5.4 (a-b)'de sırasıyla İzotropik – Smektik C (85°C) ve Smektik A (70°C) fazları gösterilmiştir. SM2 sıvı kristal karışımı izotropik fazdan kristal faza doğru soğutulduğunda nematik faz ve smektik C fazları gözlenmemiştir. Bunun durumun nedeni izotropik fazda yüksek enerji nedeniyle kırılan hidrojen bağlarının soğutma sırasında tekrar birleşerek hidrojen bağlarını oluşturamaması olabilir. Şekil 5.4 (a)'da görüldüğü gibi numune sürekli soğutma esnasında yaklaşık 85 °C sıcaklıkta izotropik-smektik A geçişi net olarak izlenmiştir. Ayrıca, bu karışımın POM ve DSC sonuçları karşılaştırıldığında faz adlandırmalarının ve faz geçiş sıcaklıklarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



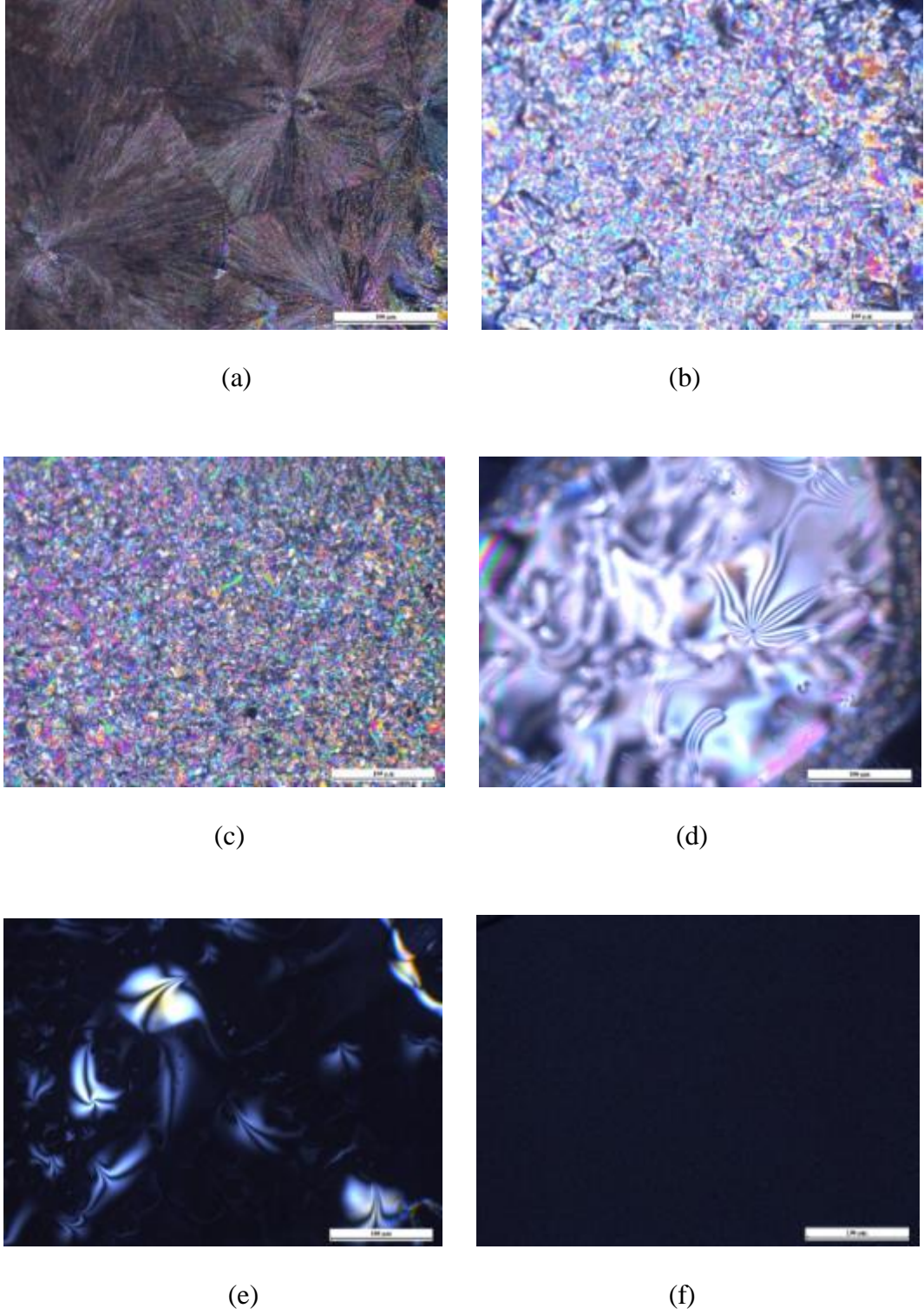
(a)

(b)

Şekil 5. 4. SM2 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 85 °C, b) 70 °C

5.1.3. SM3 Sıvı Kristalinin POM Analizi

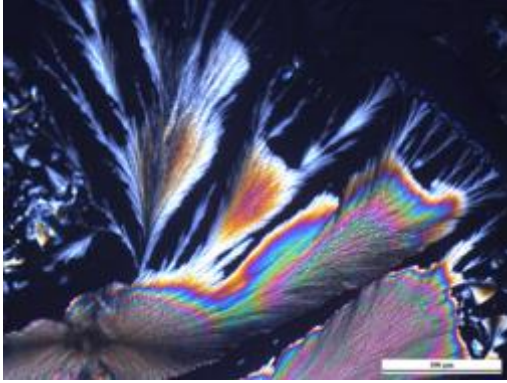
SM3 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma sırasında polarizasyon mikroskobu altındaki faz geçişleri Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Şekilde sırasıyla Kristal faz (60°C), Smektik A (85°C), Smektik C (110°C), Nematik faz (140°C), Nematik – İzotropik faz geçişi (175°C) ve İzotropik faz (180°C) gösterilmektedir. Şekil 5.5 (a) karışımın düşük sıcaklıklarda kristal yapısı gözlemlenmektedir. Isı artırılıp sıcaklık 140 °C’ye ulaştığında karışımın moleküllerinin izotropik sıvı gibi akışkan ve konumsal düzenden yoksun ancak yönelimsel düzene sahip olduğu nematik faz görülmektedir. Isı biraz daha artırılıp sıcaklık 175 °C’ye ulaştığında ise nematik damlacıklarındaki moleküllerin birbirlerinden uzaklaşarak rastgele yönelimler göstermeye başladığını yani nematik fazın izotropik faza dönüşmeye başladığını göstermektedir. Diğer sıvı kristal karışımlarda olduğu gibi sıcaklık iyice artırıldığında ise karışım izotropik faza geçince çift kırılmaya uğramadığından polarize mikroskop altında siyah görüntü elde edilmiştir. POM altında gözlemlenen faz geçişleri DSC sonuçları ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.



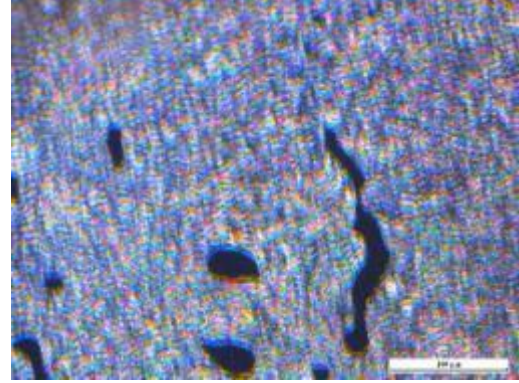
Şekil 5. 5. SM3 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a): 60 °C, b): 85 °C, c): 110 °C, d): 140 °C, e):175 °C, f) 180 °C

SM3 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma sırasında polarizasyon mikroskobu altındaki faz geçişleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Şekilde sırasıyla İzotropik – Smektik C faz geçişi (110 °C), Smektik C (90 °C), Smektik A (70 °C) ve Kristal faz (40

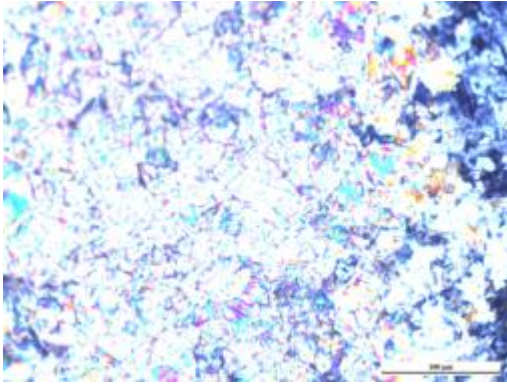
°C)gösterilmektedir. SM3 sıvı kristal karışımında da izotropik fazdan kristal faza doğru soğutulması esnasında nematik faz gözlenmemiştir.



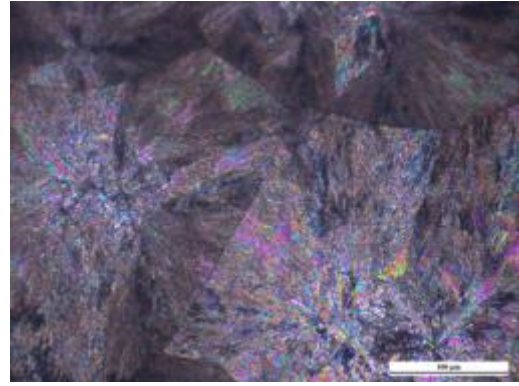
(a)



(b)



(c)

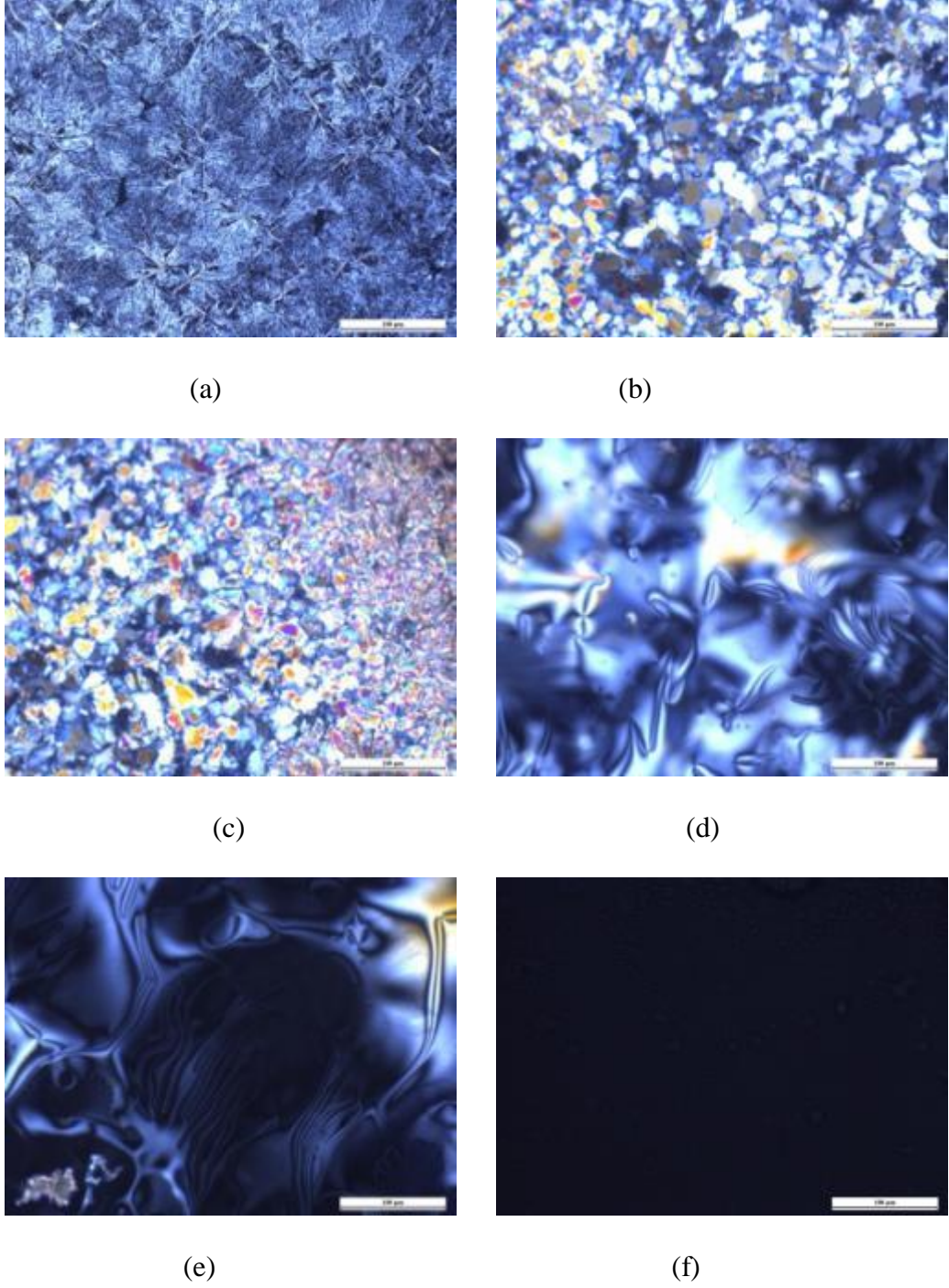


(d)

Şekil 5. 6. SM3 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 110 °C, b) 90 °C, c) 70°C, d) 40 °C

5.1.4. SM4 Sıvı Kristalinin POM Analizi

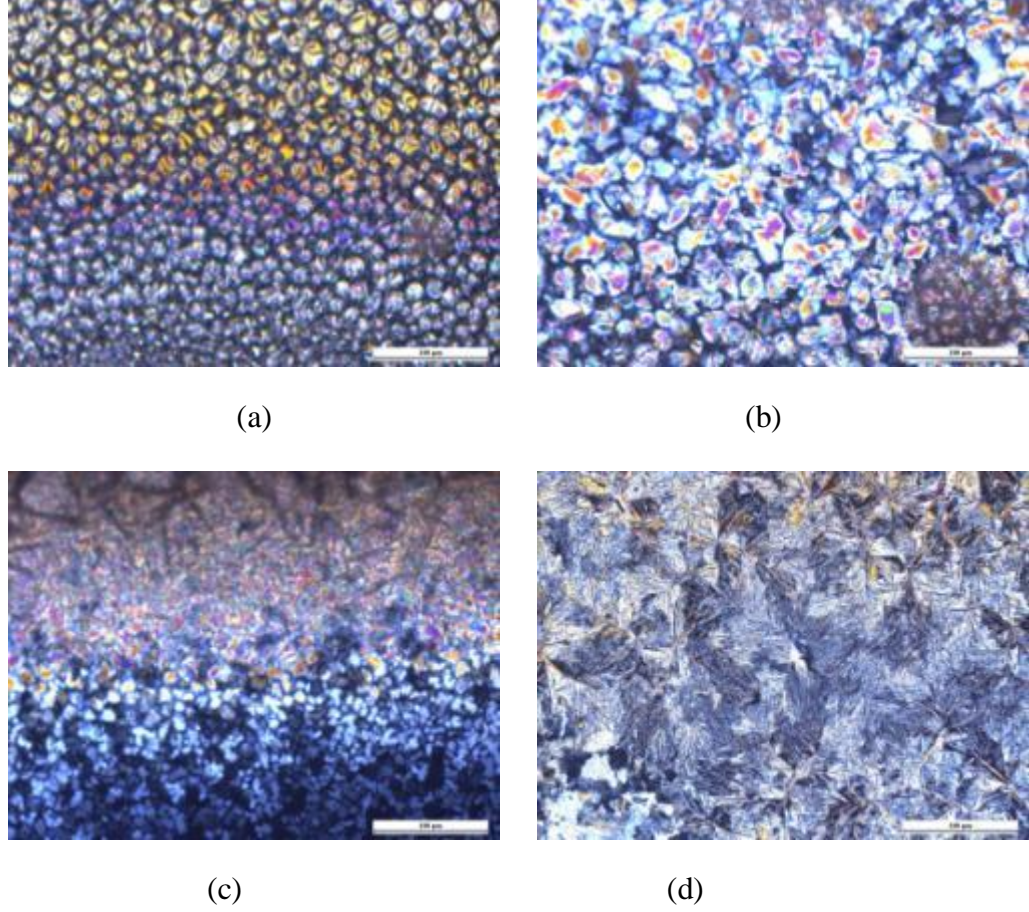
SM4 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma sırasında polarizasyon mikroskobu altındaki faz geçişleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Şekilde sırasıyla Kristal faz (50°C), Smektik A (90°C), Smektik C (120°C), Nematik faz (150°C), Nematik – İzotropik faz geçişi (160°C) ve İzotropik faz (170°C) gösterilmektedir. POM altında gözlemlenen faz geçişleri DSC sonuçları ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 7. SM4 sıvı kristal karışımının sürekli ısıtma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 50 °C, b) 90 °C, c) 120 °C, d) 150 °C, e) 160 °C, f) 170 °C

SM4 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma sırasında polarizasyon mikroskobu altındaki faz geçişleri Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Şekilde sırasıyla Nematik faz (110 °C), Smektik C (100 °C), Smektik A (70 °C) ve Kristal faz (40 °C) gösterilmektedir.

Soğutma sırasında gözlemlenen nematik fazın damlacık şekilli nematik olduğu görülmüştür.



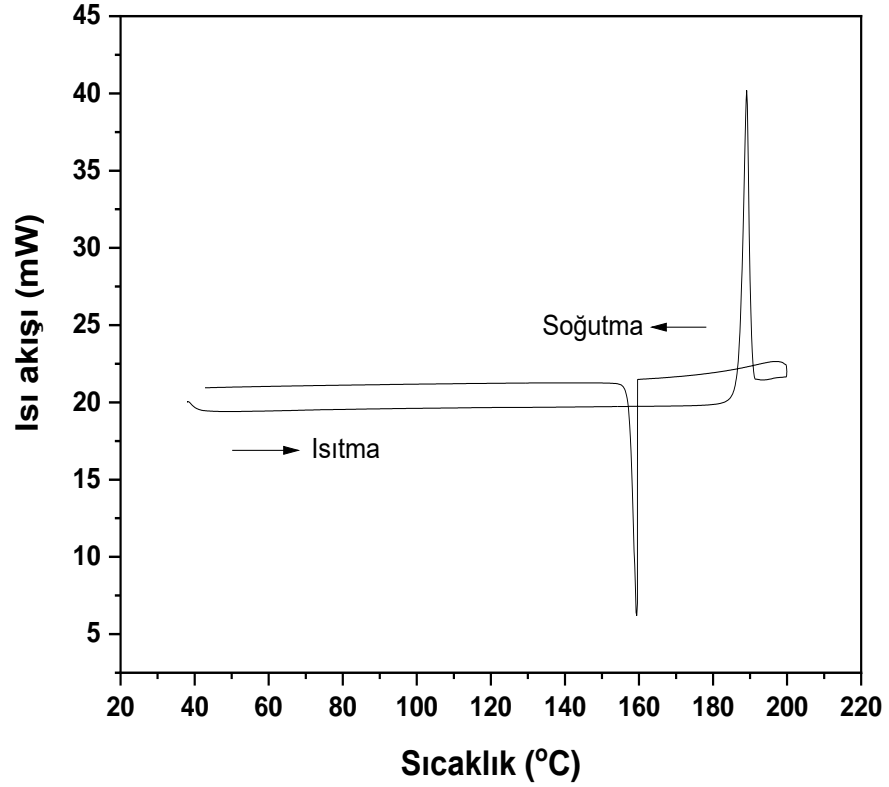
Şekil 5. 8. SM3 sıvı kristal karışımının sürekli soğutma esnasında belirli sıcaklıklarda POM ile çekilen görüntüleri, a) 110 °C, b) 100 °C, c) 70 °C, d) 40 °C.

5.2. DSC Çalışmaları

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) termogramları ısıtma ve soğutma döngüsünde elde edilmiştir. İncelenen sıvı kristal karışımlar, 38 °C'den 200 °C'ye kadar 10 °C/dak'lık bir tarama hızı ile ısıtılıp soğutulmuştur ve termal kararlılığa ulaşmak için izotropik fazda 2 dakika bekletilmiştir. Sıvı kristal karışımların DSC taramasıyla oluşturulan termogramları literatürdeki DSC taramaları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir (Kumar,2001).

5.2.1. SP1 Termal Analizi

Isıtma ve soğutma sırasında SP1'e ait faz geçiş sıcaklıkları (T) ve entalpi değişim (ΔH) değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.



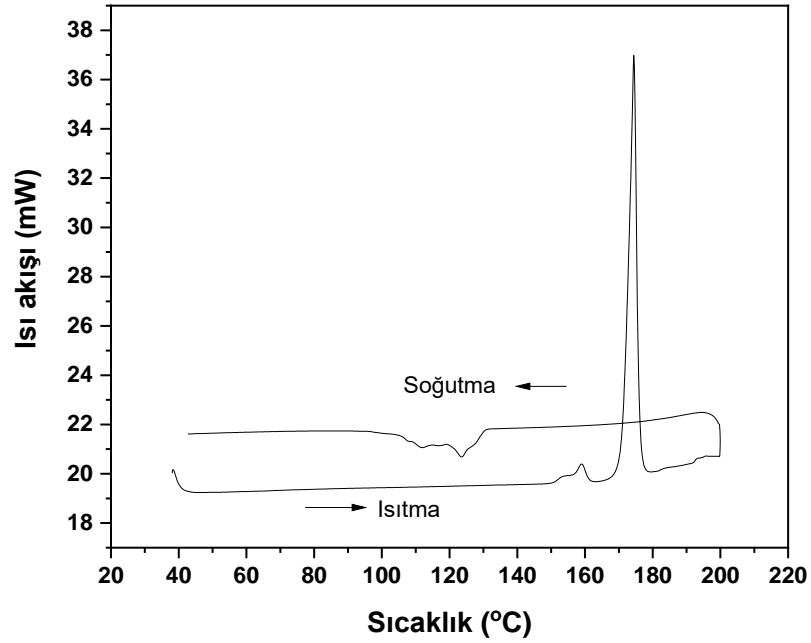
Şekil 5. 9. SP1 DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

Şekil 5.9'da SP1 numunesinin DSC ile ısıtılırken bir tane endotermik pik ve soğutulurken bir tane ekzotermik pik gösterdiği görülmektedir. Burada ısıtma esnasında numunenin 189.10 °C'de kristal fazdan sıvı faza geçişi ölçülmüştür. Bu faz geçiş esnasında 234.07 J/g endotermik ısı akışı değişimi (entalpi değişimi) meydana gelmiştir. SP1 numunesi 200 °C'ye kadar ısıtılıp tekrar soğutulunca 159.41 °C'de faz geçişi ölçülmüştür. Burada 159.41 °C SP1'in kristalleşme sıcaklığı (T_{Cr})'dir. Bu faz geçiş sırasında 131.51J/g ekzotermik ısı akışı meydana gelmiştir. DSC taramasındaki keskin eğriler SP1'in saflık oranının yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 5. 1. SP1 numunesinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH).

LC Karışım	Döngü	T_e (°C)	ΔH_e (J/g)	T_{Cr} (°C)	ΔH_{Cr} (J/g)
SP1	Isıtma	189.10	234.07	-	-
	Soğutma	-	-	159.41	131.51

5.2.2. SP2 Termal Analizi



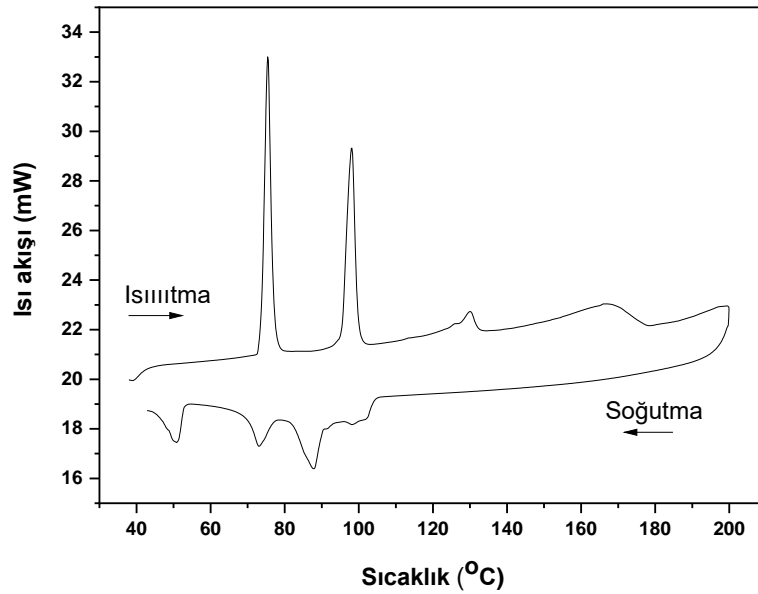
Şekil 5. 10. SP2 DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı.

SP2 numunesinin DSC ile ısıtılırken Şekil 5.10'da faz geçişini gösteren biri küçük olmak üzere iki tane endotermik pik olduğu gözlemlenmiştir. Burada ısıtma esnasında numunenin 159,3 °C de bir kristal yapıdan başka bir kristal yapıya dönüştüğü düşünülmektedir. 174.42°C'de görülen endotermik pik ise kristal fazdan sıvı faza geçişi göstermektedir. SP2'nin kristal fazdan sıvı faza geçiş esnasındaki entalpi değişimi 284.69 J/g olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.2).

Çizelge 5. 2. SP2 faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_e (°C)	ΔH_e (J/g)
SP2	Isıtma	174.42	284.69

5.2.3. SM1 Sıvı Kristalinin Termal Analizi



Şekil 5. 11. SM1 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

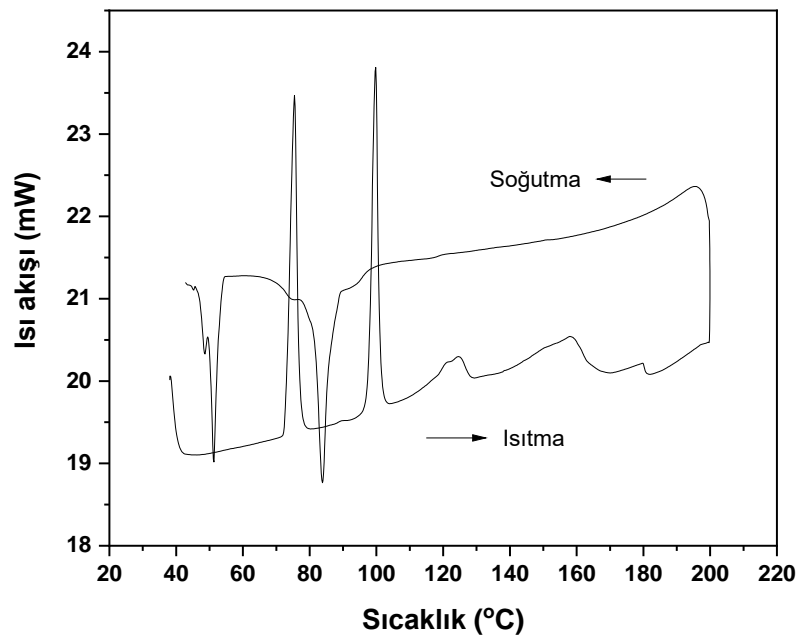
Şekil 5.11’de görüldüğü gibi SM1 sıvı kristal karışımı 38 °C’den 200 °C’ye ısıtıldığında faz geçişlerinin temsil eden endotermik pikler ve soğutma sırasında ekzotermik pikler gözlemlenmiştir. Isıtma sırasında sırasıyla Kristal (Cr) – Smektik A (SmA)–Smektik C (SmC) - Nematik (N) – İzotropik (I) fazları gözlemlenmiştir. DSC taramasında görülen bu faz geçişleri SM1 karışımının sıvı kristalik özelliklere sahip bir mezojen olduğunu göstermektedir. DSC cihazı ile grafikten elde edilen faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve faz geçiş entalpileri (ΔH) tablo 5.3’te verilmiştir. Şekil 5.11 ve Çizelge 5.3’te görüldüğü gibi aynı fazlar için ısıtma esnasında gözlenen faz geçiş sıcaklık değerleri soğutma esnasında gözlenen faz geçiş sıcaklık değerlerinden daha

yüksektir. Fakat soğutma esnasında gözlenen nematik alan aralığı ($T_{NI} - T_{CN} = 10.23$ °C) ısıtma esnasında gözlenen nematik alan aralığından daha geniştir. Aynı zamanda grafikte açıkça görüldüğü gibi keskin pikler, ısıtma esnasında gözlenen faz geçişlerinin soğutma esnasında gözlenen faz geçişlerinden daha düzenli olduğunu işaret etmektedir.

Çizelge 5. 3. SM1 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_{CrA} (°C)	ΔH_{CrA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
SM1	Isıtma	75.40	153.36	98.14	123.67	126.12	1.24	130.10	13.52
	Soğutma	50.84	30.18	73.07	25.46	87.86	50.68	98.09	10.42

5.2.4. SM2 Sıvı Kristalinin Termal Analizi



Şekil 5. 12. SM2 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

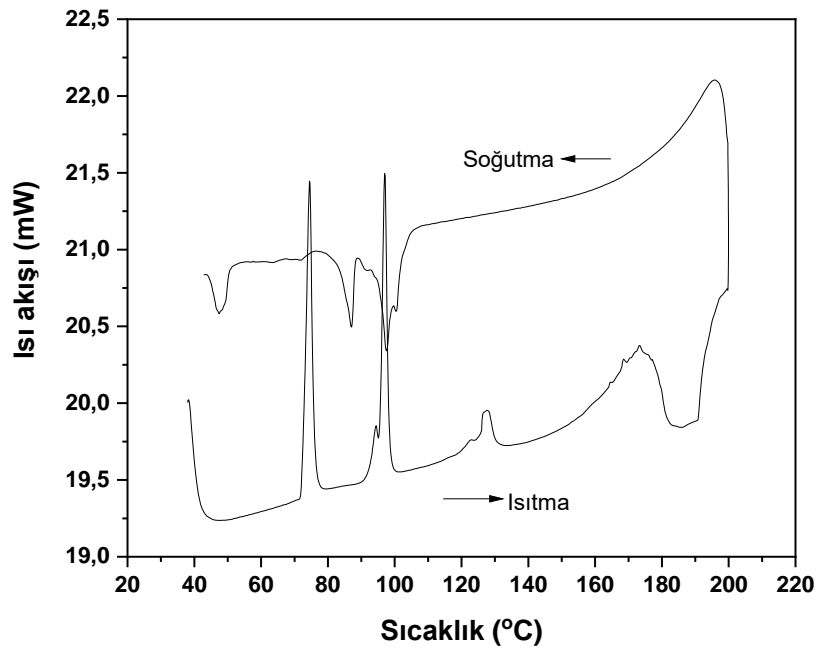
SM2 sıvı kristali ısıtma sırasında Şekil 5.12’de görüldüğü 4 tane endotermik pik noktasına sahiptir. Bu dört endotermik pik noktası sırasıyla Kristal (Cr) – Smektik A (SmA) – Smektik C (SmC) – Nematik (N)– İzotropik (I) faz geçişlerini göstermektedir. DSC taramasında görülen faz geçişleri SM2 karışımının sıvı kristalik özelliği

gösterdiğini ortaya koymuştur. Isıtma sırasında görülen Smektik C (SmC) – Nematik (N) ve Nematik (N) – İzotropik (I) geçişleri soğutmada görülmedi. Isıtma sırasında görülen faz geçiş sıcaklıkları soğutma sırasında görülen faz geçiş sıcaklıklarından daha yüksektir. SM2 sıvı kristaline ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5. 4. SM2 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_{CrA} (°C)	ΔH_{CrA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
SM2	Isıtma	75.46	59.92	99.79	54.37	124.52	9.17	157.86	13.73
	Soğutma	51.31	36.27	83.82	41.39	-	-	-	-

5.2.5. SM3 Sıvı Kristalinin Termal Analizi



Şekil 5. 13. SM3 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

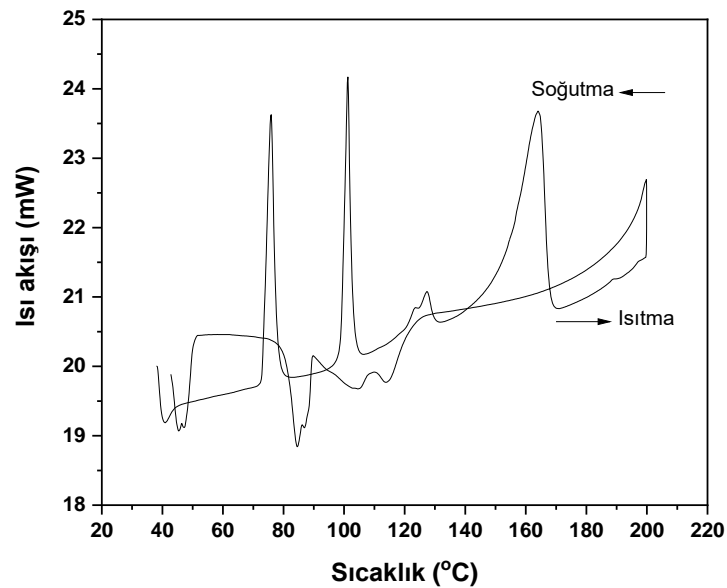
SM3 sıvı kristalinin DSC ısıtmasında faz geçişlerine ait Şekil 5.13’te gösterilen 4 tane endotermik pik noktası ölçülmüştür. Isıtma sırasında görülen bu pik noktaları sırasıyla Kristal (Cr) – Smektik A (SmA) – Smektik C (SmC)- Nematik (N) – İzotropik (I) faz geçişlerini göstermektedir. Isıtma sırasında ölçülen bazı ara fazlar soğutma sırasında

görülmemiştir. İncelenen diğer sıvı kristallerde olduğu gibi SM3 sıvı kristalinin sergilediği bu faz geçişleri mezojen özelliği gösterdiğini kanıtlar. SM3 sıvı kristaline ait faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5. 5. SM3 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_{CrA} (°C)	ΔH_{CrA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)	T_{CI} (°C)	ΔH_{CI} (J/g)
SM3	Isıtma	74.48	26.45	96.98	24.60	127.68	3.38	173.32	0.94	-	-
	Soğutma	47.46	14.28	87.12	13.70	-	-	-	-	97.45	22.58

5.2.6. SM4 Sıvı Kristalinin Termal Analizi



Şekil 5. 14. SM4 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

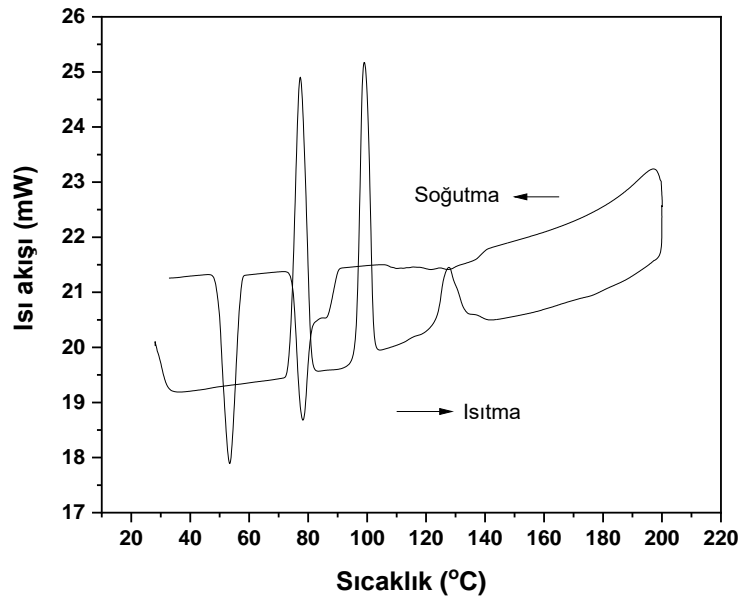
SM4 sıvı kristal karışımına ait Şekil 5.14'te görülen ısıtma ve soğutma termogramında ısıtma sırasında 4 tane endotermik pik noktası ve soğutma sırasında gözlemlenen 4 tane ekzotermik pik noktası ölçülmüştür. Isıtmada ölçülen endotermik pik noktaları sırasıyla Kristal (Cr) – Smektik A (SmA) – Smektik C (SmC) - Nematik (N) – İzotropik (I) faz geçişlerini göstermektedir. Isıtma taramasında açıkça görüldüğü

gibi keskin pikler, ısıtma esnasında gözlenen faz geçişlerinin soğutma esnasında gözlenen faz geçişlerinden daha düzenli olduğunu işaret etmektedir. Isıtma sırasında ölçülen nematik aralığı soğutmada ölçülen nematik aralığından büyüktür. ($T_{CN} - T_{NI} = 36.79$ °C) SM4 sıvı kristaline ait faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5. 6. SM4 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_{CrA} (°C)	ΔH_{CrA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
SM4	Isıtma	75.93	66.47	101.25	57.99	127.30	08.26	164.09	157.83
	Soğutma	45.47	20.17	84.48	28.54	104.63	12.91	113.80	11.03

5.2.7. SM5 Sıvı Kristalinin Termal Analizi



Şekil 5. 15. SM5 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

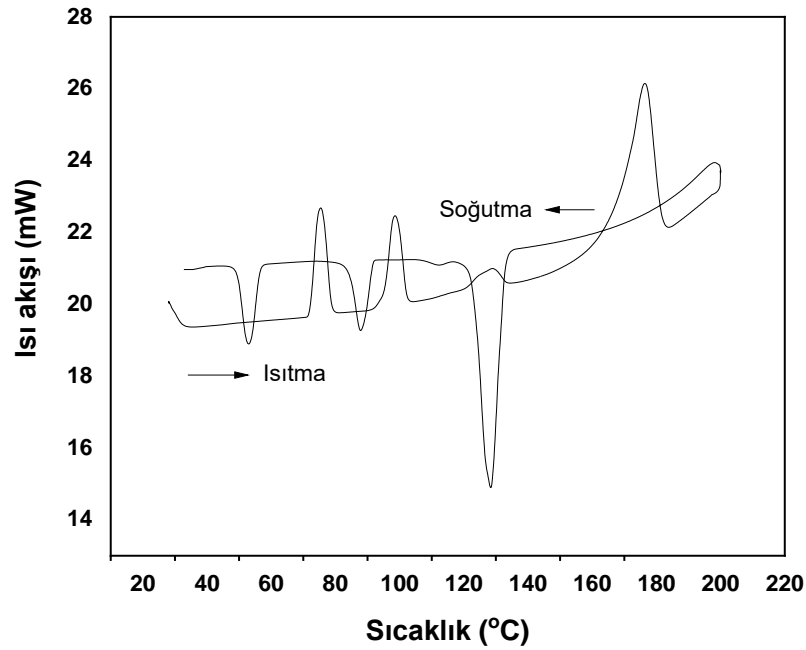
SM5 sıvı kristal karışımına ait Şekil 5.15'te görülen ısıtma ve soğutma termogramında ısıtma sırasında üç endotermik pik ve soğutma sırasında iki ekzotermik pik noktası ölçülmüştür. Isıtma sırasında ölçülen bazı ara fazlar soğutma sırasında

görülmemiştir. Çizelge 5.7de SM5 sıvı kristal karışımına ait faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değişimleri verilmiştir.

Çizelge 5. 7. SM5 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_{CrA} (°C)	ΔH_{CrA} (J/g)	T_{AN} (°C)	ΔH_{AN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
SM5	Isıtma	77.35	138.28	98.97	119.49	127.61	31.32
	Soğutma	52.19	96.53	76.18	73.80	111.27	1.18

5.2.8. SM6 Sıvı Kristalinin Termal Analizi



Şekil 5. 16. SM6 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

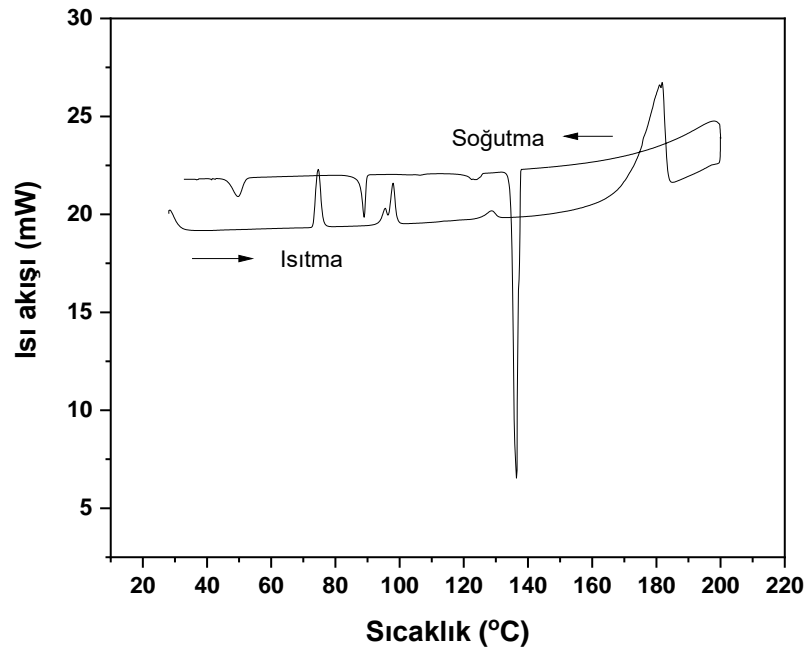
SM6 sıvı kristal karışımına ait Şekil 5.16'da görülen ısıtma ve soğutma termogramında ısıtma sırasında dört endotermik ve soğutma sırasında üç ekzotermik pik noktası ölçülmüştür. Isıtmada ölçülen endotermik pik noktaları sırasıyla Kristal (Cr) – Smektik A (SmA) – Smektik C (SmC) - Nematik (N) – İzotropik (I) faz geçişlerini göstermektedir. Isıtma sırasında ölçülen Smektik A (SmA)- Smektik C (SmC) pik

noktası soğutmada ölçülmemiştir. Çizelge 5.8’de SM6 sıvı kristal karışımına ait faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değişimleri verilmiştir.

Çizelge 5. 8. SM6 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_{CrA} (°C)	ΔH_{CrA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
SM6	Isıtma	75.46	73.05	98.48	65.25	131.83	14.20	176.25	224.40
	Soğutma	53.18	58.39	-	-	87.13	49.60	128.43	228.17

5.2.9. SM7 Sıvı Kristalinin Termal Analizi



Şekil 5. 17. SM7 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

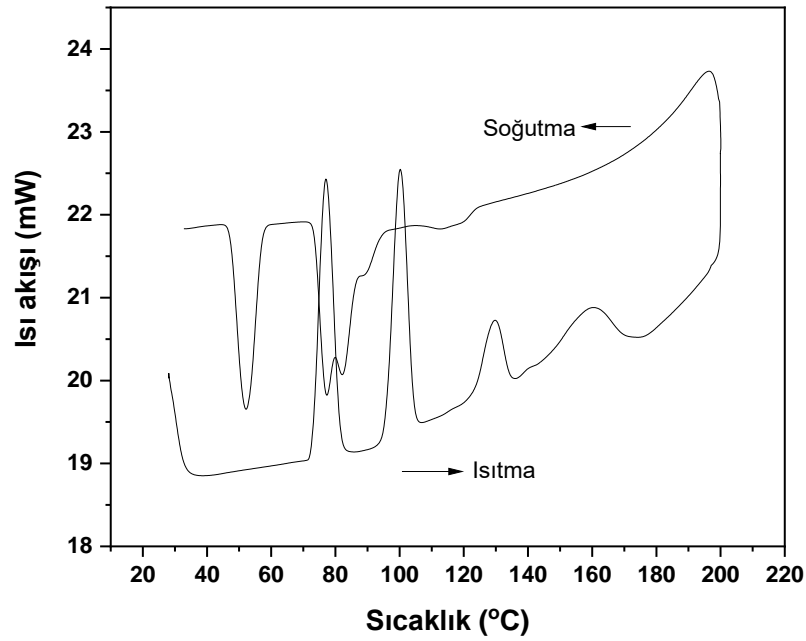
SM7 sıvı kristal karışımına ait Şekil 5.17’de görülen ısıtma ve soğutma termogramında ısıtma sırasında 4 tane endotermik pik noktası ve soğutma sırasında gözlemlenen 4 tane ekzotermik pik noktası ölçülmüştür. Isıtmada ölçülen endotermik pik noktaları sırasıyla Kristal (Cr) – Smektik A (SmA) – Smektik C (SmC) - Nematik (N) – İzotropik (I) faz geçişlerini göstermektedir. Isıtma sırasında ölçülen nematik

aralığı soğutmada ölçülen nematik aralığından büyüktür. ($T_{CN} - T_{NI} = 52.86^{\circ}\text{C}$) SM7 sıvı kristaline ait faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Çizelge 5.9’da verilmiştir. Isıtma sırasındaki faz geçiş sıcaklıklarının soğutmadaki faz geçiş sıcaklıklarından daha büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. 9. SM7 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_{CrA} (°C)	ΔH_{CrA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
SM7	Isıtma	74.70	33.63	98.12	28.14	128.92	7.52	181.78	205.81
	Soğutma	49.62	17.44	87.63	30.44	123.35	8.14	136.41	157.07

5.2.10. SM8 Sıvı Kristalinin Termal Analizi



Şekil 5. 18. SM8 sıvı kristalinin DSC ile ısıtma ve soğutma termogramı

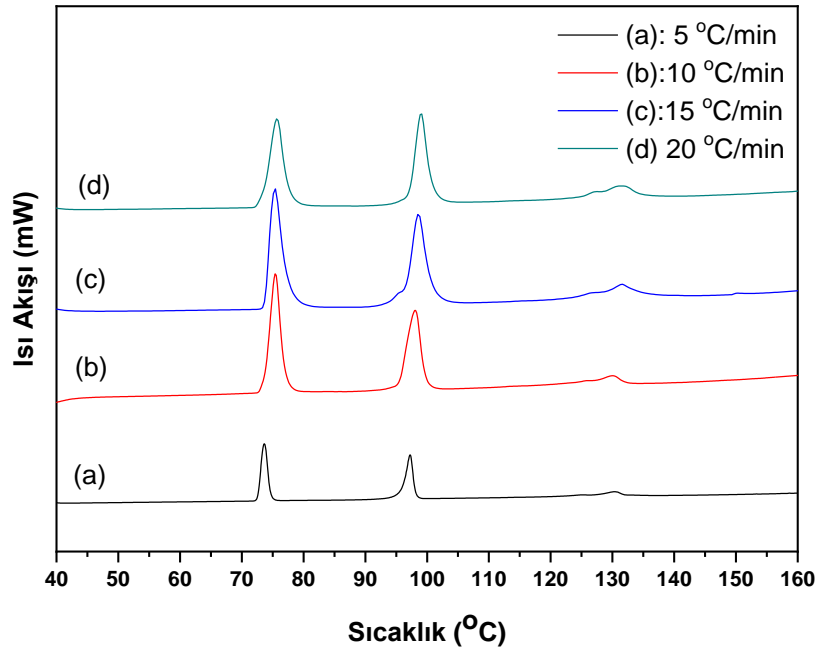
SM8 sıvı kristal karışımına ait Şekil 5.18’de görülen ısıtma ve soğutma termogramında ısıtma sırasında 4 tane endotermik pik noktası ve soğutma sırasında gözlemlenen 4 tane ekzotermik pik noktası ölçülmüştür. Isıtmada ölçülen endotermik

pik noktaları sırasıyla Kristal (Cr) – Smektik A (SmA) – Smektik C (SmC) - Nematik (N) – İzotropik (I) faz geçişlerini göstermektedir. SM8 sıvı kristaline ait faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Çizelge 5.10’da verilmiştir. Isıtma sırasındaki faz geçiş sıcaklıklarının soğutmadaki faz geçiş sıcaklıklarından daha büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. 10. SM8 sıvı kristalinin faz geçiş pik sıcaklıkları (T) ve entalpi değişimleri (ΔH)

LC Karışım	Döngü	T_{CrA} (°C)	ΔH_{CrA} (J/g)	T_{AC} (°C)	ΔH_{AC} (J/g)	T_{CN} (°C)	ΔH_{CN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)
SM8	Isıtma	77.05	102.38	100.21	96.81	129.60	29.30	160.94	32.75
	Soğutma	51.32	80.74	75.18	40.62	83.50	24.08	117.03	9.06

5.2.11. SM1 Sıvı Kristalinin Isıtma Oranına Bağlı Termal Analizi



Şekil 5. 19. SM1 sıvı kristalinin ısıtma oranına bağlı termal analizi

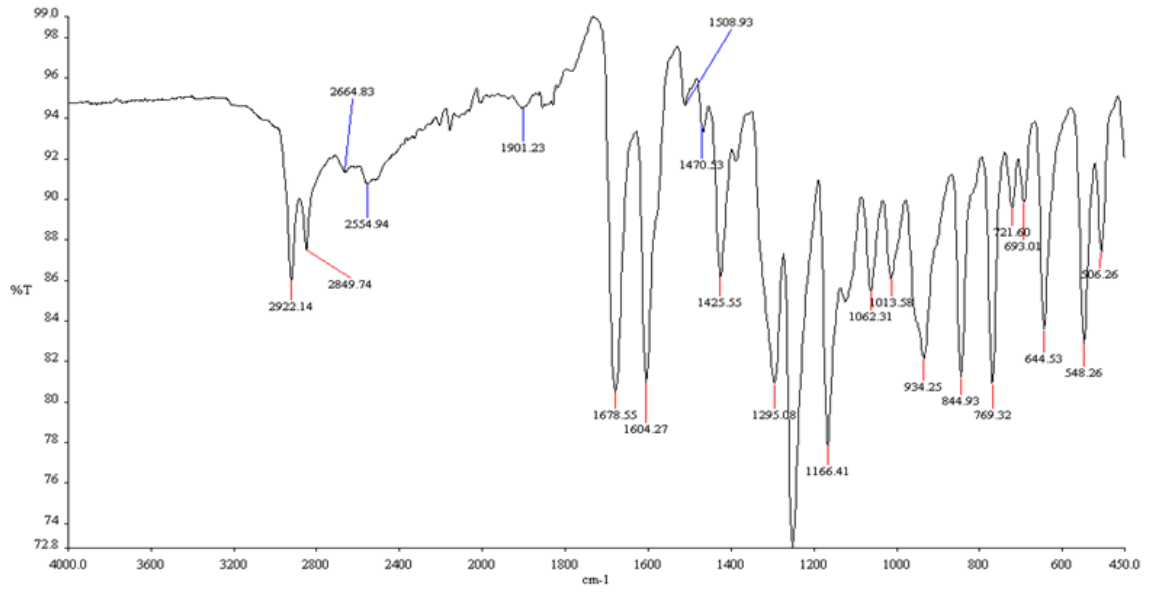
Çizelge 5. 11. SM1 sıvı kristalinin ısıtma oranına bağlı faz geçiş sıcaklıkları

Isıtma oranı (°C/dk)	T_{CrA} (°C)	T_{AC} (°C)	T_{CN} (°C)	T_{NI} (°C)
5	73.64	97.26	125.09	130.33
10	75.39	98.14	126.12	130.10
15	75.44	98.48	126.96	131.52
20	75.63	99.12	127.53	131.63

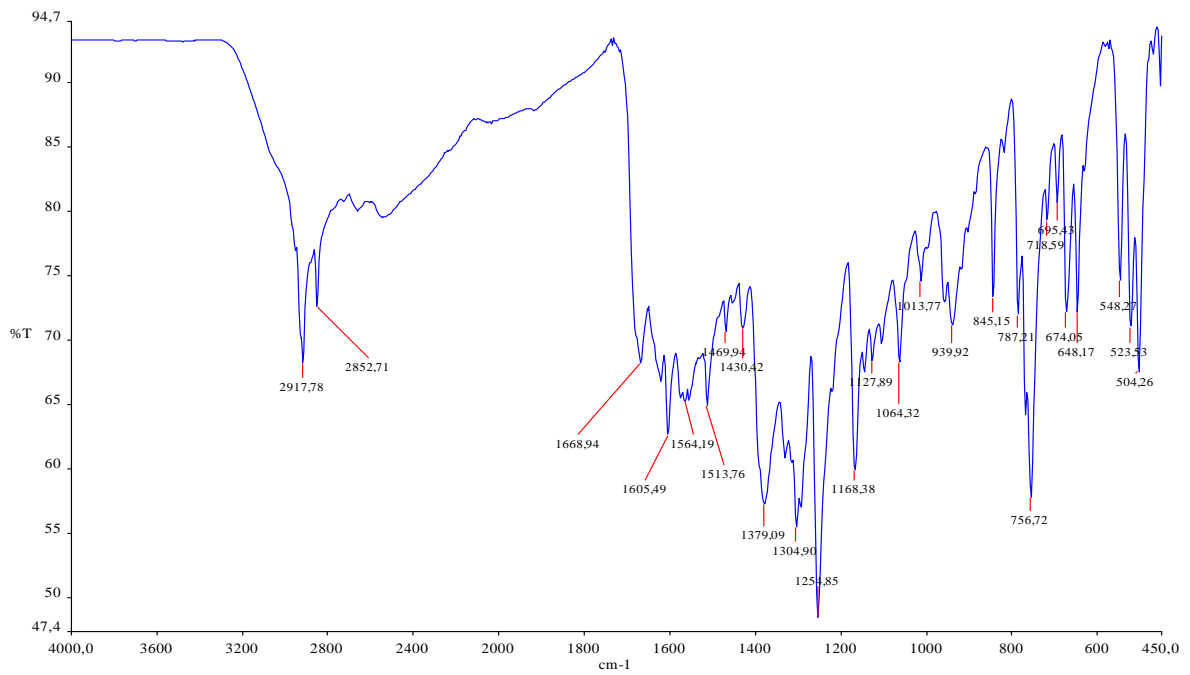
Üretilen sıvı kristal karışımların faz geçiş sıcaklıklarının ısıtma oranı değişimine tepkisi de araştırılmıştır. Üretilen bütün numunelerde benzer sonuçlar bulunduğundan bu çalışmada sadece SM1 bileşiğinin sonuçları verilmiştir. SM1 bileşiğinin ısıtma oranına bağlı DSC grafiği Şekil 5.19'da ve faz geçiş sıcaklıkları Çizelge 5.11'de verilmiştir. Şekil 5.19 ve Çizelge 5.11'de açıkça görüldüğü gibi ısıtma oranı arttıkça faz geçiş sıcaklıkları çok az miktarda artmaktadır. Bu durum sıvı kristallerde gözlenen olağan bir durumdur. Aynı zamanda ısıtma oranı arttıkça faz geçiş sıcaklık aralıkları da artmaktadır. Bu çalışmada önemli olan grafikte de görüldüğü gibi ısıtma oranı değiştirilince yeni faz geçişlerinin gözlenmemesidir. Elde edilen bu sonuçlara göre üretilen sıvı kristal karışımları ısıtma durumunda termal kararlılığa sahiptirler.

5.3. FTIR Çalışmaları

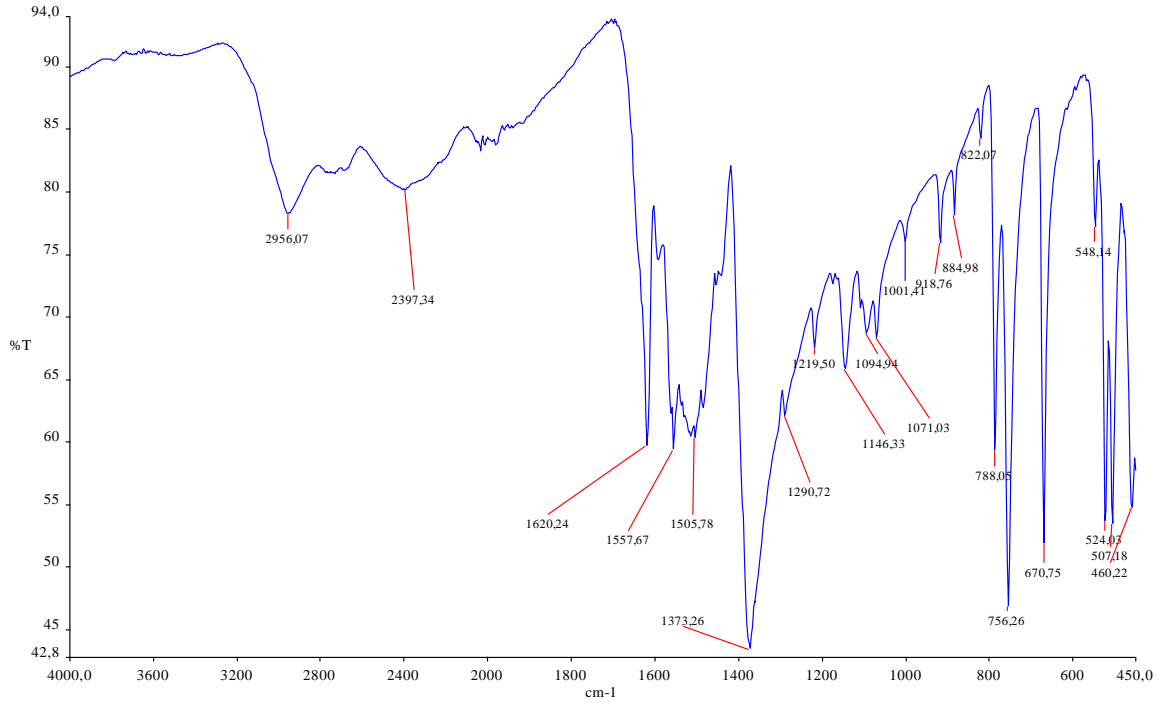
Sıvı kristal karışımlarda hidrojen bağlarının araştırılması için spektroskopi araçlarından FTIR kullanılmıştır. Sıvı kristal karışımlar FTIR analizi için presle tablet haline getirilip 1 mg sıvı kristal numunesi 100-200 mg alkali halojen ile KBr (PotasyumBromid) karıştırılıp iyice dövüldü. (KBr 2,5-15 μ arası absorpsiyon yapmaz) Analiz sonuçlarında hata olmaması için numuneler yüksek sıcaklıkta tutularak nemden uzaklaştırıldı. Bu şekilde numuneler 1 cm çapında ve 1 mm kalınlığında bir disk haline getirilip incelenmiştir. Karışımları oluşturan maddelerin 4-(Oktiloksi)benzoik asit (8OBA),4-Aminobenzoik asit (4ABA) ve 3-Aminobenzoik asit (3ABA)FTIR spektrumları, karışımların FTIR spektrumlarıyla karşılaştırma yapılabilmesi için Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5. 20. 8OBA FTIR Spektrumu



Şekil 5. 21. 4ABA FTIR Spektrumu



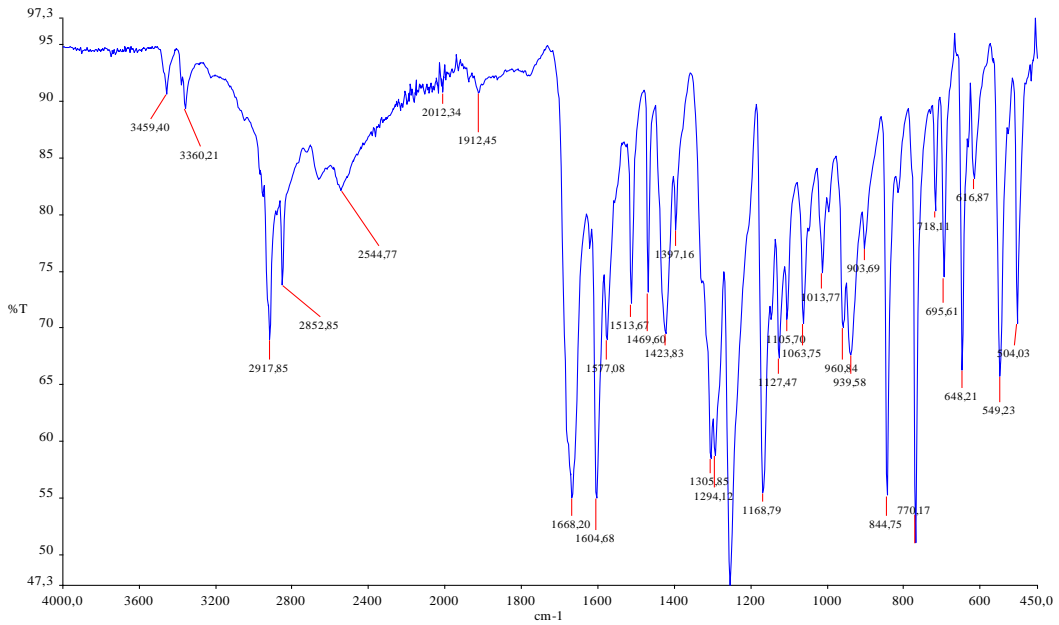
Şekil 5. 22. 3ABA FTIR Spektrumu

5.3.1. SM1 Sıvı Kristalinin IR Spektroskopisi

4-Aminobenzoik asit (4ABA) güçlü hidrojen bağı yoluyla moleküler bağ oluşumu sağlayan iyi bilinen karboksilik asitlerden biridir. Özellikle amino grubunun hidrojen bağı yoluyla diğer karboksilik asitlerle kararlı moleküler yapıların oluşumunda önemli bir kullanıma sahiptir. Molekül aromatik bir halka, elektron veren bir NH₂ grubu ve reaksiyonlar sırasında elektron alan bir COOH grubundan oluşur. Bu nedenle 4ABA molekülü güçlü hidrojen bağını hem kabul etme hem de verme yeteneğine sahiptir. Ayrıca farklı polimorfik formlara sahiptir. (Karuppasamy ve ark.,2018). Bu durumda 4ABA ve 8OBA gibi iki organik molekül güçlü hidrojen bağları oluşturabilir.

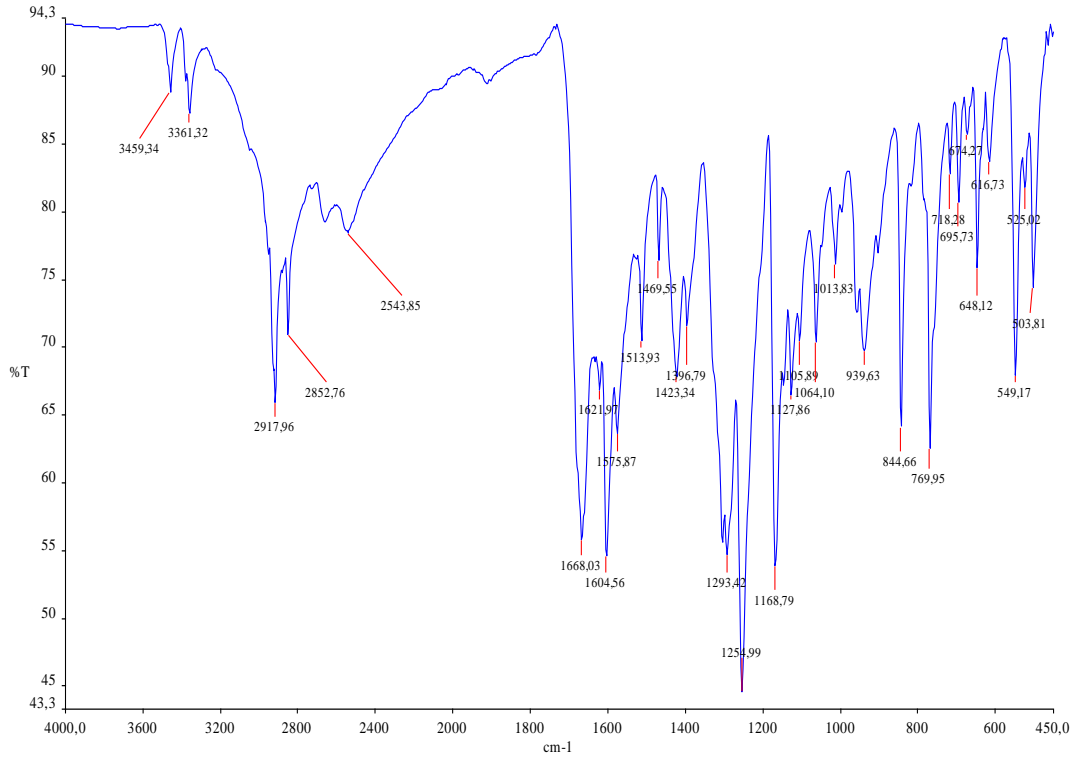
Saf 8OBA mezojeni ile mezojenik olmayan 4ABA maddelerinden 1:1 mol oranında üretilen hidrojen bağı SM1 sıvı kristal karışımı için spektrumlar, ~ 25°C ortam sıcaklığında, referans olarak Potasyum Bromid (KBr) ile katı halde kaydedilmiştir. Elde edilen FTIR spektrumları Şekil 5.23'te verilmiştir. 8OBA molekülünün FT-IR spektrumu incelendiğinde serbest alkoksibenzoik asitler için

literatürde belirtilenden farklı olarak $\nu(\text{C}=\text{O})$ gerilmesine bağlı olarak 1678 cm^{-1} de sadece bir pik görülmektedir. Bu 8OBA'nın dimer yapısında olmadığını gösterir. Saf malzemeler ve karışımlarının spektrumları karşılaştırıldığında 8OBA da 1425.55 ve 1295.08 cm^{-1} de gözlenen piklerin 8OBA/4ABA karışımında 1423.83 ve 1294.12 cm^{-1} de olduğu görülmektedir. Aynı zamanda 4ABA da 2917.78 ve 1304.90 cm^{-1} de gözlenen piklerin 2917.85 ve 1305.85 cm^{-1} de olduğu görülmektedir. Bu durum saf malzeme molekülerinin molekül içi bağ yapı durumunu koruduğunu göstermektedir. 8OBA/4ABA sıvı kristal karışım kompleksinin FTIR spektrumları 1423.83 cm^{-1} de C-O germe titreşimleriyle birleştirilmiş düzlem bükülmesinde O-H'ye atfedilen bir soğurma piki göstermiştir. Mevcut kompleks içerisinde H-bağının varlığı ayrıca 2917.85 cm^{-1} 'de yeni $\nu(\text{O-H})$ bandının ortaya çıkmasıyla da anlaşılmaktadır. Ayrıca karışım kompleksi spektrumunda dikkat çeken bir özellik 3459.40 ve 3360.21 cm^{-1} 'de ortaya çıkan yeni pikler ki, bunlar karışımında benzoik asidin dimerik doğasının ayrıştığını ve kompleksleşme üzerine monomerik bir formda var olmayı tercih ettiğini göstermektedirler. FTIR analizi yapılan sıvı kristal kompleks karışımlarının daha önceki çalışmalarla benzer sonuçlar verdiği görülmektedir (Prabu ve ark., 2011; Kim ve ark., 2017).



Şekil 5. 23. SM1 (8OBA/4ABA karışım kompleksinin) FTIR spektrumu

5.3.2.SM2 Sıvı Kristalinin IR Spektroskopisi

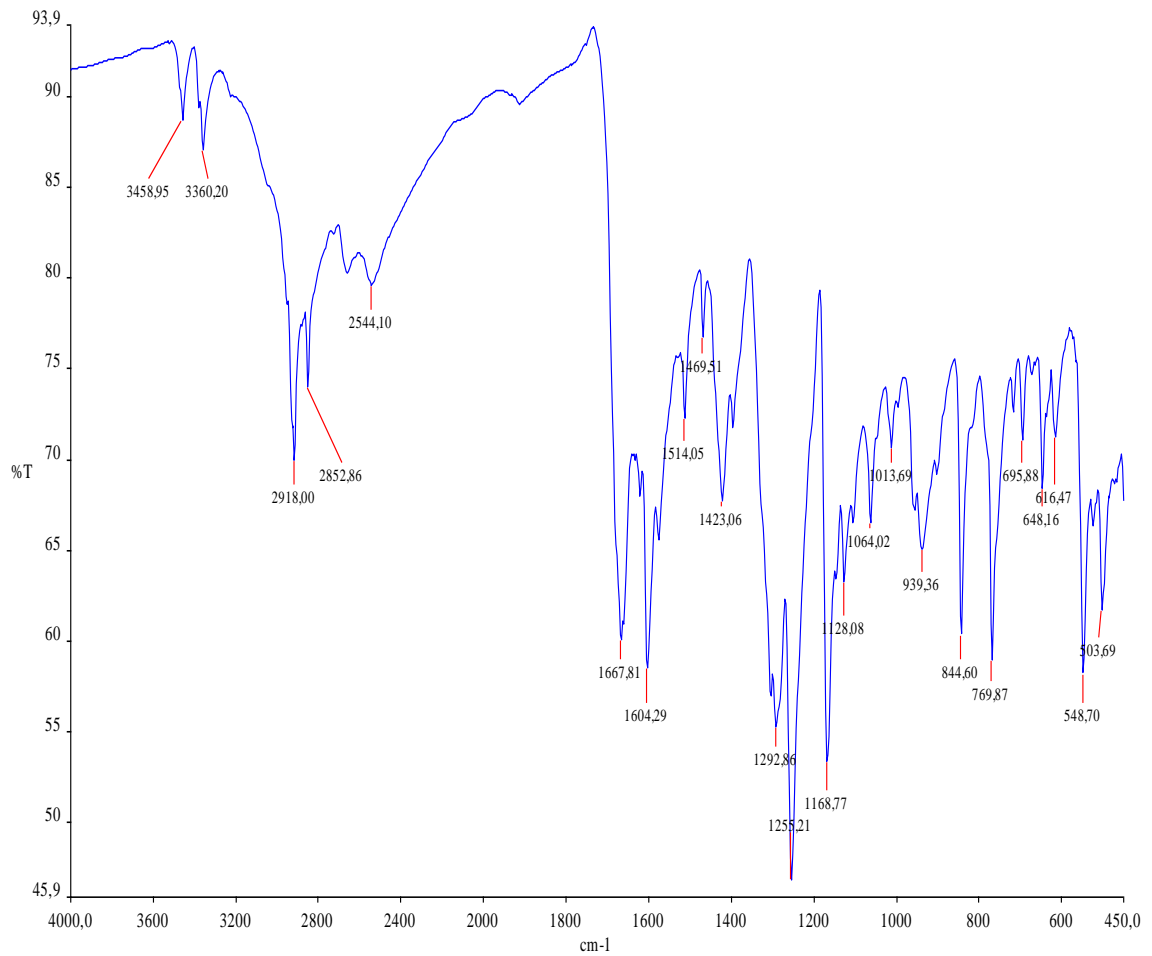


Şekil 5. 24. SM2 (8OBA/3ABA karışım kompleksinin) FTIR spektrumu

Şekil 5.24'te saf 8OBA mezojeni ile mezojenik olmayan 3ABA maddelerinin 1:1 mol oranında üretilen hidrojen bağlı SM2 sıvı kristal karışımı için spektrumlar, ~ 25°C ortam sıcaklığında, referans olarak Potasyum Bromid (KBr) ile katı halde kaydedilmiştir. 8OBA, 3ABA ve 8OBA/3ABA karışımlarına ait pik noktaları da belirtilmiştir. 3ABA molekülünün FT-IR spektrumu incelendiğinde 2956.07 cm^{-1} pik noktasındaki geniş ve şiddetli gerilme karboksilli asit olduğunu gösterir. 670, 756 ve 788 cm^{-1} pik noktalarındaki gerilmeler benzen halkasına ait C-H gerilmeleridir. 8OBA, 3ABA ve 8OBA/3ABA karışımının spektrumları karşılaştırıldığında 8OBA/4ABA karışımında olduğu gibi 8OBA/3ABA karışımında da 8OBA'da 1425.55 ve 1295.08 cm^{-1} de gözlenen piklerin 8OBA/3ABA karışımında 1423.34 ve 1293.42 cm^{-1} de olduğu görülmektedir. 3ABA'da 2956.07 ve 1290.72 cm^{-1} de gözlenen piklerin 8OBA/3ABA karışımında 2917.85 ve 1305.85 cm^{-1} de olduğu görülmektedir. Buradan molekül içi bağ yapı durumunun korunduğu anlaşılıyor. 8OBA/4ABA sıvı kristal karışım kompleksinin FT-IR spektrumları 1423.34 cm^{-1} de C-O germe titreşimleriyle

birleştirilmiş düzlem bükülmesinde O-H'ye atfedilen bir soğurma piki göstermiştir. Sentezlenen 8OBA/3ABA sıvı kristal karışımındaki H-bağının varlığı ayrıca 2917.96 cm^{-1} 'de yeni $\nu(\text{O-H})$ bandının ortaya çıkmasıyla da anlaşılmaktadır. Karışımın spektrumunda 3459.34 ve 3361.32 cm^{-1} 'de ortaya çıkan yeni pikler karışımda benzoik asidin dimerik doğasının ayrıştığını ve kompleksleşme üzerine monomerik bir formda var olmayı tercih ettiğini göstermektedirler. Buradan saf malzeme molekülerinin molekül içi bağ yapı durumunu koruduğunu gösterdiği anlaşılmaktadır.

5.3.3.SM3 Sıvı Kristalinin IR Spektroskopisi

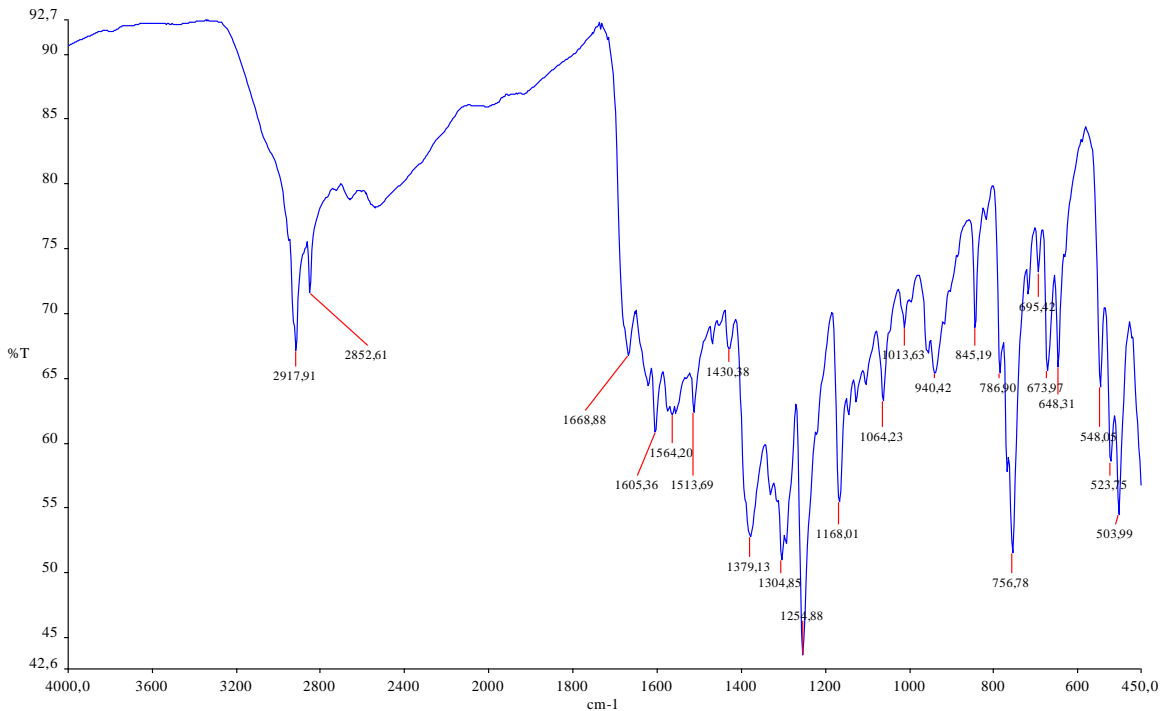


Şekil 5. 25. SM3 (8OBA/4ABA karışım kompleksinin) FTIR spektrumu

Şekil 5.25'te saf 8OBA mezojeni ve mezojenik olmayan 4ABA maddelerinin 1:1 ağırlık oranında üretilen SM3 sıvı kristal karışımı için spektrumlar, $\sim 25^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında, referans olarak Potasyum Bromid (KBr) ile katı halde kaydedilmiştir.

8OBA, 4ABA ve 8OBA/4ABA karışımlarına ait pik noktaları da belirtilmiştir. 4ABA'nın spektrumuna bakıldığında 2500-3500 cm^{-1} arasındaki yoğun absorpsiyon bunun bir karboksilli asit olduğuna işarettir. Karışımı oluşturan saf maddelerin (8OBA, 4ABA) ve karışımın (8OBA/4ABA) FT-IR spektrumları karşılaştırıldığında 8OBA da 1425.55 ve 1295.08 cm^{-1} de gözlenen piklerin 8OBA/4ABA karışımında 1423.06 ve 1292.86 cm^{-1} de olduğu görülmektedir. Saf 4ABA'da 2917.78 cm^{-1} de görülen pik noktası 8OBA/4ABA karışımında 2918 cm^{-1} de görülmektedir. Karışımında 2917.85 cm^{-1} 'de görülen O-H gerilmesiyle H bağının varlığını göstermektedir. Ayrıca karışımın spektrumunda dikkat çeken 3458.95 ve 3360.20 cm^{-1} 'de ortaya çıkan yeni pikler benzoik asidin dimerik doğasının ayrıştığını ve kompleksleşme üzerine monomerik bir formda var olmayı tercih ettiğini göstermektedirler. 8OBA ve 4ABA da ortak olan piklerin 8OBA/4ABA karışımında daha kuvvetli pikler oluşturduğu gözlenmiştir. Ortak olmayan bağların daha zayıf pikler oluşturduğu gözlenmiştir.

5.3.4.SM4 Sıvı Kristalinin IR Spektroskopisi

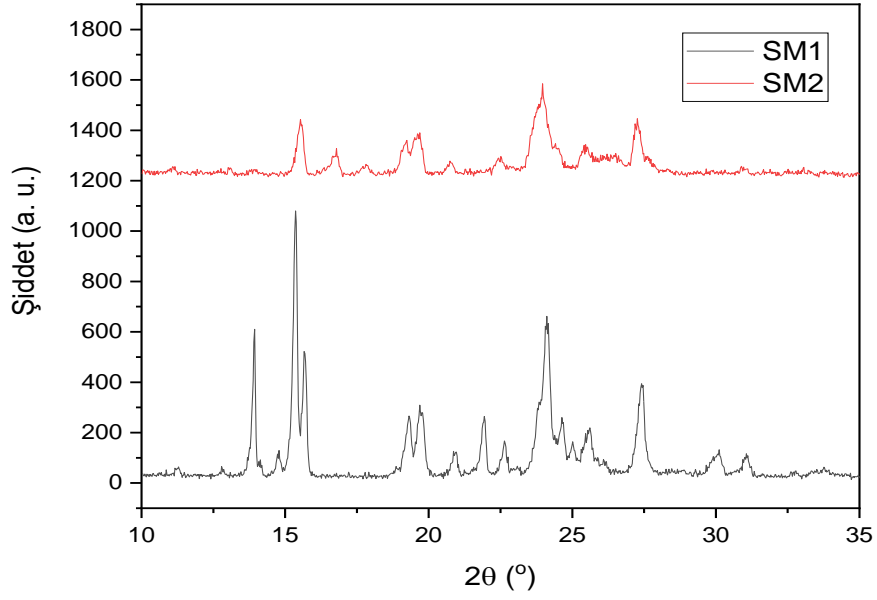


Şekil 5. 26. SM4 (8OBA/3ABA karışım kompleksinin) FTIR spektrumu

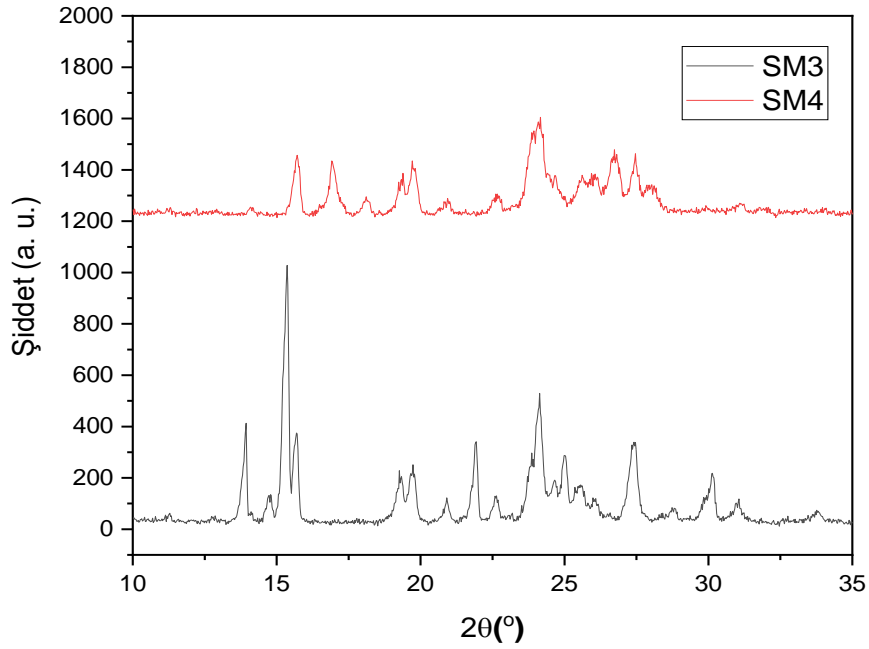
Mezojenik kompleksler arasındaki moleküler etkileşimler moleküllerin biyokimyasal süreçlerine karar verir. H bağı genellikle iki karboksilli asit grubu ve

simetri merkezi tarafından bağlanan döngüsel dimer arasında oluşur. Karboksilik asit dimerik grubundaki kovalent ve kovalent olmayan H-bağ etkileşimi, genellikle 4000 cm^{-1} ile 400 cm^{-1} arasındaki $\nu(\text{O-H})$ germe frekansının FTIR çalışmaları ile karakterize edilir. (Vasanthi ve ark.,2021).Şekil 5.26'da saf 8OBA ve 3ABA maddelerinin 1:1 ağırlık oranında karıştırılmasıyla elde edilen SM4 sıvı kristal karışımı FTIR spektroskopisi ile karakterize edilmiştir. IR spektroskopisinde oluşan pik değerleri çıkartılmıştır. 8OBA ve 3ABA saf maddelerinin IR spektroskopisinde 2922.14 ve 2956.07 cm^{-1} de görülen pikler karboksilli asitler için karakteristiktir.8OBA/3ABA kompleks karışımına ait IR spektrumunda 2917.91 ve 2857.61 cm^{-1} pikleri sp^3 hibritleşmesine bağlı C-H arasındaki asimetrik gerilmeyi göstermektedir. Karışımdaki H bağı varlığı buradan görülmektedir. 8OBA/3ABA karışımının IR spektrumunda 1254.88 ve 1168.01 cm^{-1} deki güçlü emilimler C-O gerilimine işaret etmektedir. Diğer karışımlarda görülen 3450 ve 3360 cm^{-1} civarındaki pikler 8OBA/3ABA 1:1 ağırlık kompleks karışımda görülmemiştir. 8OBA ve 3ABA da ortak olan bağların 8OBA/3ABA karışımında daha kuvvetli pikler oluşturduğu gözlenmiştir. Ortak olmayan bağların daha zayıf pikler oluşturduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak FTIR sonuçları,8OBA mezojeninin ve mezojenik olmayan 3ABA ve 4ABA kimyasal malzemeleri ile karışımlarında H-bağının oluşumunu göstermiştir.

5.4. XRD Çalışmaları



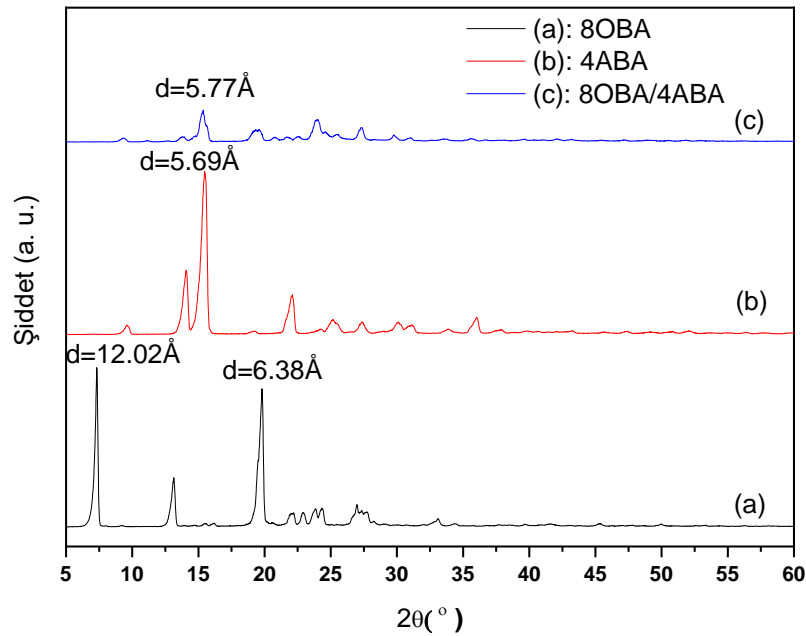
Şekil 5. 27. SM1 ve SM2 sıvı kristal karışımlarının XRD sonuçları



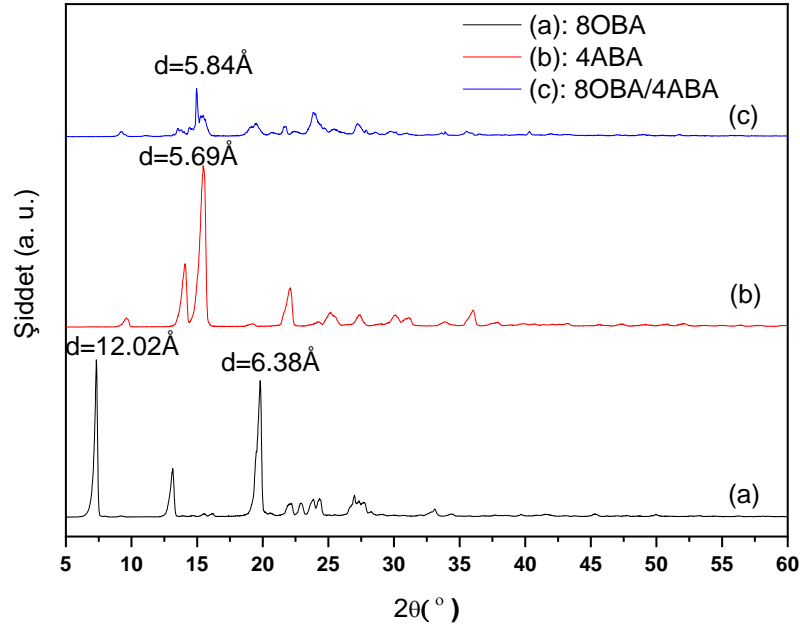
Şekil 5. 28. SM3 ve SM4 sıvı kristal karışımlarının XRD sonuçları

Sıvı kristal kompleks karışımların mikroyapısal özelliklerini belirlemek için X-ışını çalışmaları yapılmıştır. X-ışını kırınımı (XRD) çalışmaları, CuK_α radyasyonu ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) ve $1^\circ/\text{dakika}$ kalma süresi kullanılarak bir Philips X` Pert Pro Difraktometri cihazı ile yapıldı. Numuneler nötr cam numune tutucuları üzerine elle basılarak yerleştirildi ve yönlendirildi. SM1 ve SM2 ile SM3 ve SM4 bileşiklerinden elde XRD sonuçları Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi numunelerin mikro yapıları birbirlerinden farklılık göstermektedirler.

4ABA ve 8OBA saf maddelerinin %50-%50 mol oranında karıştırılmasıyla elde edilen SM1 bileşiğine ait XRD sonuçları Şekil 5.29’da gösterilmiştir. 8OBA saf maddesinin X ışınları kırınımı sonucu mikro yapısı incelendiğinde mikro yapıdaki tabakalar arası mesafe maksimum şiddetli pik için $d=12.02\text{\AA}$ olduğu görülmektedir. 4ABA saf maddesinde tabakalar arasındaki mesafe $d=5.69\text{\AA}$ ölçülmüştür. 8OBA/4ABA sıvı kristal karışımının mikro yapısı incelendiğinde tabakalar arasındaki mesafe $d=5.77\text{\AA}$ olarak ölçülmüş olup karışımı oluşturan malzemelerin tabakaları arasındaki mesafe değerleri arasındadır.



Şekil 5. 29. %50-%50 mol oranında üretilen SM1 sıvı kristal karışımının bileşenleri ile karşılaştırılması



Şekil 5. 30. %50-%50 ağırlık oranında üretilen SM3 sıvı kristal karışımının bileşenleri ile karşılaştırılması

4ABA ve 8OBA saf maddelerinin %50-%50 ağırlık oranında karıştırılmasıyla elde edilen SM3 sıvı kristaline ait XRD sonuçları Şekil 5.30'da gösterilmiştir. Karışımın mikro yapısı incelendiğinde tabakalar arasındaki mesafe, karışımı oluşturan maddelerin tabakalar arası mesafe değerleri arasında $d=5.84\text{\AA}$ olarak ölçülmüştür. Sentezlenen sıvı kristal malzemelerde bazal mesafenin 8OBA sıvı kristal malzemesinin bazal mesafesine göre oldukça azalması karışım moleküllerinin hareket alanını kısıtlamakta ve böylelikle sıvı kristalik özellikler olumsuz etkilenmektedir. POM ve DSC sonuçlarında bazı karışımlarda nematik faz gibi mezozjenik fazların görülmemesi bazal mesafenin azalması sebebiyle H-bağlarının oluşmadığını ve sentezlenen malzemelerin sıvı kristalik özelliklerini sınırladığını göstermektedir.

XRD sonuçlarına göre SM1 ve SM3 sıvı kristal karışımları katı halde monoklinik yapıda oluşurken SM2 ve SM4 sıvı kristal karışımları ortorombik yapıda oluşmaktadır. Literatür incelendiğinde; Okumuş ve ark. (2019), sentezledikleri PAA/6BA sıvı kristal karışımlarda ortorombik yapının oluştuğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, Sundaram ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada sitrik asit (CA) ve 4-(oktiloksi)benzoik asit (8OBA)'in karıştırılmasıyla oluşan katı yapıda monoklinik yapının gözlemlendiği rapor edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sıvı kristaller anizotropik katıların kristal yapısını ve izotropik sıvıların akışkan özelliğini birlikte gösterdiğinden oldukça ilgi çekici maddelerdir. Teknolojik ve endüstriyel alanda kullanım alanı oldukça geniş olan sıvı kristaller keşfedilmesinden günümüze kadar araştırma konusu olmuştur. Bu tez araştırmasında da yeni sıvı kristal karışımlar sentezlenmiş ve sentezlenen bu sıvı kristal karışımların termal ve optiksel karakterizasyonu yapılmıştır. Mezojenik olmayan 4-Aminobenzoik asit (4ABA) ve 3-Aminobenzoik asit ile mezojenik 4-(Oktiloksi)benzoik asit (8OBA) saf maddeleri çeşitli oranlarda karıştırılarak sıvı kristaller sentezlenmiştir. Sıvı kristal karışımların POM, DSC, FTIR ve XRD analizleri yapılarak yorumlanmıştır.

POM ve DSC sonuçları sentezlenen karışımların sıvı kristal özelliği ifade eden faz geçişlerinin olduğunu göstermiştir. Sentezlenen karışımların nematik-izotropik geçiş sıcaklıklarının veya izotropikleşme sıcaklıklarının değerleri karışım bileşenlerinin izotropikleşme sıcaklık değerleri arasında olduğu ölçülmüştür. Ayrıca ısıtma esnasında gözlenen fazların geçiş sıcaklıkları soğutma esnasında gözlenen faz geçiş sıcaklık değerlerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sentezlenen sıvı kristal karışımlar arasında en geniş nematik sıcaklık aralığı 45.64 °C ile SM3 sıvı kristal karışımında ölçülmüştür. Fakat bu karışım soğutma sırasında nematik fazı göstermediği için teknolojik uygulamalarda kullanılması önerilmemektedir. Bilindiği gibi bir sıvı kristalik malzeme ısıtma ve soğutma döngüsünde aynı fazları göstermeli ve teknolojik uygulamalar için geniş nematik aralığa sahip olmalıdır.

Sentezlenen sıvı kristal karışımların ani sıcaklık değişimlerinden etkilenip etkilenmeyeceği durumu araştırıldı ve ısıtma veya soğutma oranı değiştirildiğinde sadece faz geçiş sıcaklık değerlerinde az miktarda değişme gözlenirken faz dönüşüm sayısının değişmediği görüldü. Isıtma oranı arttıkça faz geçiş aralıklarında da artış gözlenirken yeni faz geçişleri gözlemlenmemiştir. Isıtma oranı değiştirildiğinde yeni fazların gözlenmemesi sentezlenen sıvı kristallerin termal kararlılık gösterdiğini ifade etmektedir. Elde edilen termal analiz sonuçlarına göre belirli oranlarda sentezlenen 8OBA/4ABA ve 8OBA/3ABA sıvı kristal karışımları 8OBA sıvı kristal mezojen özelliklerine benzer mezojenik özellikler sergilemiştir. 8OBA'nın sıvı kristalik fazlar gösteren mezojenik bir malzeme olduğu iyi bilinmektedir (Patari ve Nath, 2020).

IR spektroskopisi sonuçları sentezlenen 8OBA/4ABA ve 8OBA/3ABA sıvı kristal karışımlarında karışım bileşenleri arasında H-bağlarının oluştuğunu göstermiştir.

Bileşenler arasında H-bağı varlığı sentezlenen sıvı kristal karışımların monomerik yapıda olduğunu göstermektedir. Karışımların IR spektrumlarında gözlemlenen (O-H) pikleri ve (C=O) pik kaymaları karışımı oluşturan maddeler arasında bir kompleksleşmeyi ve bu kompleksleşmenin de yeni bir mezojenik malzeme sentezlendiğini ifade etmektedir. Yapılan literatür taramasında numunelerin daha önce yapılan IR spektroskopi analizinde benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Cursino ve ark., 2010).

XRD analizinde ölçülen bazal mesafe (tabakalar arası mesafe) değerleri karışımları oluşturan maddelerin bazal mesafe değerleri arasındadır. Sentezlenen sıvı kristal karışımlarda bazal mesafe değerleri mezojenik olmayan bileşenlerin bazal mesafe değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Sentezlenen 8OBA/4ABA ve 8OBA/3ABA sıvı kristal karışımlarında bazal mesafe değerinin küçük olması mezojenik moleküllerin hareket kabiliyetini azaltmakta ve dolayısıyla mezojenik özelliklerden bazılarının gözlenmemesine sebep olmaktadır. Ayrıca XRD analiz sonuçlarına göre 8OBA/4BA kristal karışımları katı halde monoklinik yapı oluştururken 8OBA/3ABA sıvı kristal karışımları ortorombik yapı oluşturmuşlardır. XRD sonuçlarında gözlenen keskin ve düzenli pikler malzemenin katı halinde kristal yapısının oldukça düzenli olduğunu göstermektedir. Ancak sentezlenen sıvı kristal karışım malzemelerinin XRD piklerindeki keskinlik bileşen malzemelerin XRD piklerinin keskinliklerine göre biraz daha yayvandır. Yani sentezlenen sıvı kristal malzemenin katı halde kristal yapısının amorf yapıya doğru kaymakta olduğu gözlemlenmiştir.

Sentezlenen sıvı kristal karışımlarla ilgili ileri çalışmalarda faz diyagramları çalışması yapılabilmektedir. Bunun için de DSC ve POM ile farklı karışım oranlarında da faz geçiş çalışmaları yapılmalıdır. Elde edilen değerlerle teorik ve deneysel faz diyagramları çizmek mümkündür. Ayrıca DSC ile elde edilen değerler kullanılarak sentezlenen sıvı kristal karışımlarda düzen parametresi ve termal stabilite faktörü hesaplamaları yapılabilmektedir. Faz geçişlerinde faz geçiş aktivasyon enerji hesabı yapılarak sentezlenen malzemelerde faz geçiş kararlılığı hakkında analizler yapılabilmektedir. Faz adlandırmaları için daha hassas ısıtıcı tabanlı POM kullanılarak yeni faz tespiti ve adlandırması yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2021, Sıvı kristal, (URL) <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/sv-kristal-liquid-crystal.html>
- Anonim, 2021, Termal analiz laboratuvarı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara (URL) <https://aybu.edu.tr/merlab/tr/sayfa/2842>
- Ateş, K., 2010, 6CB, 8CB 8OCB Sıvı Kristallerin ve Karışımlarının Dielektrik ve İletkenlik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 30-51.
- Bahadur, B., 1990, Liquid Crystal Applications and Uses Vol 1, *World Scientific*, Singapore, 161-163.
- Balasubramanian, V., Ramya, A., Radjarejesri, S. and Vijayakumar, V.N., 2021, Optical and Thermal Characterization of Thermotropic Hydrogen Bonded Liquid Crystal Mixture, *Materials Today: Proceedings*.
- Balkanlı, E., Çakar, F., Ocak, H., Cankurtaran, Ö. ve Eran, B. B., 2021, Synthesis and Characterization of Novel 4-benzyloxyphenyl 4-[4-(n-dodecyloxy)benzoyloxy]benzoate Liquid Crystal, *Turkish Journal of Chemistry*, İstanbul, (45) 71-85.
- Bhat, S. V., Swamynathan, K. and Kumar, S., 2020, Synthesis and Mesomorphic Characterization of Novel Liquid Crystals Derived From Bioactive Natural Sterols, *Journal of Molecular Liquids*, 326, 115216.
- Blinov, L.M. and Chigrinov, V.G., 1993, Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials, *Springer Science & Business Media*, 1.
- Boer, Willem, 2005, Active Matrix Liquid Crystal Displays, Fundamentals and Applications, *Springer Verlag*, New York, 2-11.
- Bruce, D. W., O'Hare, D. and Walton, R.I., 2010, Molecular Materials, (Vol. 14). *John Wiley & Sons*, 37-58.
- Chandrasekhar, S., 1992, Liquid Crystal 2nd Edition, *Cambridge University Press*, New York.
- Chung, T. S., 2001, Thermotropic Liquid Crystal Polymers, Thin-film Polymerization, Characterization, Blends and Applications, *Technomic Publication-Pennsylvania* 8-9.
- Coates, D., 2000, Liquid Crystal Polymers Synthesis, Properties and Applications (Vol. 118), *Smithers Rapra Publishing*, 10.
- Coleman, R. E. and Powell, H. E., 1966, Infrared Spectroscopy of a Xanthate-galena System (Vol. 6816), *US Department of the Interior, Bureau of Mines*, 2-5.

- Collings, P. J., 1997, Handbook of Liquid Crystal Research, *Swarthmore College Physic and Astronomy Faculty Works*.
- Coşkun, B., 2007, Sıvı Kristallerin Elektro-Optik ve Faz Geçiş Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 13-29.
- Cursino, A. C., Gardolinski, J. E. F. and Wypych, F., 2010, Journal of Colloid and Interface Science, Intercalation of anionic organic ultraviolet ray absorbers into layered zinc hydroxide nitrate, *Journal of colloid and interface science*, 347(1), 49-55.
- De Gennes, P. G. and Prost, J., 1993, The Physic of Liquid Crystals Second Edition, (No. 83), *Oxford university pres*, 1.
- Demus, D., Goodby, J. W., Gray, G. W., Spiess, H. W. and Vill, V., 2011, Handbook Of Liquid Crystals, Volume 2A: Low Molecular Weight Liquid Crystals I, *four volume set. Handbook of Liquid crystals*, 2180.
- Dierking, I., 2003, Textures of Liquid Crystals, *John Wiley & Sons*.
- Dierking, I., Figueirinhas, J. L. and Godinho, M. H., 2014, Liquid Crystals: From Modified Phases to Applications, 53.
- Dunmur, D. and Sluckin, T., 2014, Soap, Science & Flat Screen TVs, A History of Liquid Crystals, *Oxford University Press*, 18.
- Ekici, Z., 2014, Sıvı Kristaller, Genel Özellikleri, Sıvı Kristallerin Sentezi ve Uygulama Alanları, Yüksek Lisans Tezi, *Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adıyaman, 20-42.
- Ersöz, M, Sulak, M., Bersani, M. ve Işıtan, A., 2018, Nanoteknoloji 2, Karakterizasyon ve Uygulamalar, 61-67.
- Eskalen, H., Okumuş, M. ve Özgan Ş., 2019, Electro-optical, thermal and dielectric properties of ternary mixture of E7/6CB/6BA liquid crystal mixture complex, *Optik*, 187, 223-229.
- Eskalen, H., Özgan, Ş., Okumuş, M. ve Kerli, S., 2019, Thermal and Electro-optical Properties of Graphene Oxide/Dye-Doped Nematic Liquid Crystal, *Brazilian Journal of Physics*, 49, 341–347.
- Eskalen, H., 2020, Influence of carbon quantum dots on electro–optical performance of nematic liquid crystal, *Applied Physics A*, 126, 708.
- Fouzai, M., Hamdi, R., Ghrab, S., Soltani, T., Ionescu, A. and Othman, T., 2018, Properties of Binary Mixtures Derived From Hydrogen Bonded Liquid Crystals, Journal of Molecular Liquids, *Journal of Molecular Liquids*, 249, 1279-1286.
- Gray, G. W., Vill V., Spiess, H. W., Demus, D. and Goodby, J., 2009, Physical Properties of Liquid Crystals, *John Wiley & Sons*, 8-11.

- Gray, G. W. and Goodby, J. W., 1984, *Smectic Liquid Crystals: Textures and Structures*, Heyden & Son, 247 SOUTH 41 ST., PHILADELPHIA, PA 19104, USA, 1984, 256.
- Gültepe, M. D. and Tek, Z., 2018, Investigation of Phase Transitions in Nematic Liquid Crystals by Fractional Calculation, *Celal Bayar University Journal of Science*, 14(4), 373-377.
- Hamdi, R., Khalfallah, C. B., Soltani, T., 2020, Synthesis and Study of Physicochemical Properties of Relatively High Birefringence Liquid Crystals: Tolane-Type With Symmetric Alkoxy Side Groups, *Journal of Molecular Liquids*, 310, 113205.
- Hirst, L. S., 2012, *Fundamentals of Soft Matter Science*, 2nd Ed. CRC pres.
- Karapınar, R., 2017, Bükümlü Nematik Sıvı Kristal Aygıtlar, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(Ek (Suppl.) 1), 268-275.
- Karuppasamy, P., Kamelash, T., Mohankumar, V., Abdul Kalam, S., Pandian, M. S., Ramasamy, P., Verma, S. and Venugopal, R. S., 2019, Synthesis, Growth, Structural, Optical, Thermal, Laser Damage Threshold and Computational Perspectives of 4-Nitrophenol 4-Aminobenzoic acid Monohydrate (4NPABA) Single Crystal, *Journal of Molecular Structure*, 1176, 254-265.
- Khan, B. C. and Mukherjee, P. K., 2021, Isotropic to Smectic-A Phase Transition in Taper-Shaped Liquid Crystal, *Journal of Molecular Liquids*, 329, 115539.
- Khoo, I. C., 2007, *Liquid Crystals Second Edition*, (Vol. 64), John Wiley & Sons 1.
- Kim, Y., Lee, M., Wang, H. S., Ahn, S., Kim, J. and Song, K., 2017, FTIR Spectroscopic Studies of Polar Nematic Liquid Crystals in Various Molecular Arrangements, *Vibrational Spectroscopy Volume 92*, 182-187.
- Kirchhoff, J., 2010, *Investigations into Complex Liquid Crystal Mixtures*, Florida State University, Florida.
- Köysal, O., 2002, Sıvı Kristal Lazer Modülatörü Yapımı ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, 38-56.
- Kumar, S. and Brock, J., 2001, *Liquid Crystals: Experimental Study of Physical and Phase Transitions*, Cambridge University Press.
- Meier, G., Sackmann, E. and Grabmaier, J. G., 2012, *Applications of Liquid Crystals*, Springer Science & Business Media, 5-8.
- Okumuş, M., 2017, Bazı Üçlü Karıştırılmış Hidrojen Bağlı Sıvı Kristallerin Termal Özelliklerine 4-oktiloksi-4'-siyanobifenil (8OCB) Mezojenin Etkisi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 101-108.

- Okumuş, M., 2012, Alkil ve Alkiloksi Siyanobifenil-Benzoik Asit Sıvı Kristaller ve Karışımlarının Faz Dönüşümleri, Doktora Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 44-104.
- Okumuş, M. ve Sünkür, M., 2016, Hidrojen Bağlı İkili Kompleks Sıvı Kristalin Termal ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* Cilt 7, Sayı 1/2 (2017).
- Okumuş, M., Eskalen, H., Sünkür, M. ve Özgan, Ş., 2019, Mesogenic properties of PAA/6BA binary liquid crystal complexes, *Journal of molecular structure*, 1178, 428-435.
- Okumuş, M. ve Sünkür, M., 2019, Hidrojen Bağlı 8OBA/ADA İkili Kompleks Sıvı Kristalin Termal ve Mikroyapısal Özellikleri, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2): 956-966.
- Özgan, Ş. ve Yazıcı, M., 2003, Sıvı Kristaller ve Faz Geçişleri, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2).
- Pal, S. K. and Kumar, S., 2017, *Liquid Crystal Dimers*, Cambridge University Press 2.
- Palanna, O. G., 2009, *Engineering Chemistry*, Tata McGraw-Hill Education, 206-211.
- Patari, S. and Nath A., 2021, Investigation of dielectric and impedance spectroscopy from homeotropically aligned liquid crystal compound 8OBA, *Materials Today: Proceedings*, 46, 6174-6177.
- Pershan, P.S., 1988, *Structure of Liquid Crystal Phases*, (Vol. 23), World Scientific, 25-26.
- Philips, H. M., 2018, *Liquid Crystal Physics and Materials*, Encyclopedia of Modern Optics (Second Edition), (pp. 8-11), Elsevier.
- 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.
- Prabu, N. P. S. and Mohan M.L.N. M., 2013, Characterization of a New Smectic Ordering In Supramolecular Hydrogen Bonded Liquid Crystals by X-Ray, Optical and Dielectric Studies, *Journal of Molecular Liquids*, 182, 79-90.
- Rabilloud, G., 1997, *High-Performance Polymers*, Chemistry and Applications, Editions Technip, 331-332.
- Ritcher, D., 1980, *Textures of Liquid Crystals*, VEB, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
- Sage, I., 1992, *Liquid Crystals; Applications and Uses*, vol 3, Singapore World Scientific, 301-343.

- Sankarranarayanan, K., Kavitha, C. and Mohan M. L. N. M., 2017, Chemical and Optical Characterization of Linear Hydrogen Bonded Thermotropic Liquid Crystal Dimers, *Optik Volume* 143, 42-58.
- Scharf, T., 2007, Polarized Light in Liquid Crystals and Polymers, *John Wiley & Sons* 142-147.
- Simoni, F., 1997, Nonlinear Optical Properties of Liquid Crystals and Polymer Dispersed Liquid Crystals (Vol. 2), *World Scientific*, 14-15.
- Singh, S., 2002, Liquid Crystal Fundamentals, *World Scientific*, Singapore, 312-314.
- Smith, B. C., 2011, Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy Second Edition, *CRC press*, 5-11.
- Srigengan, S., 2019, Novel Phase Behaviour in Bent-Core Nematic Liquid Crystals and Their Mixtures, PhD Thesis, *University of Leeds*, 58-172.
- Stegemeyer, H., 1994, Liquid Crystals, *Steinkopf*, 2.
- 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.
- Suroviec, A. H. and Kulesza, P. J., 2016, Physical and Analytical Electrochemistry, Electrocatalysis and Photoelectrochemistry General Session, *The Electrochemical Society*, 23.
- Uzuner, H., 2001, m-Hidroksibenzoikasit İçeren Termotropik Sıvı Kristal Kopoliesterlerin Sentezi ve Bazı Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-64.
- Vasanthi, T., Balasubramanian, V. and Vijayakumar, V. N., 2021, Theoretical Studies (DFT) on Hydrogen Bonded Liquid Crystal Derived From 4-Amino and 4-Dodecyloxy Benzoic Acids, *Materials Today: Proceedings*, in press.
- Vimal, T., Agrahari, K., Sonker, R. K. and Manohar, R., 2019, Investigation of Thermodynamical, Dielectric and Electro-Optical Parameters of Nematic Liquid Crystals Doped With Polyaniline and Silver Nanoparticles, *Journal of Molecular Liquids*, 290, 111241.
- Vijayakumar, V. N., Madhu Mohan, M.L.N., 2011, Optical, Thermal and Dielectric Studies in Linear Hydrogen Bonded Liquid Crystal Homologous Series. *Journal of Molecular Structure*, 1000, 69-76.
- Woltman, S.J., Jay, G. D. and Crawford, G.P., 2007, Liquid Crystals Frontier in Biomedical Applications, *World Scientific*, 12-14.
- Yang, D. K. and Wu, S. T., 2014, Fundamentals of Liquid Crystal Devices Second Edition, *John Wiley & Sons*, 1-5.

- Yeh, P. and Gu, C., 2010, Optics of Liquid Crystal Displays Second Edition, (Vol. 67)*John Wiley & Sons*, 20-21.
- Yıldırım, T., 2017, Ötektik Sıvı Kristal Nanotel Karışımlarının Faz Geçişlerinin Termo-Optik Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 35-56.
- Yıldız, A., 2019, Sıvı Kristallerde Faz Geçişlerinin Dielektrik Spektroskopi Yöntemi İle İncelenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 43-86.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sinan DİNDAR
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	BitirmeYılı
Lise	: Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi, Merkez, Diyarbakır	2006
Üniversite	: Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Merkez, Van	2012
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2021
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2017	Kozluk Çevrecik Ortaokulu	Öğretmen
2017-2021	Kozluk Çevrecik Ortaokulu	Müdür Yardımcısı
2021-	Kozluk Çevrecik Ortaokulu	Müdür

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR