



T.C.

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ALKİL BENZOİK ASİT, ALKİLOKSİ BENZOİK ASİT VE
DİKARBOKSİLİK ASİT GRUPLARINDAN YENİ BİR
SUPRAMOLEKÜLER SIVI KRİSTAL KOMPLEKSİ
SENTEZLEME VE KARAKTERİZASYONU**

ORHAN ALP

**Ağustos-2024
BATMAN**



T.C.

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ALKİL BENZOİK ASİT, ALKİLOKSİ BENZOİK ASİT VE
DİKARBOKSİLİK ASİT GRUPLARINDAN YENİ BİR
SUPRAMOLEKÜLER SIVI KRİSTAL KOMPLEKSİ
SENTEZLEME VE KARAKTERİZASYONU**

ORHAN ALP

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ**

**Ağustos-2024
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Orhan ALP tarafından hazırlanan “Alkil benzoik asit, alkiloksi benzoik asit ve dikarboksilik asit gruplarından yeni bir supramoleküler sıvı kristal kompleksi sentezleme ve karakterizasyonu” adlı tez çalışması 28/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Hasan ESKALEN

.....

Danışman

Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

.....

Üye

Doç. Dr. Cihat ÖZAYDIN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Orhan ALP

28 /09/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALKİL BENZOİK ASİT, ALKİLOKSİ BENZOİK ASİT VE DİKARBOKSİLİK ASİT GRUBLARINDAN YENİ BİR SUPRAMOLEKÜLER SIVI KRİSTAL KOMPLEKSİ SENTEZLEME VE KARAKTERİZASYONU

Orhan ALP

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

2024, 72 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Doç. Dr. Hasan ESKALEN

Doç. Dr. Cihat ÖZAYDIN

Bu tezde, 6BA/AA, 6BA/PA, 6BA/SA ve 8OBA/AA, 8OBA/PA, 8OBA/SA ikili supramoleküler sıvı kristal kompleksleri, mezojenik 4-Hekzilbenzoik asit (6BA) ve 4-(Oktiloksi)benzoik asit (8OBA) ile mezojenik olmayan Adipik asit (AA), Pimelik asit (PA) ve Suberik asit (SA) kullanılarak sentezlenmiştir. Bu komplekslerin termal analizleri DSC ile yapılmış, faz geçiş sıcaklıkları, entalpi değişimleri ve nematik alan gibi mezojenik yapılar incelenmiştir. DSC verileri, kristal-smektik, smektik-nematik ve nematik-izotropik faz dönüşümlerini göstermiştir. 6BA/AA karışımının 39,98°C ile en geniş nematik alana sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ısıtırken elde edilen faz geçiş sıcaklık ve entalpi değerlerinin soğuturken elde edilenlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Polarize Optik Mikroskop (POM) ile yapılan analizler, DSC sonuçlarıyla uyumlu faz geçiş sıcaklıkları göstermiştir. Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektroskopisi (FTIR) sonuçları, hidrojen bağlarının oluştuğunu ve moleküller arası bağların korunduğunu doğrulamıştır. X-ışını difraksiyonu (XRD) kullanılarak mikroyapı analizleri yapılmış ve moleküller arası bazal mesafeler hesaplanmıştır. Komplekslerin bazal mesafe değerlerinin bileşenler arasında olduğu ve molekül uzunluğu arttıkça bu mesafelerin de arttığı görülmüştür. Minimum bazal mesafe, 6BA/AA kompleksi için 3,76 Å olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: DSC, Faz Geçişleri, FTIR, POM, Supramoleküler Sıvı Kristal Kompleksler, XRD

ABSTRACT

MS THESIS

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF A NEW SUPRAMOLECULAR LIQUID CRYSTAL COMPLEX FROM ALKYL BENZOIC ACID, ALKYL OXY BENZOIC ACID AND DICARBOXYLIC ACID GROUPS

Orhan ALP

**Batman University Graduate Education Institute
Department of Physics**

2024, 72 Pages

Advisor: Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Juries

Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Assoc. Prof. Dr. Hasan ESKALEN

Assoc. Prof. Dr. Cihat ÖZAYDIN

In this thesis, binary supramolecular liquid crystal complexes of 6BA/AA, 6BA/PA, 6BA/SA, and 8OBA/AA, 8OBA/PA, 8OBA/SA were synthesized using the mesogenic compounds 4-Hexylbenzoic acid (6BA) and 4-(Octyloxy)benzoic acid (8OBA), along with the non-mesogenic compounds Adipic acid (AA), Pimelic acid (PA), and Suberic acid (SA). The thermal analyses of these complexes were conducted using DSC, and phase transition temperatures, enthalpy changes, and mesogenic properties such as the nematic range were examined. The DSC data revealed phase transitions including crystal-smectic, smectic-nematic, and nematic-isotropic transformations. The 6BA/AA complex exhibited the widest nematic range at 39.98°C. It was also observed that the phase transition temperatures and enthalpy values obtained during heating were higher than those during cooling. Analyses performed with Polarized Optical Microscopy (POM) showed that the phase transition temperatures were consistent with the DSC results. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) results confirmed the formation of hydrogen bonds and the preservation of intermolecular bonds within the synthesized complexes. Microstructural analyses were conducted using X-ray diffraction (XRD), and the basal spacings between molecules were calculated. It was found that the basal spacings of the complexes were within the range of the components, and these values increased with molecular length. The minimum basal spacing was calculated as 3.76 Å for the 6BA/AA complex.

Keywords: DSC, FTIR, PhaseTransitions, POM, Supramolecular Liquid Crystal Complexes, XRD

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanma süreci, benim için oldukça verimli ve öğretici bir deneyim oldu. "Alkil benzoik asit, alkiloksi benzoik asit ve dikarboksilik asit gruplarından yeni supramoleküler sıvı kristal komplekslerinin sentezi ve karakterizasyonu" başlıklı bu çalışmada bana destek olan kişilere içtenlikle teşekkür etmek istiyorum.

Her aşamada rehberliği ile bana yol gösteren ve çalışmamı şekillendiren danışman hocam saygıdeğer Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin bilgi ve tecrübesi, bu tezin başarıyla tamamlanmasında önemli bir katkı sağlamıştır.

Ayrıca, yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden ve süreç boyunca manevi katkılarıyla yanımda olan değerli arkadaşlarım Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL'a ve Doç.Dr. Yılmaz KAYA'ya derin şükranlarımı sunarım.

Bu tezi 46 yaşında tamamlamış olmamın, oğlum Kerem ve kızım Asya Liya'ya bir örnek teşkil etmesini umuyorum. Eğitim ve öğrenmenin yaşı olmadığını, azim ve kararlılıkla her yaşta yeni hedeflere ulaşılabileceğini göstermek istedim. Onların da hayat boyu öğrenmeyi bir prensip edinmeleri, en büyük dileğimdir.

Orhan ALP
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER.....	x
ÇİZELGELER	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Sıvı Kristaller	2
1.2. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması	3
1.2.1. Termotropik Sıvı Kristaller	4
1.2.1.1. Smektik Sıvı Kristaller.....	5
1.2.1.2. Nematik Sıvı Kristaller	7
1.2.1.3. Smektik-Nematik Faz Farkı.....	8
1.2.1.4. Kolesterik Sıvı Kristaller	10
1.2.2. Liyotropik Sıvı Kristaller	11
1.3. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları	12
1.4. Sıvı Kristal Karışımlar	14
1.4.1. Polimer-Sıvı Kristal Karışımları.....	14
1.4.2. Sıvı Kristal Karışımlar.....	15
1.4.3. Nanopartikül Katkılı Sıvı Kristaller	15
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	25
3.2. Karışımların Oluşturulması.....	26
3.3. X-Işını Difraktometresi (XRD).....	27
3.4. Polarize Optik Mikroskop (POM)	28
3.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)	29
3.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektrometrisi.....	30
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. FTIR Analiz Sonuçları	32
4.1.1. 8OBA ve 6BA Sıvı Kristallerin FTIR Analiz Sonuçları	32
4.1.2. Sıvı kristal özellik göstermeyen PA, SA ve AA kimyasalların FTIR Analiz Sonuçları	40
4.1.3. Sentezlenen 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçları	41

4.1.4.	Sentezlenen 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçları	42
4.1.5.	6BA/AA, 6BA ve AA FTIR analiz sonuçları	44
4.1.6.	8OBA/AA, 8OBA ve AA FTIR analiz sonuçları	45
4.2.	XRD SONUÇLARI	46
4.2.1.	Saf Malzemelerin XRD Sonuçları	46
4.2.2.	6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA Sentezlerinin XRD Sonuçları.....	47
4.2.3.	8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA Sentezlerinin XRD Sonuçları	48
4.2.4.	6BA, AA, 6BA/AA'n XRD Analiz Sonuçları	49
4.3.	DSC Analiz Sonuçları	50
4.3.1.	8OBA ve 6BA Sıvı Kristallerinin DSC Analizi	50
4.3.2.	Mezogenik olmayan AA, PA ve SA Kimyasallarının DSC Analizi	52
4.3.3.	Sentezlenen 6BA/AA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi.....	53
4.3.4.	Sentezlenen 6BA/PA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi.....	54
4.3.5.	Sentezlenen 6BA/SA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi.....	55
4.3.6.	Sentezlenen 8OBA/AA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi	56
4.3.7.	Sentezlenen 8OBA/PA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi.....	58
4.3.8.	Sentezlenen 8BA/SA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi.....	58
4.4.	POM Analiz Sonuçları	60
4.4.1.	Sentezlenen 6BA/AA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi.....	60
4.4.2.	Sentezlenen 6BA/PA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi.....	61
4.4.2.	Sentezlenen 6BA/SA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi.....	62
4.4.3.	Sentezlenen 8OBA/AA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi	63
4.4.5.	Sentezlenen 8OBA/PA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi	64
4.4.6.	Sentezlenen 8OBA/SA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi	65
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	66
5.1.	SONUÇLAR	66
5.2.	ÖNERİLER	67
	KAYNAKLAR	68
	ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER

Şekil 1. 1. Moleküllerin katı, sıvı ve sıvı kristal fazları (Emek, 2007).....	3
Şekil 1. 2. Sıvı kristallerin gösterimi	4
Şekil 1. 3. Sıvı kristal fazları (Ekici, 2014)	5
Şekil 1. 4.a) Smektik-sıvı-kristalin yönelimi b) POM görüntüsü (Ekici, 2014).....	5
Şekil 1. 5. Smektik-A ve Smektik-C fazları (Khoo, 2007).....	6
Şekil 1. 6. a) Nematik fazın şematik gösterimi, b) nematik sıvı kristalin fotoğrafı (Değirmenci 1996)	8
Şekil 1. 7. Simektik-A fazına sahip bir sıvı kristal malzeme yapısı (Ekici, 2014)	8
Şekil 1. 8. Simektik-C fazına sahip bir sıvı kristal malzeme yapısı (Ekici, 2014)	9
Şekil 1. 9. a)Kolesterik moleküllerin yönelimi b) POM görüntüsü (Dierking, 2003)....	10
Şekil 1. 10. Sabunun lameller fazı (Colling, 2001)	12
Şekil 1. 11. Sabunun hegzagonal fazı (Colling, 2001)	12
Şekil 1. 12. Sıvı kristal malzemelerin uygulama alanları (Eker, 2023)	14
Şekil 1. 13. Nanopartikül katkılı sıvı kristaller şematik gösterimi	16
Şekil 3. 1. 8OBA/X komplekslerinin moleküler yapısı (X = AA olduğunda n = 6, X=PA olduğunda n=7, X=SA olduğunda n=8).....	26
Şekil 3. 2. XRD.....	28
Şekil 3. 3. Leica marka polarize optik mikroskop ve görüntüsü.....	29
Şekil 3. 4. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı.....	30
Şekil 3. 5. FTIR spektrometre cihazı	31
Şekil 4. 1. 8OBA ve 6BA sıvı kristallerin FTIR spektrumları	32
Şekil 4. 2. Sıvı kristal özellik göstermeyen PA, SA ve AA kimyasalların FTIR spektrumları	40
Şekil 4. 3. Tez çalışmasında üretilen 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçları	41
Şekil 4. 4. Tez çalışmasında üretilen 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçları	42
Şekil 4. 5. 6BA/AA, 6BA ve AA'nın FTIR analiz sonuçları	44
Şekil 4. 6. 8OBA/AA, 8OBA ve AA FTIR analiz sonuçlar	45
Şekil 4. 7. Saf malzemelerin XRD sonuçları	47
Şekil 4. 8. 6BA/AA 6BA/PA ve 6BA/SA komplekslerinin XRD sonuçları	48
Şekil 4. 9. 8OBA/AA 8OBA /PA ve 8OBA /SA komplekslerinin XRD sonuçları.....	49
Şekil 4. 10. Saf bileşenler 6BA, AA ve 6BA/AA sıvı kristal kompleksinin XRD sonuçları.....	50
Şekil 4. 11. 8OBA ve 6BA sıvı kristallerinin DSC sonuçları.....	51
Şekil 4. 12. AA, PA ve SA kimyasallarının DSC sonuçları	52
Şekil 4. 13. 6BA/AA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları.....	53
Şekil 4. 14. 6BA/PA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları	55
Şekil 4. 15. 6BA/SA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları	56
Şekil 4. 16. 8OBA/AA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları.....	57
Şekil 4. 17. 8OBA/PA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları.....	58
Şekil 4. 18. 8OBA/SA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları.....	59
Şekil 4. 19. Sentezlenen 6BA/AA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (40 °C), (b): Nematik (100 °C), (c): İzotropik (140 °C), (d): Nematik (120 °C), (e): Nematik-Kristal geçiş anı (85 °C), (f): Kristal (75 °C)	60

Şekil 4. 20. Sentezlenen 6BA/PA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (42 °C), (b): Nematik (80 °C), (c): İzotropik (110 °C), (d): İzotropik-Nematik geçiş anı (50 °C), (e): Kristal (30 °C).....	61
Şekil 4. 21. Sentezlenen 6BA/SA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (45 °C), (b): Nematik (78 °C), (c): İzotropik (120 °C), (d): Nematik (80 °C), (e): Nematik-Kristal geçiş anı (62 °C), (f): Kristal (30 °C)	62
Şekil 4. 22. Sentezlenen 8OBA/AA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (50 °C), (b): Smektik A (88 °C), (c): Nematik (110 °C), (d): İzotropik (140 °C), (e): Nematik-Smektik A geçiş anı (85 °C), (f): Smektik A-Kristal geçiş anı (50 °C)	63
Şekil 4. 23. Sentezlenen 8OBA/PA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (60 °C), (b): Smektik A (85 °C), (c): Nematik (105 °C), (d): İzotropik (140 °C), (e): İzotropik-Nematik geçiş anı (110 °C), (f): Nematik-Smektik A geçiş anı (80 °C) ..	64
Şekil 4. 24. Sentezlenen 8OBA/SA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (65 °C), (b): Smektik A (100 °C), (c): Nematik (120 °C), (d): İzotropik-Nematik geçiş anı (125 °C), (e): Nematik (95 °C), (f): Smektik A (83 °C).....	65



ÇİZELGELER

Çizelge 3. 1. Çalışmada kullanılan sıvı kristallerin lineer formülü ve kimyasal yapısı . 25

Çizelge 4. 1. Sentezlenen 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA komplekslerinin faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri..... 54

Çizelge 4. 2. Sentezlenen 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA komplekslerinin faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri..... 57



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

K
DSC
FTIR
I
LCD
N
POM
SmA
SmC
TLC
XRD
8OBA
6BA
AA
PA
SA
 ΔH
 ΔH_{AN}
 ΔH_{NI}
T
 T_{AN}
 T_C
 T_{NI}
 T_{mid}
 ΔT_x
 TSF_x
 ΔS
MD
PDLC
LC
UV
PIPS
HEMA
PLA
LB
DFT

Açıklama

Kristal Faz
Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometrisi
İzotropik Faz
Sıvı Kristalik Ekran
Nematik Faz
Polarize Optik Mikroskop
Smektik A Fazı
Smektik C Fazı
Termotropik Sıvı Kristaller
X-Işını Difraktometresi
4-(Oktiloksi)benzoik asit
Hekzil-benzoik asit
Adipik asit
Pimelik asit
Suberik asit
Entalpi
SmektikA - Nematik faz geçişinin entalpi değişimi
Nematik-izotropiksıvı faz geçişteki entalpi değişimi
Maddenin transmittansı (geçirgenlik) veya sıcaklık (Kelvin)
Smektik A - Nematik faz geçiş sıcaklığı
Aydınlanma noktası
Nematik - izotropik faz geçiş sıcaklığı
İlgili fazın sıcaklık alanının orta sıcaklık derecesi
İlgili fazın sıcaklık alanı
Mezofazların termal stabilite faktörü
Faz geçiş entropi
Moleküler dinamik
Polimer dağılmış sıvı kristal
Sıvı kristal
Ultraviyole
Polimerizasyon uyarımlı faz ayrımı
Hidroksietil metakrilat
Polilaktik asit
Langmuir-Blodgett
Yoğunluk fonksiyonel teorisi

1. GİRİŞ

Madde, taneciklerin düzenlenme biçimlerine göre katı, sıvı ve gaz olarak üç ana formda varlık gösterir. Katı hâlde, tanecikler arasındaki boşluklar minimaldir ve bu durum, güçlü bir moleküler bağ oluşumuna yol açar. Bu nedenle, katı maddelerin tanecikleri sadece titreşim yapabilir ve hareket etmezler. Bu özelliğe ek olarak, katılar belirli bir şekle ve hacme sahiptirler. Isıtıldıklarında, katı maddelerin taneciklerinin titreşimi artar ve moleküler bağlar zayıflar, bu da maddeyi sıvı hâline dönüştürür. Sıvı hâlde, tanecikler arasındaki boşluklar katılarınkinden daha fazladır ve bu nedenle tanecikler, titreşim hareketine ek olarak öteleme ve dönme hareketi yapabilirler. Bu özellik, sıvıların akışkanlığını sağlar ve şekillerini belirli bir kabın şekline adapte edebilmelerine olanak tanır.

Sıvı kristaller, hem kristal yapıya sahip katıların anizotropik özelliklerini hem de sıvıların izotropik özelliklerini bir araya getirirler. Ayrıca, katı ve sıvı hallere özgü olmayan benzersiz özellikler taşırlar. Sıvı kristaller, ısıtıldıklarında doğrudan anizotropik katıdan izotropik sıvıya dönüşmek yerine, ara aşamalarla kademeli bir geçiş yaparlar. Bu özelliklerinden dolayı, sıvı kristaller, yüksek performanslı malzemeler olarak tanımlanabilirler.

Sıvı kristallerin geometrik anizotropileri, çeşitli dış etkenler altında farklı fiziksel durumlar sergileme kabiliyetleri nedeniyle bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Manyetik ve elektrik alanlarda moleküler düzenlenme, çift kırınım, iletkenlik, viskozite ve esneklik gibi özellikleri içermesi, sıvı kristallerin çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmasını sağlamıştır. Bunlar arasında en yaygın kullanım alanlarından biri sıvı kristal ekran (LCD) teknolojisidir, bu teknoloji televizyonlardan cep telefonlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

Sıvı kristal karışımları ısıtıldıklarında genellikle smektik, nematik ve izotropik aşamaları sırasıyla gösterir. İdeal bir sıvı kristal karışımının en azından smektik veya nematik aşamaları içermesi gerekir. Ayrıca, izotropik aşamada soğutma başladığında izotropik-nematik-smektik-kristal aşama geçişlerini gerçekleştirmelidir. Eğer bu dönüşümler gerçekleşmezse, elde edilen sıvı kristal karışımının beklenen fiziksel özelliklere sahip olmayacağı ve ekran teknolojisinde kullanılamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Sıvı kristal karışımlarının fiziksel özelliklerini anlamak ve optimize etmek için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar genellikle karışımların ısıtma

ve soğutma işlemlerine tabi tutulmasıyla, faz geçiş sıcaklıkları, faz geçiş entalpileri, faz geçiş aktivasyon enerjileri, düzen parametresi ve termal stabilite faktörü gibi önemli özelliklerin analizini kapsamaktadır. Örneğin, Okumuş ve diğerleri (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, sıvı kristal yapıda üretilen karışımların fiziksel özellikleri detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Günümüzde mevcut sıvı kristaller ve sıvı kristal karışımları, genellikle geniş sıcaklık aralıklarında etkili çalışma, yüksek çözünürlük sağlama ve düşük enerji tüketimi gibi arzu edilen özellikleri yeterince karşılayamamaktadır. Bu nedenle, sanayinin taleplerine uygun üstün özelliklere sahip sıvı kristal karışımlarının geliştirilmesi önemli bir hedef olarak öne çıkmaktadır.

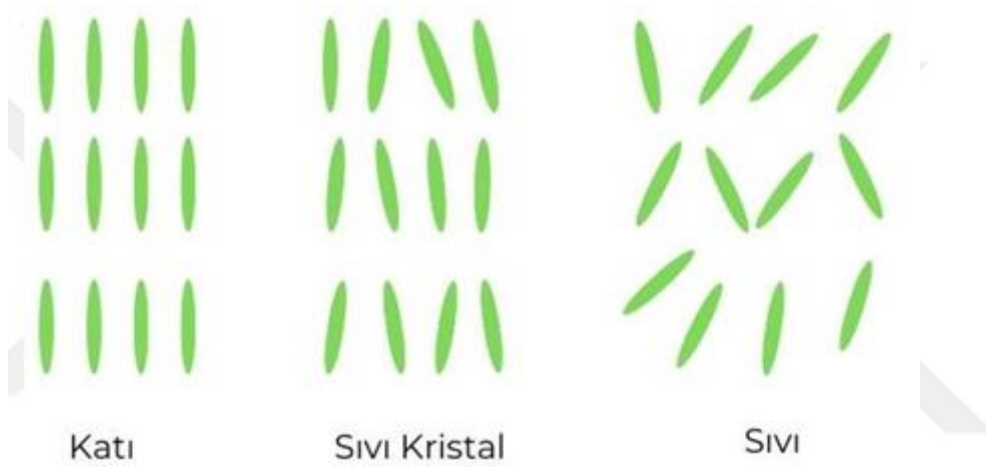
Bu tez çalışmasında, mezojenik olmayan adipik asit (AA), pimelik asit (PA) ve suberik asit (SA) ile 4-heksilbenzoik asit (6BA) ve 4-oktiloksibenzoik asit (8OBA) belirli oranlarda birleştirilerek homojen supramoleküler sıvı kristal kompleksleri elde edilmiştir. Üretilen sıvı kristal komplekslerinin termal, mikroyapısal ve optik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, 8OBA ve 6BA bileşenlerinin etkileri ayrı ayrı ele alınmış ve 6BA/AA gibi 2:1 mol/mol oranında ikili supramoleküler sıvı kristal kompleksleri sentezlenmiştir. Elde edilen bu komplekslerin faz geçiş sıcaklıkları, entalpileri ve faz türleri detaylı olarak incelenmiştir.

1.1. Sıvı Kristaller

Sıvı kristaller, maddenin katı ve sıvı fazları arasında yer alan benzersiz bir geçiş hâlidir. Moleküler düzeyde düzenlenmiş olan bu yapılar, katı kristallerin üç boyutlu düzeni ile izotropik sıvıların düzensizliği arasında bir konumda bulunur ve her iki fazın özelliklerini taşır. Bu yönüyle sıvı kristaller, izotropik sıvıların ve anizotropik katıların özelliklerini bir araya getirirken, sıvılar ve katılar için özel olan bazı niteliklere de sahiptir. Isıtıldıklarında, anizotropik katıdan izotropik sıvıya geçiş sırasında ara aşamalar göstererek kademeli bir dönüşüm gerçekleştirirler. Sıvı kristaller, bu geçiş özelliğiyle maddenin dördüncü bir hâli olarak kabul edilen ara bir durumu temsil eder. Bu özellikleri, sıvı kristallerin gösterdiği büyük çeşitlilik ve uygulama alanlarındaki potansiyeliyle büyük ilgi görmesine ve endüstride yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Sıvı kristallerin modern uygulamalarının kökeni, 18. yüzyılın ortalarından itibaren tanımlanmalarına rağmen, gerçek ilgiyi George Gray'ın siyanobifenil sıvı kristallerini keşfettiği 1970'lerin başında görmüştür (Demus ve ark., 2008). Bu

malzemeler, LCD endüstrisinde kullanılmak üzere gerekli olan tüm özelliklere sahipti ve bundan dolayı ticarileştirildi. Bu gelişme, LCD teknolojisinin gelişmesine ve yaygınlaşmasına öncülük etmiştir.

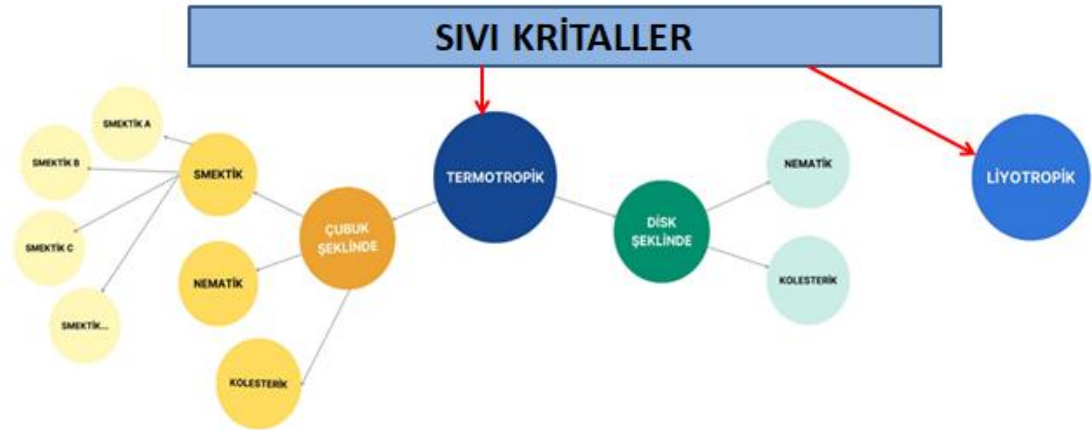
Moleküler yapılarındaki farklılıklar nedeniyle, tüm maddeler katı, sıvı ve gaz olmak üzere farklı hâllere sahiptir. Bu hâller, basınç, sıcaklık ve kimyasal reaksiyonlar gibi çeşitli dış etkenlerin etkisiyle değişim gösterebilir. Şekil 1.1'de yer alan moleküler düzenlemeler, sıvı kristallerin katı ve sıvı aşamalar arasında bir geçiş durumu olduğunu ve her iki hâlin özelliklerini barındıran malzemeler olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır.



Şekil 1. 1. Moleküllerin katı, sıvı ve sıvı kristal fazları (Emek, 2007)

1.2. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristaller, oluşumlarına göre liyotropik ve termotropik olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Mezojen terimi de sıvı kristal terimiyle eş anlamlı olarak kullanılır. Bir bileşiğin hangi sıvı kristal fazına geçeceği, molekülün yapısına bağlıdır. Sıvı kristallerin temel gereksinimi, moleküllerin yüksek derecede şekil anizotropisi göstermesidir; bu da onların disk veya çubuk şeklinde olmalarını sağlar. Bir madde, izotropik sıvı fazına geçmeden önce düzen ve simetri ile karakterize edilir. Termotropik sıvı kristaller, sıcaklığa bağlı olarak faz geçişleri gösterirken, liyotropik sıvı kristaller, çözücünün etkisiyle oluşur. Sıvı kristaller, disk biçiminde (diskotik) ve çubuk biçiminde (kalamitik) olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. (Woltman ve ark., 2007; Barón 2001). Termotropik sıvı kristaller, çubuk ve disk şeklinde olabilirler. Çubuk şeklindeki termotropik sıvı kristaller genellikle smektik, nematik ve kolesterik gibi fazlara ayrılır.



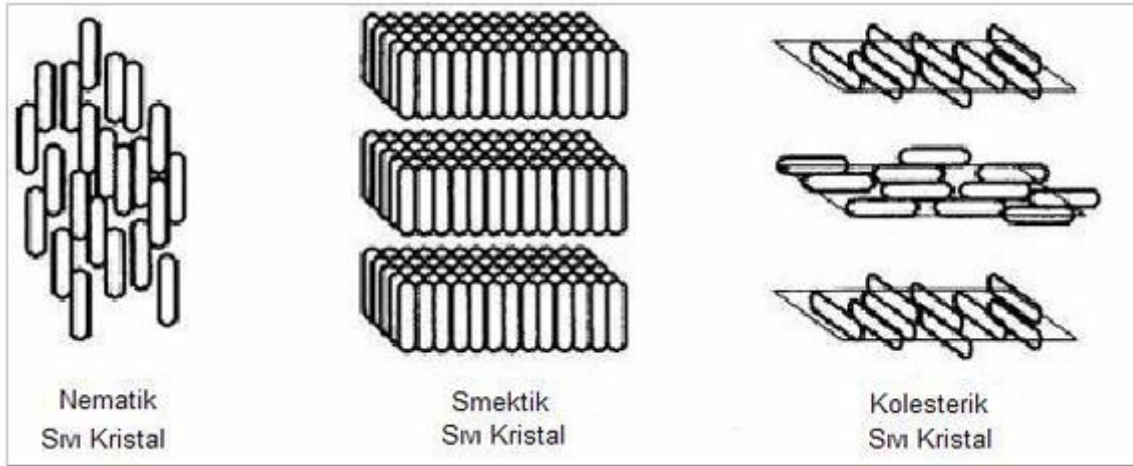
Şekil 1. 2. Sıvı kristallerin gösterimi

1.2.1. Termotropik Sıvı Kristaller

Termotropik sıvı kristaller, belli bir sıcaklık aralığında kristal yapıların ısıtılması ya da izotropik sıvıların soğutulması sonucu oluşur. Bu kristaller çoğunlukla uzun, çubuk şeklindeki moleküllerden oluşur ve genel olarak nematik, kolesterik ve smektik fazlarına ayrılır. Özellikle sıcaklık değişimi ile belirli bir faz geçişi gözlemlenir. Örneğin, 4-n-pentilbenzotio-4'-n-dekzoksibenzoat adlı bileşik, bu özelliklere sahip iyi bir örnektir. Termotropik sıvı kristaller, sıcaklığa bağlı olarak farklı sıvı kristal fazları sergileyerek, doğrusal ve doğrusal olmayan optik özellikler açısından detaylı bir şekilde incelenirler. Bu tür sıvı kristaller, genellikle "sert çubuklar" olarak tasvir edilen moleküler yapılar içerir. Bu rijit çubuklar, birbirleriyle etkileşerek farklı düzenli yapılar oluştururlar. Nematik, kolesterik ve smektik sıvı kristaller, üç ana termotropik sıvı kristal sınıfını oluştururlar. Bu sıvı kristaller, disk biçiminde veya çubuksu moleküllerden oluşabilirler.

Termotropik sıvı kristaller, lineer ve non-lineer optik özelliklerinden ötürü geniş çapta incelenmiş ve pek çok alanda kullanılmaktadır. Isıtıldıklarında, sıvı kristal yapı tek aşamalı bir izotropik sıvıya geçiş yerine, birkaç geçişten geçebilir ve bu geçişler sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu tür kristaller, sıcaklık aralığındaki etkileri sayesinde hem sıvı hem de katı maddelerin özelliklerini bir arada gösterebilir. Sıvı kristaller, akışkanlık özellikleri sergileyen ancak optik ve elektromanyetik özellikler açısından katı anizotropik yapıda olan maddelerdir. Termotropik sıvı kristallerin genellikle aromatik halkalar içeren sert, uzun ve çubuk şeklinde moleküler yapıları bulunur. Bu yapılar, genellikle polar gruplar ve kalıcı dipoller içerir. Dipoller

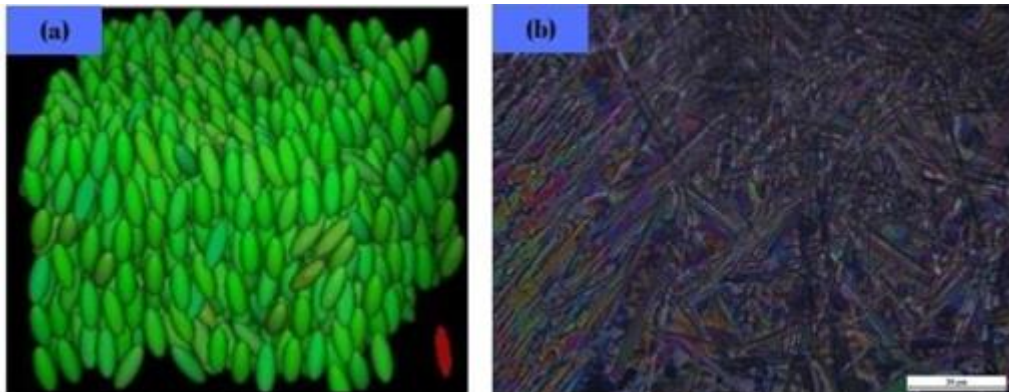
arasındaki çekim kuvvetleri, moleküllerin birbirine yakın ve paralel şekilde dizilmesine yol açar. Hidrojen bağları ve dağılım kuvvetleri bu yapının oluşumuna katkı sağlar. Sıcaklığa bağlı olarak termotropik sıvı kristaller üç ana kategoriye ayrılır: nematik, smektik ve kolesterik sıvı kristaller.



Şekil 1. 3. Sıvı kristal fazları (Ekici, 2014)

1.2.1.1. Smektik Sıvı Kristaller

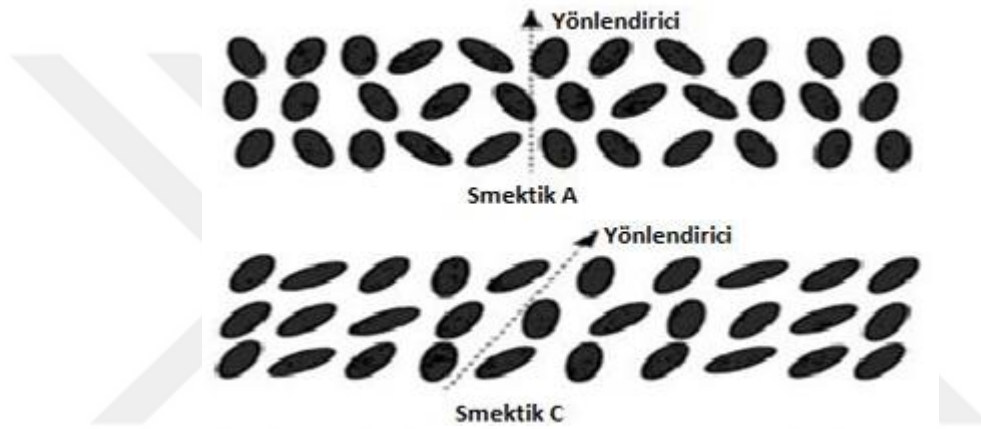
Smektik sıvı kristaller, sıvı kristal sistemlerinin özel bir alt sınıfını oluşturan ve karakteristik olarak moleküllerin düzenli tabakalar halinde hizalandığı bir fazdır. Bu kristaller, sıvı kristal moleküllerinin belirli bir düzen içinde özellikle tabakalar halinde yerleştiği ve birbiri üzerinde serbestçe kaydığı bir yapıya sahiptirler. Bu yapı, sıvı kristal tabakalarının içindeki hareketin sınırlı olduğu, dolayısıyla daha katı bir karakter sergileyen bir ortam oluşturur.



Şekil 1. 4.a) Smektik-sıvı-kristalin yönelimi b) POM görüntüsü (Ekici, 2014)

Smektik sıvı kristallerin özellikleri, moleküllerin tabakalar halindeki düzenine ve bu düzenin moleküler özelliklerine bağlıdır. Örneğin, Smektik-A fazı, moleküllerin katmanlar boyunca belirli bir rastgelelikle düzenlendiği ve uzun eksenlerinin tabaka düzlemine dik olarak hizalandığı bir yapı sergiler. Bu faz, optik açıdan tek eksenli bir yapıya sahiptir.

Smektik sıvı kristaller, genellikle Smektik-A, Smektik-B ve Smektik-C gibi alt fazlara ayrılır. Smektik-B fazında, moleküller smektik katmanlar içinde dikey şekilde hizalanır, Smektik-C fazında ise moleküller tabakalar arasında eğik bir yönelim gösterir. Bu fark, Smektik-C fazının optik olarak iki eksenli bir yapı sergilemesine neden olur. Smektik-A ve Smektik-C sıvı kristallerde moleküler düzen Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1. 5. Smektik-A ve Smektik-C fazları (Khoo, 2007)

Smektik sıvı kristallerin özel özellikleri, endüstriyel uygulamalarda da önemli bir rol oynar. Özellikle smektik fazlar, hızlı elektro-optik tepki sürelerine sahip olduğu için sıvı kristal ekranların (LCD'lerin) üretiminde nematik sıvı kristallerle birlikte kullanılırlar. Smektik sıvı kristallerin moleküler düzeni, elektronik ekranlarda görüntü kalitesini artırmak için tasarlanan piksellerin kontrolünde kritik bir rol oynar. Bu bağlamda, smektik sıvı kristallerin moleküler yapıları ve düzenlerinin anlaşılması, sıvı kristal teknolojisinin geliştirilmesi ve endüstriyel uygulamaların ilerlemesi için temel bir öneme sahiptir. Smektik sıvı kristallerin farklı alt fazlarının özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi, gelecekte daha gelişmiş ve verimli sıvı kristal tabanlı teknolojilerin geliştirilmesine olanak tanır.

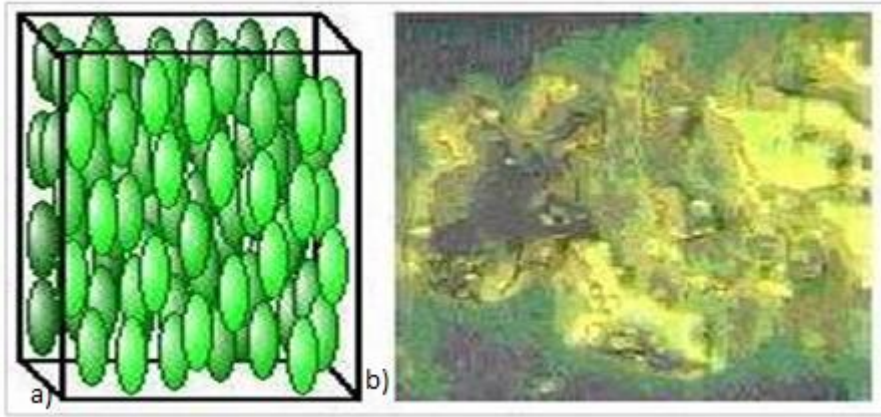
1.2.1.2. Nematik Sıvı Kristaller

Nematik sıvı kristaller, sıvı kristalin en temel ve basit fazını oluşturur. Bu faz, moleküllerin düzenli bir konuma sahip olmadığı ancak genel olarak aynı yöne hizalandığı bir yapıya sahiptir. Moleküler düzende belirli bir sıra olmasa da, moleküllerin aynı yöne doğru eğilim göstermesi, nematik fazı saf bir sıvıdan ayıran önemli bir özelliktir. Mikroskop altında incelendiğinde, nematik sıvı kristaller iplik benzeri bir yapı gösterirler. Bu özellik, araştırmacıların teleskop merceklerinde atmosferik türbülansla mücadele ederken net bir görüntü elde etmelerini sağlar (Naradikian, 2004).

Nematik faz, sıvı kristal biliminin en yaygın ve incelenen mezofazlarından biridir. Teknolojik açıdan, sıvı kristallerin ikili doğasını en iyi şekilde gösterirler ve birçok uygulamanın temelini oluştururlar. Bu uygulamalar arasında elektronik ekranlar, optik cihazlar ve sensörler bulunmaktadır. Ayrıca, sıvı kristalik biyomoleküllerin oluşumunda da önemli bir rol oynarlar. Özellikle smektik ve kolesterik fazlarla birlikte, canlı organizmalardaki yapısal ve işlevsel süreçlerde önemli bir gereklilik oluştururlar (Irana, 2020).

Nematik sıvı kristallerin düşük seviyedeki dış uyaranlara (sıcaklık, elektrik, moleküler adsorbanlar) hızlı tepki verebilme yetenekleri, kimyagerler, fizikçiler ve elektrik mühendisleri gibi uzmanlar arasında entelektüel iş birliğini desteklemiştir. Bu iş birliği, polimerler, kolloidler ve yüzey aktif maddeler gibi yeni malzemelerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Karapınar, 1996).

Smektik sıvı kristaller, tabakalı bir yapı sergiler ve nematik fazlara kıyasla daha yüksek bir düzen sağlarlar. Smektik fazdaki moleküller, nematik fazda olduğu gibi yönelimsel bir düzene sahiptir, ancak bu moleküller aynı zamanda katmanlar veya düzlemler oluşturacak şekilde konumlanır. Smektik-A ve Smektik-C fazları, farklı tabaka yapıları ve optik özellikler sunar. Smektik sıvı kristaller, nematik fazların sahip olduğu gibi uzun menzilli bir düzene sahip değildir; moleküllerin kütle merkezleri ise üç boyutta izotropik olarak dağılmıştır. Bu yüzden Şekil 1.6'da gösterildiği üzere, nematik fazlar, uzun mesafeli konumsal düzene sahip olmayıp smektik fazlar kadar düzenli bir moleküler yapı sergilemezler.

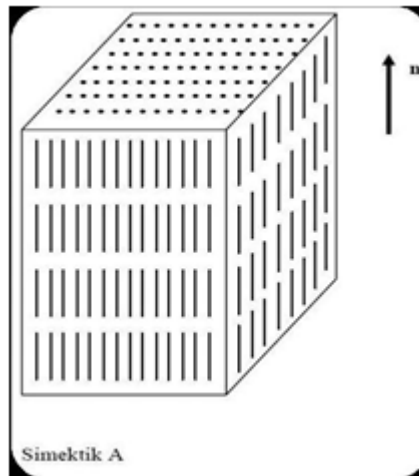


Şekil 1. 6. a) Nematik fazın şematik gösterimi, b) nematik sıvı kristalin fotoğrafı (Değirmenci 1996)

1.2.1.3. Smektik-Nematik Faz Farkı

Smektik sıvı kristaller, katmanlı bir yapıya sahip olup nematik fazlara kıyasla daha düzenli bir yapı sunarlar. Smektik fazda, moleküller hem yönelim hem de konumsal düzen göstererek katmanlar veya düzlemler oluşturacak şekilde dizilirler. Smektik-A fazının başlıca özellikleri şunlardır:

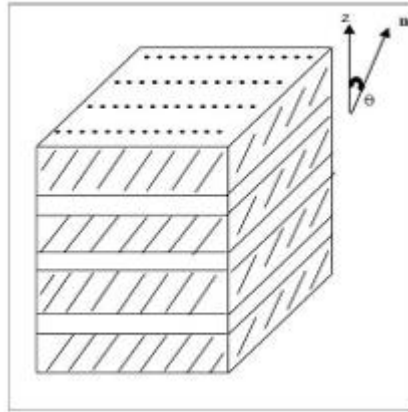
- Katmanlı yapılarıyla iki boyutlu kristalleri andırırlar,
- Moleküllerin kütle merkezleri bir katman içinde yer alır ve bu katmanların kalınlığı, moleküllerin uzunluklarına yakın bir değerdedir,
- Şekil 1.7’de gösterildiği üzere, moleküllerin yönelimini belirleyen vektör, katmanlara dik bir doğrultuda hizalanmıştır,
- Smektik-A fazları genellikle tek eksenli olup, optik eksen katmanlara dik bir doğrultuda yer alır.



Şekil 1. 7. Smektik-A fazına sahip bir sıvı kristal malzeme yapısı (Ekici, 2014)

Şekil 1.8’de gösterildiği üzere, Smektik-C fazının temel özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Katmanlı bir yapıya sahip olup iki boyutlu kristallere benzerler,
- Moleküllerin kütle merkezleri bir katman içinde bulunur ve katmanların kalınlığı moleküllerin uzunluğundan daha kısadır,
- Moleküllerin yönelim vektörü, katmanlara dik olan vektöre göre ω açısı ile eğimlidir,
- Smektik-C fazları optik olarak iki eksenlidir.



Şekil 1. 8. Smektik-C fazına sahip bir sıvı kristal malzeme yapısı (Ekici, 2014)

Nematik sıvı kristaller, moleküllerin farklı yönlerde ve aralıklarda yerleşmesine rağmen genel bir hizalanma gösterdiği bir yapıdadır. Nematik faz, termotropik sıvı kristal fazları arasında sıcaklık etkisiyle izotropik sıvıya en yakın olanıdır ve düzensiz yapısıyla en az yönelimsel düzene, en yüksek simetriye sahip faz olarak kabul edilir. Nematik fazda, smektik fazların aksine, moleküllerin kütle merkezlerinin uzun menzilli bir düzeni bulunmaz ve bu merkezler üç boyutta izotropik şekilde dağılır.

Nematik sıvı kristallerin başlıca özellikleri şu şekildedir:

- Yapı katmanlı değildir ve moleküllerin kütle merkezlerinin yerleşimi rastlantısaldır,
- Moleküllerin kütle merkezleri uzun menzilli bir düzen göstermez,
- Uzun menzilli düzen, moleküllerin yönelimsel hizalanmasına bağlıdır,
- Nematik fazlar optiksel olarak tek eksenli olup, optik eksen moleküllerin yönelimi doğrultusunda hizalanır,
- Optiksel olarak aktif moleküller eklenerek nematik fazlar kiral kolesterik yapıya dönüştürülebilir.

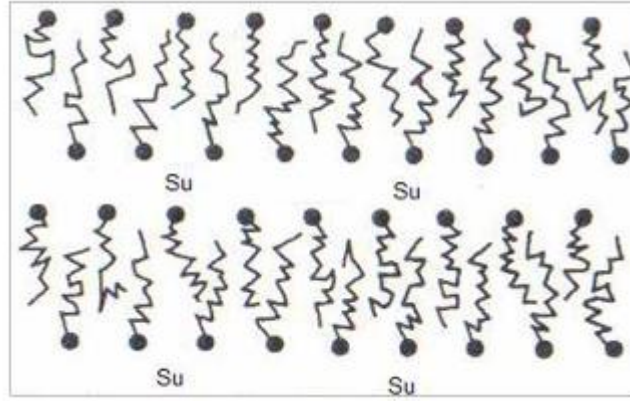
Bu kristallerin önemi, uçak gövdelerindeki yüzey kusurlarının tespitinden, mikro yapıli elektronik sistemlerdeki hataların belirlenmesine ve sağıık alanında hastalıklı dokuların teşhis edilmesine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir (Emek, 2007).

Kolesterik sıvı kristallerin bu özellikleri, birçok endüstriyel ve bilimsel alanda çeşitli uygulamalar için potansiyel sunmaktadır. Bunlar arasında malzeme bilimi, elektronik, tıp ve endüstriyel üretim gibi alanlar bulunmaktadır. Bu nedenle, kolesterik sıvı kristallerin yapısı, özellikleri ve potansiyel uygulamaları üzerine yapılan araştırmalar, bilimsel ve teknolojik ilerlemenin önemli bir parçasını oluşturur.

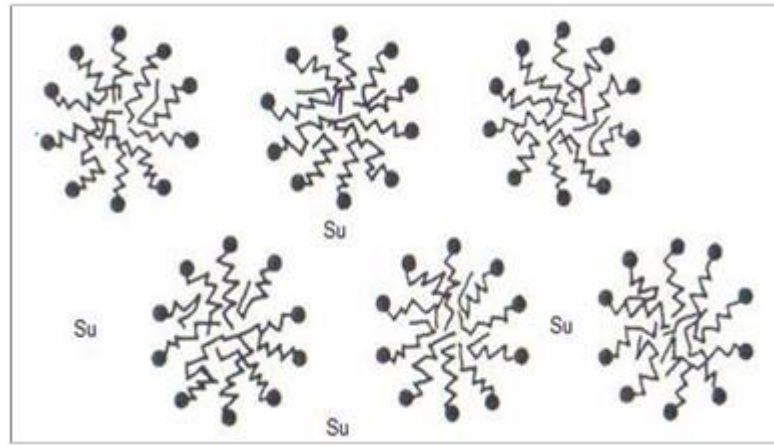
1.2.2. Liyotropik Sıvı Kristaller

Liyotropik sıvı kristaller, belirli maddelerin uygun çözücülerde belirli konsantrasyonlarda çözünmesiyle meydana gelen yapılardır. Bu kristallerin oluşumu, çözücü konsantrasyonuna bağılı olarak değışiklik gösterir ve genellikle amfifilik moleküllerden oluşur. Amfifilik moleküllerin bir tarafı hidrofobik (su ile etkileşmeyen), diğier tarafı ise hidrofilik (su ile etkileşen) bir yapıdadır. Bu moleküller hem polar hem de polar olmayan bileşenlere sahiptir ve çözücü olarak çoğunlukla su kullanılır (Yang et al., 2006).

Liyotropik sıvı kristaller, canlı yapılarında ve dokularında bol miktarda bulunurlar ve yapıları oldukça karmaşıktır. Bu yapılar, biyolojik araştırmalarda büyük ilgi çekerken, aynı zamanda bilim insanlarının ve endüstriyel sistemlerin dikkatini de çekmektedirler. Liyotropik sıvı kristallerin oluşturduğu faz, organik bileşiklerin çeşitli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir ve sıcaklık yerine bileşiklerin konsantrasyonları önemlidir. Örnek olarak, sodyum dodesil sülfat (sabun), su içinde bulunan bir liyotropik sıvı kristaldir. Suyun miktarı arttıkça, sabunun yapısında ara fazlar oluşabilir. Bu yapılar, günümüz teknolojisinde ve çeşitli endüstriyel alanlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 1.10 ve 1.11’da dodesil sülfat fazları gösterilmektedir.



Şekil 1. 10. Sabunun lameller fazı (Colling, 2001)



Şekil 1. 11. Sabunun hegzagonal fazı (Colling, 2001)

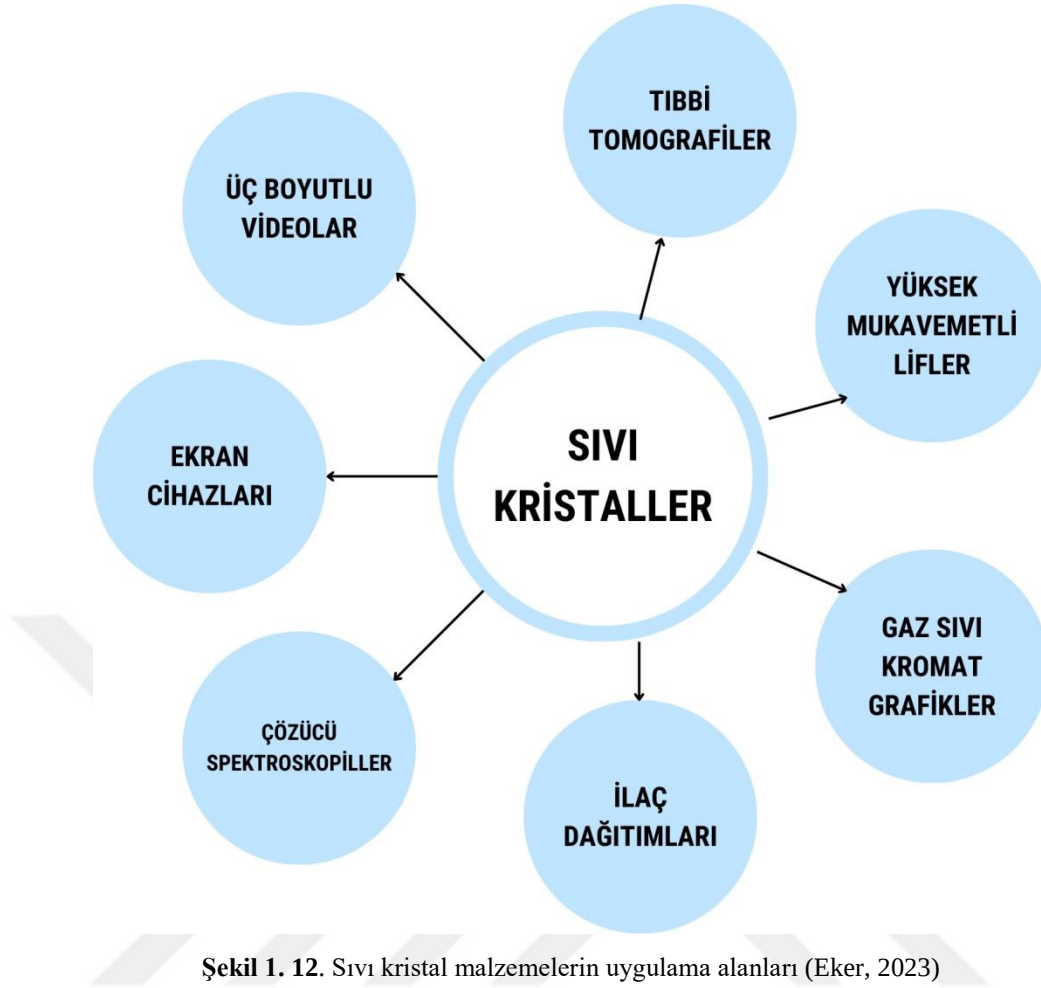
Liyotropik sıvı kristallerin çeşitli endüstriyel uygulamalardaki kullanım potansiyeli, araştırmacıların ve endüstriyel sistemlerin bu alandaki ilgisini artırmaktadır. Bu kristallerin özellikleri ve yapıları üzerine yapılan araştırmalar, yeni uygulamaların geliştirilmesine ve mevcut teknolojilerin iyileştirilmesine olanak sağlar. Bu nedenle, liyotropik sıvı kristallerin yapıları, özellikleri ve uygulamaları hakkında daha fazla araştırma ve keşif yapılması önemlidir.

1.3. Sıvı Kristallerin Kullanım Alanları

Sıvı kristaller, dış etkilere son derece duyarlı olmalarıyla bilinirler; basınç, sıcaklık, elektrik alan, yabancı gazlar ve manyetik alan gibi faktörler sıvı kristallerin davranışlarını etkileyebilir. Bu özellikleri, sıvı kristallerin geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlamıştır. Özellikle 1960'lardan 1970'lere kadar olan dönemde, sıvı

kristalografi alanındaki hızlı gelişmeler, görüntüleme teknolojilerini hem uygulamalı hem de temel araştırmalar açısından büyük ölçüde ilerletmiştir (Nagham ve ark., 2021). Bu gelişmelerin sonucunda, LCD ekranlar gibi teknolojilerin kullanım alanı giderek genişlemiş ve günümüzde masaüstü monitörlerden geniş ekranlı televizyonlara kadar yaygınlaşmıştır. Bu görüntüleme sistemleri, tüketicilerin yanı sıra modern tıbbi teşhis ve görüntüleme sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıvı kristallerin düzenlenme derecesi, özellikle görüntüleme sistemlerinde önemli bir role sahiptir. Konumsal düzenleme, moleküllerin ortaya çıkma derecesini belirtirken, yönlendirme düzenlemesi ise parçacıkların hizalanma eğilimini ifade eder (Nagham ve ark., 2021). Tıp ve teknoloji alanlarında, sıvı kristallerin kullanımı özellikle görsel incelemeye dayalı biyolojik ve tıbbi uygulamalarda yaygındır. Optik bileşenlerde kullanılan sıvı kristal malzemelerin elektrooptik özellikleri, bu alanlarda daha iyi performans sağlamak için sürekli olarak geliştirilmektedir. Biyomedikal cihazlarda, sıvı kristal ayarlanabilir filtreler ve uzamsal ışık düzenleyicileri gibi teknolojiler sıkça kullanılmaktadır.

Sıvı kristaller, biyosensörler ve optik teşhis cihazlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle sıvı kristal malzemelerin yüzeydeki reaksiyonlara karşı gösterdiği yüksek hassasiyet, bu cihazlar için büyük bir avantaj sunar. Optik sensörlerde sıvı kristallerin kullanılması, işaretleyicilere duyulan ihtiyacı ortadan kaldırarak sinyallerin görsel olarak daha net bir şekilde görünmesini sağlar. Bu özellikleri sayesinde sıvı kristaller, ekran teknolojilerinden termal görüntüleme sistemlerine kadar pek çok farklı uygulamada kullanılmaktadır. Sıvı kristal araştırmaları, birçok hayati alanda yeni gelişmelere ve uygulama alanlarına öncülük etmiştir (Nagham ve ark., 2021). Bu alandaki temel bilim çalışmaları, sıvı kristal teknolojisinin sürekli olarak gelişmesine ve yenilikçi kullanım alanlarına yönelik arayışlara ilham vermektedir. Genel kullanım alanları Şekil 1.12’de verilmiştir.



1.4. Sıvı Kristal Karışımlar

Sıvı kristaller (LC'ler), anizotropik viskoelastik özelliklere sahip yumuşak maddelerdir ve elektro-manyetik alanlar, sıcaklık, pH gibi faktörlere karşı duyarlıdırlar. Bu özellikleri sayesinde biyolojik sistemlerde ve teknolojik cihazlarda yaygın kullanım alanı bulurlar. Nematik (N) faz, en basit sıvı kristal fazıdır, ancak çoğu uygulamada sıvı kristaller, polimerler veya nanopartiküller gibi diğer malzemelerle karıştırılarak kullanılır. Örneğin, görüntüleme teknolojilerinde, farklı sıvı kristal karışımları kullanılarak sıcaklık aralığı ayarlanabilir ve yanıt süreleri iyileştirilebilir (Eker, 2023).

1.4.1. Polimer-Sıvı Kristal Karışımları

Farklı polimer katkılı sıvı kristaller (PDLC) türlerinin faz diyagramları birkaç araştırma grubu tarafından incelenmiştir. Termoplastik polimerlerle karıştırılmış sıvı kristal, Maier-Saupe / Flory Huggins teorileri ile tanımlanan bir faz diyagramı tipini

oluşturur ((Matsuyaman ve ark., 1996). Faz diyagramlarında, bazen belirli bir LC konsantrasyonu için sistemin her sıcaklıkta nematik fazda olduğu bir "baca" görülebilir. Bu, polimerlerin sıvı kristal faz özelliklerini değiştirdiği anlamına gelir. Polimer katkılı sıvı kristal karışımları, bu değişikliklerle birlikte çeşitli ilginç özelliklere sahip olabilir (Das ve Rey, 2004).

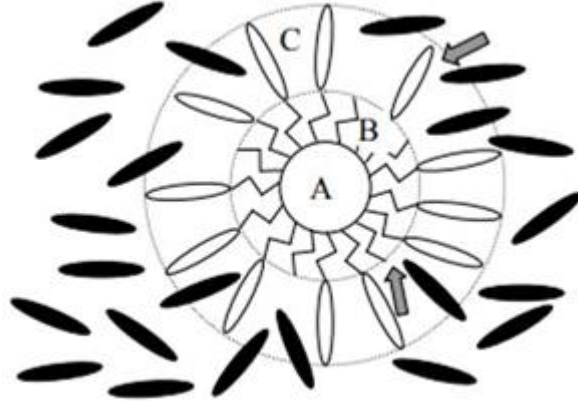
Özellikle, polimer malzemenin sıvı kristal malzemeye katılmasıyla oluşan bu karışımlar, PDLC'lerin dikkat çekici özellikleri ile bilinir. Bu özellikler, malzemenin çeşitli uygulama alanlarında kullanılmasını sağlar ve araştırmacıların malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini daha iyi anlamalarına yardımcı olur (Das ve Rey, 2004).

1.4.2. Sıvı Kristal Karışımlar

İki sıvı kristal karışımında, her bir sıvı kristale ait iki izotropik-nematik geçiş bulunur ve bu geçişler bileşenler arasındaki etkileşimler ile TNI asimetrisi tarafından belirlenir (Golmohammadi ve Rey, 2009). İdeal karışımlarda TNI sıcaklığı, TNI1 ve TNI2'nin doğrusal interpolasyonu ile hesaplanırken, sapmalarda azeotropik veya ötektik davranış görülebilir. Elektrooptik uygulamalar için geniş bir sıcaklık aralığında nematik özellikler sergileyen sıvı kristaller tercih edilir. Moleküler yapıdaki değişiklikler ve hidrojen bağları ile yeni sıvı kristal bileşenler üretilebilir (Okumuş ve Sunkur, 2019).

1.4.3. Nanopartikül Katkılı Sıvı Kristaller

Nematik fazda bulunan koloidal parçacıklar, elastik bozulmalara ve topolojik kusurların oluşmasına neden olur, bu da serbest enerjiyi artırarak TNI sıcaklığını düşürür (Kim et al., 2004). Mikron boyutlu parçacıklarda elastik etkiler serbest enerjide baskınken, nano boyutlu parçacıklarda karıştırma entropisi ve entropik kristalleşme ön plana çıkar. Nanopartikül katkılı sıvı kristaller (NPLC) için faz diyagramları Soulé ve ark. tarafından modellenmiş ve iki birinci dereceden geçiş göz önüne alınmıştır: LC'nin nematik sıralaması ve parçacıkların koloidal kristalleşmesi. İzotropik-nematik geçiş, parçacık yarıçapına bağlı olarak değişir ve büyük parçacıklar TNI sıcaklığını saf sıvı kristal değerine yaklaştırır (Ezequiel et al., 2012).



Şekil 1. 13. Nanopartikül katkılı sıvı kristaller şematik gösterimi

Nanopartikül katkılı sıvı kristal karışımlara bir örnek, Eskalen'in (2013) "Nanoparçacık katkılı nematik sıvı kristallerin optiksel ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi" başlıklı yüksek lisans çalışmasıdır. Bu çalışmada, E7 sıvı kristaline altın ve çinko oksit nanoparçacıklar eklenmiş ve bu katkıların sıvı kristalin özelliklerini iyileştirerek endüstriyel kullanımlar için avantaj sağladığı belirtilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sıvı kristaller, kendilerine özgü fiziksel özellikleri ve geniş uygulama alanlarıyla bilim dünyasında ve endüstride büyük ilgi uyandıran önemli malzemelerdir. Bu malzemeler, sıvı ve katı arasında bulunan benzersiz bir fiziksel durumu temsil ederler ve özellikle ekran teknolojisi, optoelektronik cihazlar, sensörler, ve biyomedikal uygulamalar gibi alanlarda geniş bir kullanım potansiyeline sahiptirler.

Sıvı kristallerin özelliklerini ve davranışlarını anlamak, onların pratik uygulamalarını optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, sıvı kristallerin yapısal, termodinamik ve optik özelliklerini incelemeye yönelik araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu araştırmalar, sıvı kristallerin moleküler düzeydeki davranışını anlamak, yeni sıvı kristal malzemelerinin tasarımını ve sentezini yönlendirmek ve mevcut teknolojilerin geliştirilmesine katkıda bulunmak amacıyla yapılmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı, sıvı kristallerin temel özellikleri, farklı fazları ve uygulamaları hakkında kapsamlı bir literatür taraması yapmaktır. Bu literatür taraması, sıvı kristallerin moleküler yapılarından, faz geçişlerine, karakterizasyon yöntemlerinden, uygulama alanlarına kadar geniş bir yelpazede bilgi sunmayı hedeflemektedir. Bu şekilde, sıvı kristallerin daha derinlemesine anlaşılmasına ve gelecekteki araştırmalara yol gösterecek önemli bilgilerin derlenmesine katkıda bulunulacaktır.

Rajanandkumar ve ekibinin çalışmasında, suberik asit ve p-n-alkil benzoik asitlerin hidrojen bağlarıyla oluşturduğu HBLC serisi karakterize edilmiştir. Mezojenik asitler, lineer tamamlayıcı hidrojen bağlarıyla bir homolog oluşturmuş ve suda çözünmez, ancak DMSO ve piridin gibi koordinat çözücülerde yüksek çözünürlük göstermişlerdir. Bu mezojenler, 116.5°C'nin altındaki sıcaklıklarda erir ve termal taramalarda termal ve kimyasal kararlılık sergiler. Optik mikroskop ve DSC çalışmaları ile faz geçişleri ve entalpi değerleri incelenmiş, FTIR analizleri de yapılmıştır.

Rajanandkumar ve ekibi, benzoik asit ve SA + 4BA kompleksini DSC termogramıyla incelemiş ve ısıtma aşamasında üç endotermik tepe noktası tespit etmişlerdir. Ayrıca, soğutma sırasında dört pik gözlemlemişlerdir (Rajanandkumar ve ark., 2013).

Okumuş'un yaptığı çalışmada, 6BA, 8OBA ve 10OBA karışımlarının termal ve sıvı kristal davranışları üzerine 4-oktiloksi-4'-siyanobifenil (8OCB) sıvı kristalinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) ve polarize optik

mikroskobu (POM) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, yeni kompleks karışımların saf sıvı kristal özelliklerini sergilediğini göstermektedir. Hazırlanan tüm karışımların morfolojik yapılarının smektogenik ve nematik mezofaz olduğu belirlenmiştir. 8OCB eklenmesiyle üretilen yeni karışımın nematik aralığının, hem saf 8OCB'nin hem de 6BA/8OBA/10OBA karışımının nematik alanlarından daha büyük olduğu bulunmuştur. Ayrıca, kompleks karışımda 8OCB'nin ağırlık oranının artmasıyla nematik-izotropik geçiş sıcaklığının azaldığı gözlemlenmiştir. Isıtma oranı arttıkça, kompleks karışımın faz geçiş sıcaklığı ve entalpi değişimi değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Hesaplanan aktivasyon enerjisi, yeni kompleks karışımların iyi bir nematik termal stabiliteye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, hidrojen bağlarının önemli rol oynadığı sıvı kristal özelliklerine odaklanarak, farklı bileşenlerin karışımlarının termal ve optik özelliklerini belirlemiştir. Bu tür araştırmalar, sıvı kristal malzemelerin çeşitli uygulamalarında kullanılmalarını daha etkin hale getirebilir (Okumuş, 2017).

Eskalen ve ekibinin 2019 yılında yaptığı çalışmada, E7 nematik sıvı kristal karışımı, heksilsiyano bifenil (6CB) ve heksil benzoik asit (6BA) kullanılarak yeni bir sıvı kristal karışım kompleksi tasarlanmış ve sentezlenmiştir. Bu kompleksin termal ve morfolojik özellikleri DSC ve POM ile araştırılmıştır. DSC ve POM sonuçları, sıvı kristal komplekslerinin smektik ve nematik fazlarla sıvı kristal özellikleri sergilediğini göstermektedir. E7 oranı %80 olduğunda, karışım kompleksi en geniş nematik aralığa sahip olup E7 özelliklerini sergilemektedir. E7 ağırlık oranı %80'den düşük olduğunda, hidrojen bağlarının oluşmasıyla mezenjik fazların sayısı artmakta ve nematik aralık azalmaktadır. Elde edilen örneklerin elektriksel özellikleri, empedans spektroskopisi tekniği ile ölçülmüştür. Örneklerin birefringans ve kontrast oranı da ışık geçirgenliği deneyi yardımıyla incelenmiştir. Sıvı kristaller (LC'ler), uzun yönlendirme düzenine sahip bir sıvı ve bir kristal arasında fonksiyonel yumuşak malzemelerdir. LC'ler, teknolojiye ve LC ekranları, akıllı telefonlar, PC'ler, tabletler, optik ve biyolojik sensörler gibi uygulamalarda potansiyel taşıyan önemli malzemelerdir. LC malzemelerinin termal, elektro-optik özellikleri genellikle iki farklı yaklaşımla ayarlanabilir: Yeni LC malzemelerinin sentezi veya nano yapıların ve/veya polimerlerin ve/veya boyaların LC'lere dağıtılması (yatırma, doplama) ile LC'lerin elde edilmesi, iki temel alternatif yoldur. Bu çalışmanın amacı, E7 nematic LC karışımı, 6CB ve 6BA kullanılarak yeni bir LC karışımının termal, morfolojik, dielektrik ve birefringans özelliklerini incelemektir. Sonuçlar, elde edilen LC komplekslerinin sıvı kristal

özelliklerini sergilediğini ve önemli özelliklerini koruduğunu göstermektedir (Eskalen ve ark. 2019).

Bir diğer çalışmada Sunkur ve Okumuş (2019), 8OBA ve ADA ikilisinin hidrojen-bağlı kompleksi olan yeni bir sıvı kristalin termal özellikleri ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Sentezlenen kompleksin kimyasal yapısı ATR-IR ve ¹H-NMR ile raporlanmıştır..

Sünkür ve Okumuş (2019), 8OBA/ADA sıvı kristal kompleksinin ısıtma ve soğutma sırasında faz geçişleri gösterdiğini belirtmiştir. Smektik C fazı sadece soğutma esnasında gözlenmiştir. Faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri ısıtma sırasında daha yüksek, nematik alan ise daha düşük bulunmuştur. Isıtma hızı arttıkça, faz geçiş sıcaklıkları artmış, entalpi değerleri azalmıştır. POM sonuçları, DSC ile uyumlu olup benzer faz geçiş sıcaklıklarını göstermiştir. Ayrıca, faz geçişlerinin aktivasyon enerjileri hesaplanmış ve sıralı bir artış gözlenmiştir (Sünkür ve Okumuş, 2019).

Bir diğer çalışmada Okumuş (2017), 8OCB, 4-heksilbenzoik asit, 4-oktiloksi benzoik asit ve 4-desiloksi benzoik asit sıvı kristallerinden farklı ağırlık oranlarında (1:1:1:1 ve 1.5:1:1:1) oluşan dörtlü karışımlarının termal ve optik özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve polarize optik mikroskop (POM) ile incelenmiştir. DSC deneylerinde ölçülen yeni dörtlü karışımlarının faz geçiş sıcaklıkları, POM deneyleriyle uyumludur. Deneyisel sonuçlar, yeni sıvı kristal karışımlarının saf sıvı kristalik özellikler sergilediğini açıkça göstermektedir. DSC sonuçlarından çıkarılan faz diyagramına göre, yeni karışımın eutetik noktasındaki nematik aralık bileşenlerin nematik aralıklarından daha büyüktür. Üretilen homolog kompleks karışımlarının mezomorfik yapılarının smektik ve nematik fazlar olduğu bulunmuştur. Ancak smektik faz, yeni kompleks 1.5:1:1:1 karışımında sürekli soğutma sırasında gözlemlenememiştir. 8OCB'nin miktarının artmasıyla yeni kompleks 1.5:1:1:1 karışımının nematik aralığı 8OCB'nin artmasıyla birlikte artmaktadır. Ayrıca, nispeten düşük sıcaklıklarda üretilen karışımların bir tıbbi krem gibi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, faz geçişlerinin düzen parametreleri ve termal kararlılık faktörleri de hesaplanmıştır (Okumuş, 2017).

Okumuş ve ekibi (2019), para-azoxyanisole (PAA) ve 4-heksilbenzoik asit (6BA) arasında bir supramoleküler sıvı kristal kompleks oluşturmuş ve bu kompleksin termal ve mikroyapısal özelliklerini DSC, POM ve XRD ile incelemiştir. FTIR analizleri, PAA ve 6BA arasında hidrojen bağlarının oluştuğunu doğrulamıştır. XRD, kompleksin ortorombik yapıda olduğunu göstermiştir. DSC ve POM sonuçları,

kompleksin Cr/N/I ve I/N/SmA/Cr faz geçişlerini sergilediğini ortaya koymuştur. Isıtma hızının faz geçiş sıcaklıkları üzerindeki etkisi araştırılmış ve hız arttıkça sıcaklıkların yükseldiği gözlenmiştir. Aktivasyon enerjileri Kissinger, Ozawa ve Takhor yöntemleriyle hesaplanmış, faz geçişlerinin düzenli olduğu bulunmuştur (Okumuş ve ark., 2019).

Birdiğer çalışmada Okumuş (2019), 4-oktiloksi benzoik asit (8OBA) ve bazı non-mezojenik dikarboksilik asitlerden $\{HOOC(CH_2)_nCOOH, n = 4, 7 \text{ ve } 8\}$; sentezlenen hidrojen bağlı sıvı kristal kompleksler; ADA/8OBA ($n = 4$, Adipik asit), AZA/8OBA ($n = 7$, Azelaik asit) ve SEA/8OBA ($n = 8$, sebasik asit) olarak adlandırılır. İkili sıvı kristal sistemlerinin termal ve mikroyapısal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve polarize optik mikroskopi (POM) ile araştırılmıştır. 8OBA ve dikarboksilik asit arasında oluşan hidrojen bağı, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi (FTIR) testi ile doğrulanmıştır. Isıtma ve soğutma DSC taramaları sırasında faz sıralamasını göstermek için dört faz geçiş pikinin görüldüğü gözlenmiştir. Benzer faz dizisi POM tarafından da gözlemlenmiştir. Isıtma hızının faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değişiklikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Isıtma hızı arttıkça, faz geçiş sıcaklığı ve pik yüksekliklerinin arttığı, ancak entalpinin genellikle azaldığı görülmüştür. Termal kararlılık faktörü ve entropi değişiklikleri hesaplanmıştır. Fazlar ve geçişlerin düzenli termal sırayı takip ettiği bulunmuştur. SEA/8OBA, ADA/8OBA ve AZA/8OBA supramoleküler mezogen komplekslerinin hidrojen bağı etkileşimi içerdiği sentezlenebilir. Mezojenik 8OBA ve non-mezojenik ADA, AZA ve SEA arasındaki hidrojen bağları FTIR ile doğrulanabilir.

Sentezlenen sıvı kristal komplekslerinin termal ve doku özellikleri POM ve DSC teknikleri ile araştırılabilir. Deneysel sonuçlar, HBLC'lerin SmG, SmC ve N tipi LC fazlarını sergilediğini göstermektedir. Farklı hızlarda ısıtma taramaları sırasında faz sıralamasının aynı kaldığı, ancak faz geçiş sıcaklıklarının değiştiği görülmüştür. Faz geçiş pik sıcaklıklarının ve pik yüksekliklerinin arttığı ve entalpinin arttığı ısıtma hızının artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir. SEA/8OBA kompleksi için termal kararlılık faktörü, maksimum nematik faz kararlılığını işaret etmektedir. Kristal-smektik G, smektik G-smektik C, smektik C-nematik ve nematik-izotropik geçişlerin birinci dereceden olduğu bulunmuştur (Okumuş, 2019).

Okumuş ve Dindar'ın yaptığı çalışmada, saf mezojenik 4-(oktiloksi)benzoik asit (8OBA) ve mezojenik olmayan n-aminobenzoik asit (nABA, $n = 3, 4$) kimyasallarından yeni bir hidrojen bağlı sıvı kristalin ikili kompleks sistemi sentezlenmiştir. Sentezlenen

örneklerin termal özelliklerini incelemek için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) deneyleri yapılmış ve mezojenik faz dokularını incelemek için polarize optik mikroskopi (POM) deneyleri yapılmıştır. DSC ve POM sonuçları, sürekli ısıtma ve soğutma döngüsü sırasında faz diziliminin $Cr \leftrightarrow SmA \leftrightarrow SmC \leftrightarrow N \leftrightarrow I$ olduğunu göstermiştir. Ayrıca, DSC verileri kullanılarak termal kararlılık faktörü, faz geçiş entropisi ve faz geçiş aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere göre, sentezlenen komplekslerin mezojenik fazlarının düzenli olarak meydana geldiği ve en kararlı fazın SmC fazı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, SmC fazı için optik eğim açısı değeri ölçüldü ve bu değerin 8OBA/4ABA ve 8OBA/3ABA kompleksleri için sırasıyla 29° ve 30°'ye kadar arttığı görülmüştür. Sentezlenen mezojenik yapının içinde mezojenik ve mezojenik olmayan moleküller arasında hidrojen bağlarının olduğu FTIR ile doğrulanmıştır. Ayrıca, XRD sonuçları, sentezlenen hidrojen bağlı 8OBA/4ABA ve 8OBA/3ABA ikili komplekslerin moleküler diziliminin katı fazda monoklinik bir yapıda olduğunu göstermiştir. Hidrojen bağlı 8OBA/3ABA ve 8OBA/4ABA mezojenik kompleksler sentezlenmiştir. Sıvı kristalin özelliklerini veren mezojenik ve mezojenik olmayan moleküller arasında hidrojen bağlarının oluşumu, FTIR analizi ile doğrulanmıştır ve XRD ile moleküler yönelimin kristalin yapısının monoklinik doğası olduğu belirlenmiştir. 8OBA/4ABA ve 8OBA/3ABA komplekslerinin, XRD desenlerinde maksimum yoğunlukla keskin bir tepe gösteren 5,77 Å ve 5,84 Å bazal mesafeye sahip olduğu görülmüştür. POM ve DSC sonuçları, sentezlenen hidrojen bağlı komplekslerin mezojenik smektik (SmA ve SmC) ve nematic (N) fazlara sahip olduğunu ve faz diziliminin sürekli ısıtma ve soğutma döngüsü sırasında $Cr \leftrightarrow SmA \leftrightarrow SmC \leftrightarrow N \leftrightarrow I$ olduğunu göstermiştir. Ayrıca, farklı ısıtma hızları arasında 5 °C ile 20 °C arasında farklı ısıtma hızlarında ikili kompleksler ısıtıldığında, faz geçiş sıcaklıklarının hafifçe arttığı ancak faz diziliminin değişmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, DSC verileri kullanılarak hesaplanan termal kararlılık faktörü ve faz geçiş entropisi değerlerine göre, sentezlenen mezojenik SmC fazının en kararlı olduğu, SmC-N faz geçişinin ikinci sırada gerçekleştiği ve diğer mezojenik faz geçişlerinin birinci sıra veya zayıf birinci sırada gerçekleştiği anlaşılmıştır. Ayrıca, sentezlenen hidrojen bağlı ikili komplekslerin mezojenik faz geçişleri için Kissinger, Ozawa ve Takhori yöntemleri kullanılarak aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri, ikili kompleksin faz geçişleri sırasında gerçekleşen reaksiyonun düzenli olduğunu ve SmA-SmC faz geçişinin enerji engelini

diğer faz geçişlerinin enerji engelinden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Okumuş ve Dindar, 2023).

Okumuş ve Özgan'ın çalışmasında, hidrojen bağlı nematik sıvı kristallerden oluşan üç bileşenli karışımların termal ve mezo faz davranışları incelenmiştir. 4-heksilbenzoik asit ve 4-(oktiloksi)benzoik asit içeren bu karışımların termal özellikleri DSC ile analiz edilmiş, fazlar ise POM ile belirlenmiştir. Sonuçlar, karışımların sıvı kristal özellikleri sergilediğini göstermiştir. Karışımın nematik aralığının, bileşen oranlarına ve alkiloksi zincir uzunluklarına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. DSC verileri, ısıtma hızının faz geçiş sıcaklıklarını artırdığını ve 6BA/8OBA/10OBA karışımının 9:2:9 oranındaki en geniş nematik aralığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, Ozawa, Kissinger ve Takhor yöntemleriyle hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri, faz geçişlerinin düzenli olduğunu göstermektedir (Okumuş ve Ozgan, 2014). Okumuş ve ekibinin yaptığı çalışmada, hidrojen bağlı sıvı kristal 4-heksilbenzoik asit (6BA) ve 4-heksil-4-bifenilkarbonitril (6CB) mezojenlerinden oluşan ikili karışımların termal ve optik özellikleri sunulmuştur. Faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile değerlendirilmiş ve fazlar polarize optik mikroskopi (POM) ile tanımlanmıştır. Deneysel sonuçlar, 6BA/6CB ikili karışımlarının nematic ve smektik fazları sergilediğini açıkça göstermektedir. En ilginç sonuç, saf bileşenler 6BA ve 6CB'de smektik fazın gözlemlenmemesine rağmen, bazı ikili karışımlarında gözlemlenmesidir. İkili karışımların termal özellikleri, karışım oranına bağlı olarak faz zirve sıcaklıkları, entalpi değişiklikleri ve termal aralığı etkilemektedir. Karışım oranına bağlı olarak nematik aralığın artması, ayrıca faz geçiş sıcaklığı değerleri ve nematik termal stabilitesinin ısıtma hızı arttıkça arttığı gözlenmektedir.

Ayrıca, hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri, karışımın faz geçişlerinde moleküllerin yeniden yönlendirilmesinin düzenli olduğunu göstermektedir. 6BA/6CB karışımlarının sürekli ısıtma ve soğutma sırasında smektik ve nematik gibi karakteristik dokular sergilediği POM ve DSC ile bulunmuştur. İlginç bir şekilde, saf mezojenler 6BA ve 6CB'de smektik faz gözlemlenmezken, bazı ikili karışımlarında bu fazın gözlemlendiği görülmüştür. Karışım oranına bağlı olarak yapılan deneysel sonuçlar, 6BA/6CB karışımlarının nematik fazının sıcaklık aralığının genişlediğini göstermekte ve 1:3 oranında üretilen 6BA/6CB karışımının saf sıvı kristaller ve karışımları arasında en geniş nematik aralığa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, 4 ila 13 °C/dk arasında artan ısıtma hızı ile 3:1 oranında üretilen 6BA/6CB karışımında faz geçiş sıcaklıkları ve nematik termal stabilitesinin arttığı gözlenmektedir (Okumuş ve Özgan, 2016).

Okumuş ve ekibinin çalışmasında, hidrojen bağlı nematik sıvı kristal karışımlarının (HBLC) faz geçiş özellikleri, 6BA, 8OBA ve 10OBA bileşenleri kullanılarak DSC ve POM ile incelenmiştir. Sonuçlar, ikili karışımlarda smektik ve nematik faz geçişlerinin varlığını göstermektedir. Isıtma hızı arttıkça faz geçiş sıcaklıklarının arttığı ve 6BA/10OBA karışımının nematik aralığının en geniş olduğu (73,23 °C) tespit edilmiştir. Aktivasyon enerjileri Ozawa, Kissinger ve Takhor yöntemleriyle hesaplanmış ve üç yöntem arasında uyum gözlenmiştir. Ayrıca, elektrooptik incelemeler, nematik-izotropik geçişte optik geçirgenliğin arttığını göstermiştir. 6BA/8OBA karışımı, diğer karışımlardan daha yüksek ışık geçirgenliği sergilemiştir (Okumuş ve ark., 2014).

Bir diğer çalışmada Okumuş, Hidrojen bağlı üstüste yerleşen sıvı kristal 6BA ve 8OBA bileşenlerinden oluşan ikili karışımın termal karakterizasyonu, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve polarize optik mikroskopi (POM) yöntemleriyle incelemiştir. Karışımın faz diyagramı teorik hesaplamalarla elde edilmiş ve faz diyagramına göre maksimum nömantik aralığa sahip ikili karışım üretilmiştir. DSC ve POM sonuçları, üretilen sıvı kristal karışımının sıvı kristalin özelliklerini sergilediğini açıkça gösterilmiştir. 6BA/8OBA eutektik karışımının nömantik aralığının, hem 6BA'nın hem de 8OBA'nın ayrı nömantik aralıklarından daha geniş olduğu belirlenmiştir. Isıtma oranının 5 ila 20 °C/dk arasında artmasıyla, faz geçişlerinin daha kısa sürede meydana geldiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, 6BA/8OBA karışımının ani sıcaklık değişikliklerine karşı sıvı kristalin özelliklerini kaybetmediği görülmüştür. DSC deneyleri sırasında, sürekli ısıtma ve soğutma sırasında sıvı kristal özellikleri gösteren faz geçişlerinin 6BA/8OBA karışımında mevcut olduğu ve bu karışımın nömantik aralığının, 6BA ve 8OBA'nın ayrı nömantik aralıklarından daha geniş olduğu gözlemlenmiştir. Sürekli ısıtma sırasında elde edilen faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerlerinin, soğutma sırasında elde edilenlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ancak, ısıtma sırasında elde edilen entropi değişimi ve termal kararlılık değerlerinin, soğutma sırasında elde edilen değerlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tüm bunların yanı sıra, 6BA/8OBA karışımının farklı ısıtma oranlarında ısıtılması sırasında herhangi bir reaksiyon olup olmadığının gözlemlendiği belirtilmiştir. Elde edilen DSC verileri, 6BA/8OBA karışımının ani sıcaklık değişikliklerine karşı sıvı kristalin özelliklerini koruduğunu göstermiştir (Okumuş, 2015).

Sundaram ve ekibi (2017), 4-desiloksi benzoik asit (10OBA) ve sitrik asit (CA) ile hidrojen bağlı yeni bir sıvı kristal kompleks (HBLC) sentezlemiş ve polarize optik

mikroskop (POM), DSC, FTIR ve NMR ile bu yapıyı karakterize etmişlerdir. Nematik, Smektik X ve Smektik G fazları tespit ederek, faz geçişlerini ve termal genişliklerini incelemişlerdir. HBLC'nin farklı mol oranlarındaki faz geçişleri analiz edilerek, hidrojen bağlarının Sm X fazını stabilize ettiği gösterilmiştir (Sundaram ve ark., 2017). Vasanthi ve ekibi (2019), diglikolik asit ve 4-n alkoksi benzoik asitler kullanarak HBLC karışımları sentezlemiş, bu karışımların mezojenik özelliklerini UV-Vis, FTIR ve DSC ile doğrulamışlardır. Smektik X ve Smektik Cr fazlarını ve birinci dereceden geçişleri POM ile gözlemlemişlerdir. Ayrıca, DFT hesaplamalarıyla dipol moment çalışmalarını rapor etmiş ve bant aralığını 5.175 eV olarak bulmuşlardır (Vasanthi ve ark., 2019).

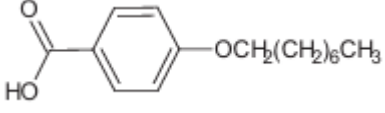
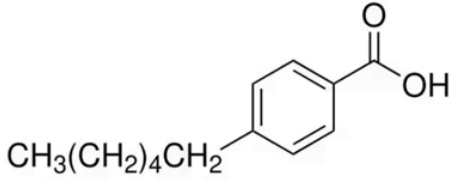
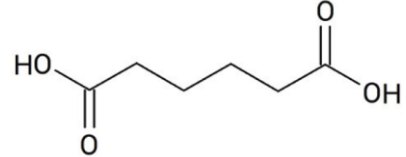
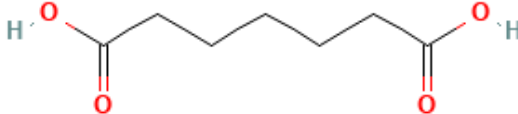
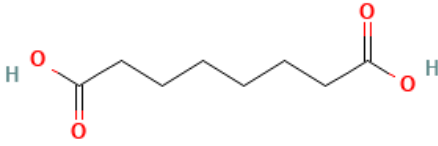
Her iki çalışmada da, faz geçişleri ve entalpi değerleri analiz edilerek, HBLC karışımlarının stabilitesi ve termal özellikleri detaylandırılmıştır (Vasanthi ve ark., 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, mezojenik olan 4-(Oktiloksi)benzoik asit (8OBA) ve 4-Hekzil benzoik asit (6BA) ile mezojenik olmayan Pimelik asit (PA), Suberik asit (SA), Adipik asit (AA) malzemeleri kullanılmıştır. Malzemelerin yüksek saflık oranları nedeniyle saflaştırma işlemine gerek duyulmamıştır. Bu çalışmada kullanılan saf sıvı kristaller 4-hekzilbenzoik asit (6BA), 4- (oktiloksi) benzoik asit (8OBA) ve deneyde kullanılan kimyasallar % 99 saflıkla satın alındı. Malzemelerin formülleri ve kimyasal şekilleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

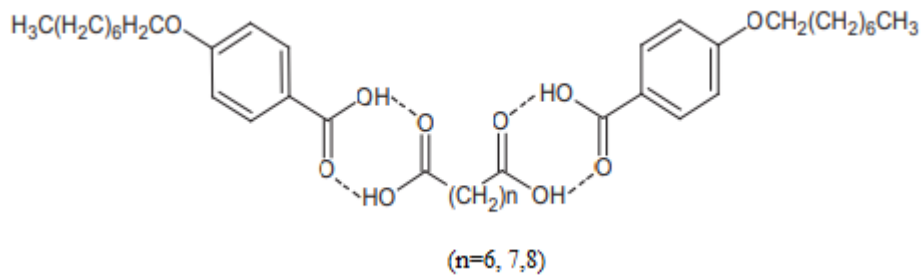
Çizelge 3. 1. Çalışmada kullanılan sıvı kristallerin lineer formülü ve kimyasal yapısı

Kimyasal	Lineer Formül	Kimyasal Yapı
8OBA	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4\text{COOH}$	
6BA	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{C}_5\text{H}_{11})$	
AA	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$	
PA	$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_4$	
SA	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_4$	

3.2. Karışımların Oluşturulması

Tezde kullanılacak sıvı kristal karışımları, 8OBA, 6BA, AA, PA ve SA kimyasalları belirlenen mol oranlarına göre hassas teraziyle tartılarak ikili karışımlar halinde hazırlanmıştır. Bu malzemelerle hidrojen bağlı sıvı kristal kompleksler sentezlenmiştir. Örneğin 6BA/AA sıvı kristal kompleks malzemesi 2 mol 6BA sıvı kristaline karşılık 1 mol sıvı kristal olmayan AA malzemesi içermektedir. Kısacası 6BA/AA sıvı kristal kompleksinde saf bileşenlerin mol oranı 2/1 olarak gerçekleşmiştir. Benzer oran (2/1) diğer sentezlenen kompleksler için de aynıdır. Örneğin, ikili sıvı kristal kompleksi 8OBA/AA, sırasıyla iki mol mezojenik 4-(oktiloksi)benzoik asidin, bir mol Adipik asit ile dimetil formamid (DMF) içinde birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Ayrıca, karışım oda sıcaklığında (25 °C) 15 saat boyunca sürekli karıştırılarak yoğun bir çözeltide beyaz çökelti oluşana kadar bekletilmiştir. Fazla dimetil formamid (DMF) buharlaştırıldığında, beyaz kristalize ham kompleksler elde edildi ve bunlar dimetil sülfoksit (DMSO) ile yeniden kristalize edildi.

Sonuç olarak, molekül içi çift hidrojen bağları içeren sıvı kristal kompleksleri sentezlenmiş ve hidrojen bağlarının oluşumu FTIR analizi ile doğrulanmıştır. Sentezlenen 8OBA/AA supramoleküler hidrojen bağlı sıvı kristal kompleksinin moleküler yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Burada, n, dikarboksilik asitlerin -CH₂-metilen bağlayıcı birimlerinin sayısını ifade eder (X=AA için n = 6, PA için n=7, SA için n=8). Ayrıca, benzer metotla 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA supramoleküler sıvı kristal kompleksleri de sentezlenmiştir.



Şekil 3. 1. 8OBA/X komplekslerinin moleküler yapısı (X = AA olduğunda n = 6, X=PA olduğunda n=7, X=SA olduğunda n=8)

3.3. X-Işını Difraktometresi (XRD)

X-ışını kırınımı (XRD), kristal malzemelerin yapısını incelemek için kullanılan bir tekniktir. Monokromatik X-ışınları, hedef malzemedeki atomlarla etkileşime girerek saçılır. Kristalli malzemelerde bu saçılma, yapıcı ve yıkıcı girişimlere yol açarak kırınım desenleri oluşturur. XRD, Bragg Yasası'na dayanır ve bu yasa, kırınım açıları ve yoğunluklarını belirleyerek malzemenin atomik düzeni hakkında bilgi sağlar (Valisko, 2004).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (n=1,2,3\dots) \quad (3.1)$$

X-ışını kırınımı (XRD), kristal malzemelerin yapısını incelemek için kullanılan temel bir tekniktir ve X-ışınlarının dalga ve parçacık özelliklerine dayanır. X-ışınları, kristalli malzemelerle etkileşime girdiğinde saçılan ışınlar, malzemenin atomik yapısına bağlı olarak yapıcı ve yıkıcı girişimle kırınım desenleri oluşturur. Bu kırınım, Bragg Yasası ile açıklanır. Polikristalin veya toz haldeki malzemelerde, farklı yönlerdeki kristalitlerden gelen kırınımın incelenir. Parafokuslama kırınım ölçer, XRD analizlerinde yüksek çözünürlük ve ışın yoğunluğu sağlarken, hizalama hataları veri doğruluğunu etkileyebilir.

Geleneksel XRD sistemleri genellikle yüksek güç gereksinimlerine sahiptir ve büyük X-ışını akışları gerektirir, bu da numunedeki kırınım sinyallerini artırır. Ancak, bu sistemler genellikle yüksek güçlü X-ışını kaynakları kullanır, bu da bazı dezavantajlara yol açabilir.

Polikapiler X-ışını optiği, XRD uygulamalarındaki bazı kısıtlamaları ve dezavantajları azaltmak için kullanılabilir. Polikapiler paralel optikler, düşük sapmalı yarı paralel bir kirişe dönüştürerek numunenin şekli, pürüzlülüğü ve düzlüğü gibi faktörlerden kaynaklanan hataları azaltır. Ayrıca, polikapiler odaklama optikleri, mikro X-ışını kırınımı uygulamalarında küçük numuneler üzerinde yüksek yoğunluklu ışınların odaklanmasını sağlar.

Üretilen numunelerin XRD analizleri, Batman Üniversitesi'nde bulunan XRD cihazıyla yapılmıştır. XRD cihazı aşağıda gösterilmektedir. Ölçüm parametreleri 40 kv gerilim ve 30 mA akım altında Cu-K_a radyasyonu ($\lambda=0.154056$ nm), $2\theta=5-60^\circ$, 0.02° adım ve 0.05 (2 θ /s) hızında olmuştur.



Şekil 3. 2. XRD

3.4. Polarize Optik Mikroskop (POM)

POM polarize edilmiş ışık kullanarak numunelerin incelenmesini sağlar. Bu teknik, özellikle çift kırılmalı numunelerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılır. Polarize optik mikroskopunda, numune polarize ışıkla aydınlatılır ve bu sayede numunenin içyapısı hakkında bilgi elde edilir. Polarize ışık, bir polarizör kullanılarak belirli bir düzlemde saptanır ve numuneye iletilir. Numune, bu polarize ışığı çift kırılma özelliğine sahip olduğundan, ışık hızlı ve yavaş yönlerde farklı hızlarda yayılır. Bu farklı hızlar, numunenin içindeki yapısal özelliklerin belirlenmesini sağlar. Optik yol farkı (OPD), polarize ışığın numune içindeki hız farkına bağlı olarak değişir. OPD, ışığın dalga boyu ve numunenin kalınlığıyla ilişkilidir. Bu parametre, çift kırılmalı numunenin özelliklerini analiz etmek için önemlidir çünkü farklı hızlardaki ışık, numunenin içyapısındaki farklı bileşenlerle etkileşir ve bu etkileşimler, mikroskop altında görüntülenen kontrastı oluşturur. Polarize optik mikroskoplar, özellikle mineraloji ve malzeme bilimi alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Öncelikle, kristal yapıların incelenmesi ve anizotropik özelliklerin belirlenmesi için kullanılırlar.

Ancak, son yıllarda biyolojik örneklerin çift kırılma özelliklerinin incelenmesinde de artan bir ilgi görmektedir. Bu gelişmeler, araştırmacıların mikroskop altında biyolojik numunelerin iç yapısını daha detaylı bir şekilde incelemesine olanak tanımıştır. Polarize optik mikroskoplar, araştırmacılara numunelerin iç yapıları hakkında bilgi sağlayan güçlü bir araç olup, çeşitli bilim ve mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Optik yol farkı (opd) Denklem 3.2'deki gibi tanımlanır.

$$\text{o.p.d.} = \Delta n \cdot t \quad (3.2)$$

Burada t numunenin kalınlığıdır. İki titreşim yönünde geçen ışık arasında bir faz farkına yol açar (Optika, url) ve Denklem 3.3 ile tanımlanır.

$$\delta = 2 \pi (\Delta n . t / \lambda) \quad (3.3)$$

Örneğin, optik yol farkı $\lambda/2$ olduğunda faz farkı π olur ve bu, polarizasyonun orijinaline dik hale gelerek analizörden tüm ışığın geçmesine neden olur. Eğer optik yol farkı $n\lambda$ ise, faz farkı $2n\pi$ olur ve polarizasyon orijinaline paralel hale gelir, bu da ışığın analizörden geçmemesine yol açar. Michel-Levy Çizelgesi, çift kırılmalı numuneden polarize beyaz ışık geçirildiğinde oluşur ve numunenin kalınlığı veya çift kırılması belirlenebilir. Optik analizler POM kullanılarak yapılmıştır. Numuneler, dakikada 5 derece ısıtılan bir ısıtıcı tabla üzerinde izotropik faza kadar ısıtılmış ve soğutulmuş, mikroskop altında görüntüleri kaydedilmiştir.

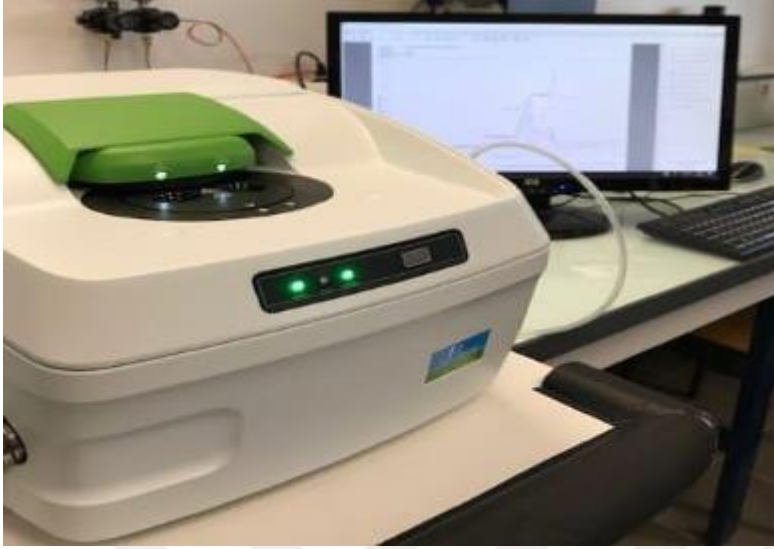


Şekil 3. 3. Leica marka polarize optik mikroskop ve görüntüsü

3.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC), malzemelerin zaman veya sıcaklık değişimi sırasında emilen veya salınan enerjiyi ölçen yaygın bir termal analiz cihazıdır. DSC'ler, erime sıcaklığı, füzyon ısısı, reaksiyon enerjisi, camsı geçiş sıcaklığı ve özgül ısı kapasitesi gibi birçok termal özelliği belirlemek için kullanılır. Endüstride polimerler, ilaçlar, metaller ve biyomoleküller gibi birçok alanda yaygın olarak

kullanılır. Üretilen sıvı kristal karışımlarının termal yapıları KSİ Üniversitesi'nde bulunan DSC ile incelenmiştir.



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

3.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektrometrisi

Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), nanoparçacıkların yüzey kimyasal bileşimini ve reaktif bölgelerini belirlemek için kullanılan çok yönlü bir tekniktir. FTIR, nanomateriyallerdeki fonksiyonel grupları ve bağların titreşim frekanslarını analiz ederek kalitatif bilgi sağlar. Bu teknik, kızılötesi radyasyonun emilmesiyle moleküllerin titreşimlerini ölçer ve organik ve inorganik bileşiklerin analizinde yaygın olarak kullanılır. FTIR, bilinmeyen bileşiklerin tanımlanmasından kirleticilerin tespitine kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir ve adli tıp gibi endüstrilerde önemli bir rol oynar. Üretilen sıvı kristal karışımlarının FTIR analizleri, Dicle Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında Perkin Elmer FTIR cihazıyla gerçekleştirilmiştir.



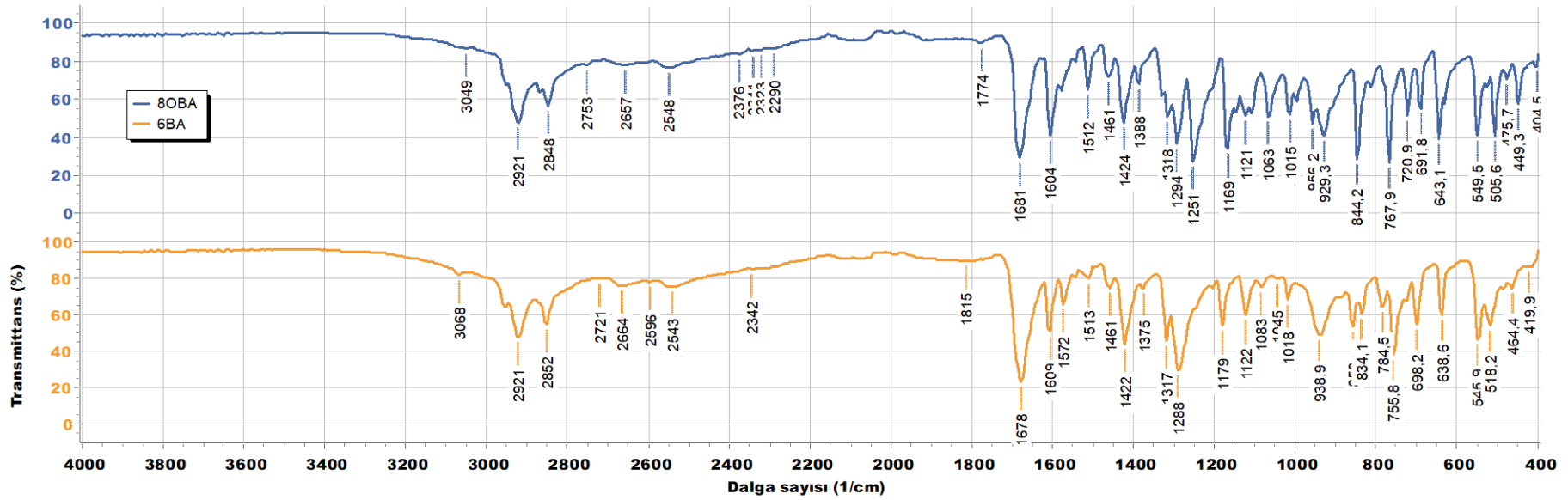
Şekil 3. 5. FTIR spektrometre cihazı



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. FTIR Analiz Sonuçları

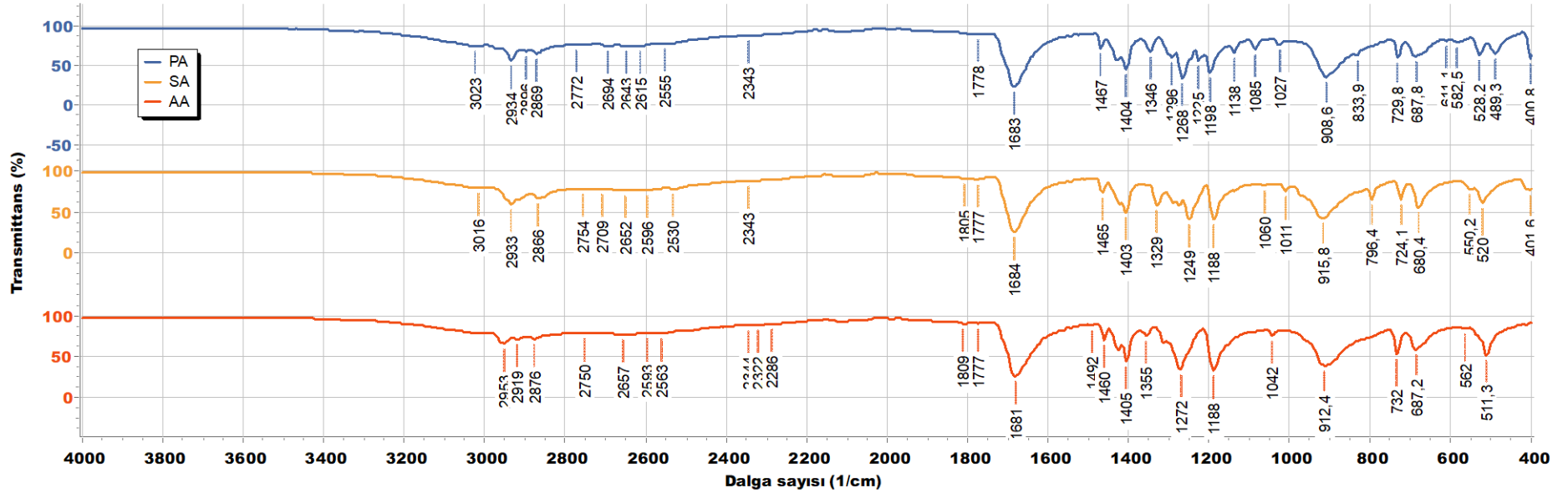
4.1.1. 8OBA ve 6BA Sıvı Kristallerin FTIR Analiz Sonuçları



Şekil 4. 1. 8OBA ve 6BA sıvı kristallerin FTIR spektrumları

Sıvı kristal karışımlarındaki hidrojen bağlarını incelemek amacıyla FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. Şekil4.1'de, saf 8OBA ve 6BA sıvı kristal malzemeleri için FTIR spektrumları, oda sıcaklığında ($\approx 24^\circ\text{C}$) referans olarak Potasyum Bromid (KBr) kullanarak numuneler katı halde iken elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, 8OBA sıvı kristali için FTIR spektrum analizi sonuçları şu pik değerlerini göstermektedir: 2921, 2848, 1681, 1604, 1512, 1424, 1294, 1251, 1169, 929, 844, 768, 643 ve 550 cm^{-1} . 6BA sıvı kristali için gözlenen pik değerleri ise 2921, 2852, 1678, 1609, 1422, 1288, 1179, 1122, 938, 834, 755, 636 ve 545 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir. FTIR spektrumları, $\nu(\text{C}=\text{O})$ gerilmesi, O-H gerilmesi ve C-O gerilmesi gibi moleküller arası ve moleküller içi bağları ifade eden oldukça fazla absorpsiyon bandı pikleri göstermektedir. 1286 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C–O gerilme titreşimine, 1313 cm^{-1} 'de gözlenen pik C-C gerilme titreşimine, 1606 cm^{-1} 'de gözlenen pik C=C gerilme titreşimine, 1682 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C=O gerilme titreşimine, 2857 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik C–H gerilme titreşimine ve 2927 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik O–H gerilme titreşimine işaret etmektedir. 1421 cm^{-1} 'de ortaya çıkan soğurma band piki, C-O gerilme titreşimleriyle birleştirilmiş O-H düzlem içi bükülmeye atfedilir. Ayrıca 6BA ve 8OBA sıvı kristallerinin FTIR spektrumlarında gözlenen gerilme titreşimlerine ait pikler genellikle sentezlenen sıvı kristal karışım numunesine ait FTIR spektrumu içerisinde de yaklaşık aynı noktalarda gözlemlenmiştir. Ancak, bileşenlerin spektrumları ile karışımın spektrumları karşılaştırıldığında bazı pik şiddetlerinde fark edilebilir derecede azalmaların olduğunu ve bazı pik noktalarda kaymaların olduğu açıkça görülmektedir ki bu değişiklikler karışımın yeni bir kompleks malzeme olduğunu işaret etmektedir. 8OBA ile 6BA sıvı kristalleri için O-H, C=O ve C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelen benzer pik noktaları saptanmıştır.

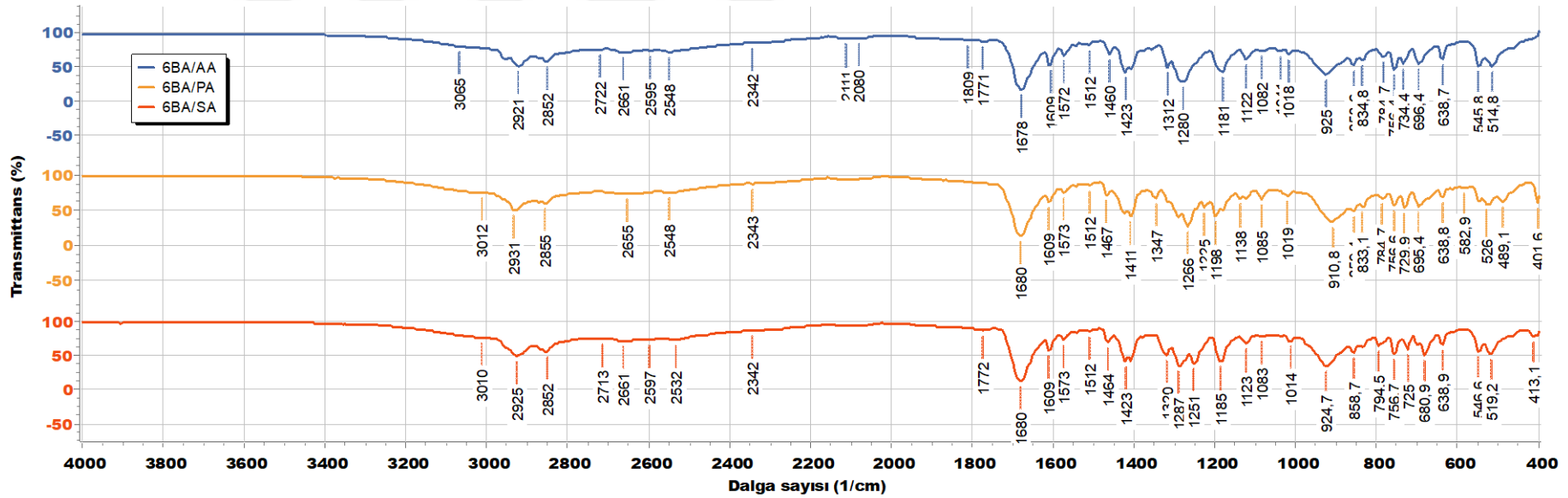
4.1.2. Sıvı kristal özellik göstermeyen PA, SA ve AA kimyasallarının FTIR Analiz Sonuçları



Şekil 4. 2. Sıvı kristal özellik göstermeyen PA, SA ve AA kimyasallarının FTIR spektrumları

Şekil 4.2’’de, sıvı kristal özellik göstermeyen PA, SA ve AA kimyasallarının FTIR analiz sonuçları gösterilmiştir. PA kimyasalı için pik noktaları, O-H gerilimi için 2934 cm^{-1} , C=O gerilimi için 1683 cm^{-1} ve C-H gerilimi için 908 cm^{-1} noktalarında gözlemlenmiştir. SA kimyasalı için ise O-H gerilimi 2933 cm^{-1} , C=O gerilimi 1684 cm^{-1} ve C-H gerilimi için 915 cm^{-1} noktalarında pikler elde edilmiştir. Son olarak, AA kimyasalı için O-H gerilimi 2953 cm^{-1} , C=O gerilimi için 1681 cm^{-1} ve C-H gerilimi için 912 cm^{-1} noktalarında pikler gözlemlenmiştir.

4.1.3. Sentezlenen 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçları

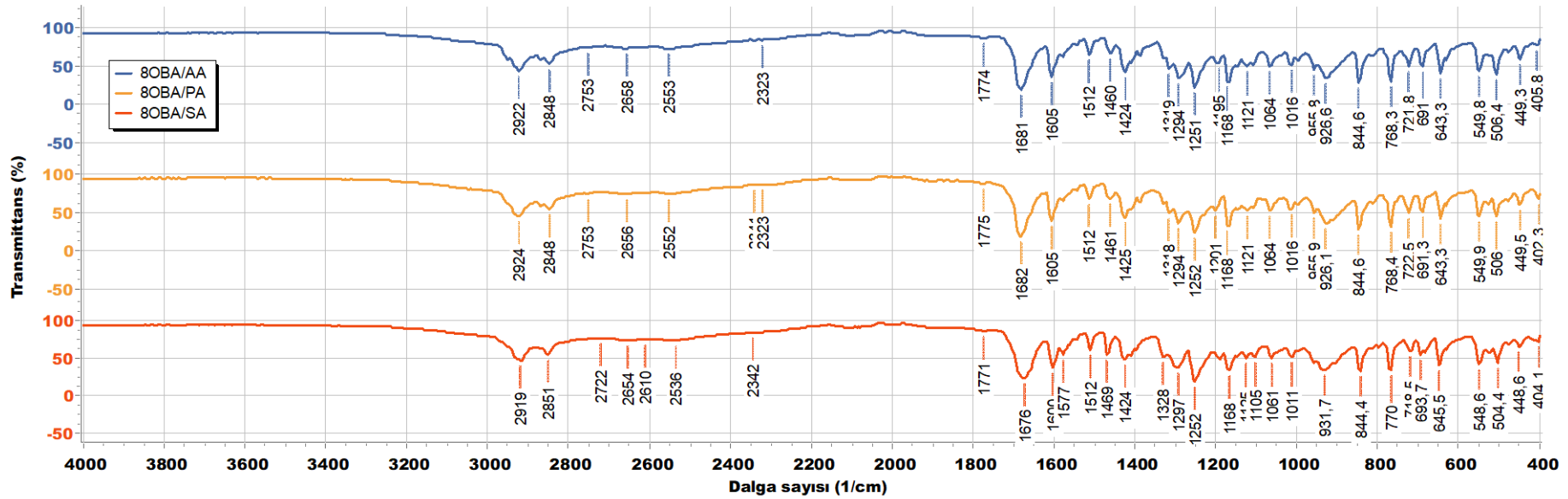


Şekil 4. 3. Tez çalışmasında üretilen 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçları

Tez çalışmasında üretilen 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA supramoleküler sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçlarına bakıldığında, O-H gerilimi piklerinin 6BA/AA sentezi için 2921 cm^{-1} , 6BA/PA sentezi için 2931 cm^{-1} ve 6BA/SA sentezi için 2925 cm^{-1} noktasında gözlemlendiği tespit edilmiştir. O-H gerilimi için tüm sentezlerde 6BA saf sıvı kristalinin pik noktaları ile uyum gösterdiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, C=O gerilimi pikleri 6BA/AA sentezi için 1678 cm^{-1} , 6BA/PA sentezi için 1680 cm^{-1} ve 6BA/SA sentezi için 1680 cm^{-1} noktasında gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre, C=O gerilim piklerinin saf 6BA sıvı kristalinin pik değerleri ile uyum gösterdiği

görülmüştür. Son olarak, C-H gerilim pikleri 6BA/AA sentezi için 859 cm^{-1} , 6BA/PA sentezi için 833 cm^{-1} ve 6BA/SA sentezi için 858 cm^{-1} noktasında gözlemlenmiştir. C-H gerilimi için gözlenen pik değerlerine bakıldığında, 6BA/AA ve 6BA/SA sentezleri için pik noktalarının (859 ve 858 cm^{-1}) uyum gösterdiği, ancak 6BA/PA için pik değerinin (833 cm^{-1}) bir kayma gösterdiği görülmüştür. Yapılan üç sentezin de karakteristik pik noktaları değerlendirildiğinde, sentezlerin sıvı kristal özellik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

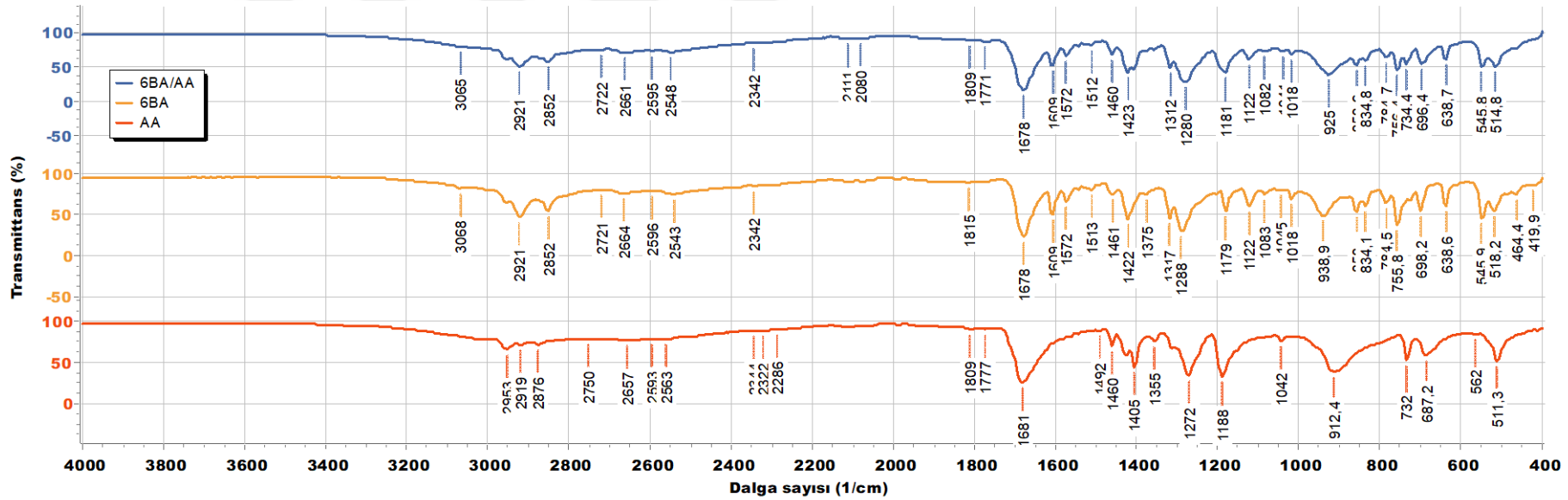
4.1.4. Sentezlenen 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçları



Şekil 4. 4. Tez çalışmasında üretilen 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçları

Tez çalışmasında üretilen 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA supramoleküler sıvı kristal kompleks malzemelerin FTIR analiz sonuçlarına bakıldığında, O-H gerilimi piklerinin 8OBA/AA sentezi için 2922 cm^{-1} , 8OBA/PA sentezi için 2924 cm^{-1} ve 8OBA/SA sentezi için 2919 cm^{-1} noktasında gözlemlendiği tespit edilmiştir. O-H gerilimi için tüm sentezlerde 8OBA saf sıvı kristalinin pik noktaları ile uyum gösterdiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, C=O gerilimi pikleri 8OBA/AA sentezi için 1681 cm^{-1} , 8OBA/PA sentezi için 1682 cm^{-1} ve 8OBA/SA sentezi için 1676 cm^{-1} noktasında gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre, C=O gerilim piklerinin saf 8OBA sıvı kristalinin pik değerleri ile uyum gösterdiği görülmüştür. Son olarak, C-H gerilim pikleri 8OBA/AA sentezi için 845 cm^{-1} , 8OBA/PA sentezi için 845 cm^{-1} ve 8OBA/SA sentezi için 844 cm^{-1} noktasında gözlemlenmiştir. C-H gerilimi için gözlenen pik değerlerine bakıldığında, 8OBA/AA, 8OBA/SA ve 8OBA/PA sentezleri için pik noktalarının (844 cm^{-1}) tam uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca 1319 cm^{-1} değerinde üç sentezde de C-C gerilim piklerine rastlanmıştır. Yapılan üç sentezin de karakteristik pik noktaları değerlendirildiğinde, sentezlerin sıvı kristal özellik gösterdiği sonucuna varılmıştır. FTIR çalışmalarının bir sonucu olarak, tüm komplekslerde hidrojen bağlarının oluşumu doğrulanmıştır.

4.1.5. 6BA/AA, 6BA ve AA FTIR analiz sonuçları

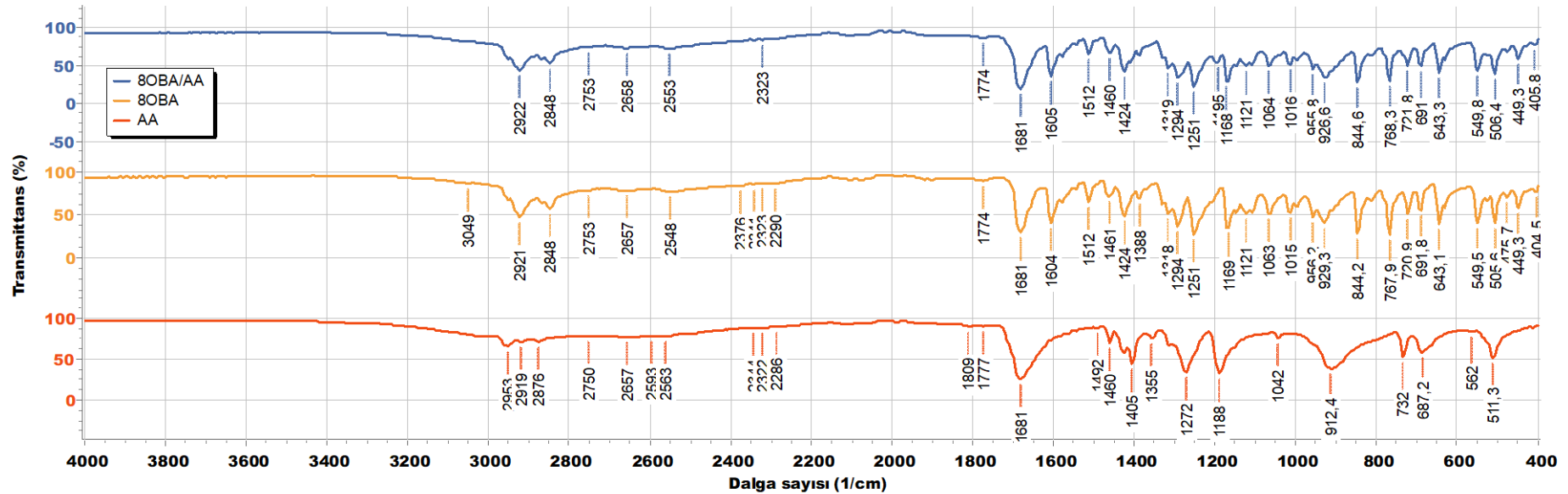


Şekil 4. 5. 6BA/AA, 6BA ve AA'nın FTIR analiz sonuçları

Şekil 4.5'te, 6BA sıvı kristali, mezojenik olmayan AA (Adipik asit) ve sentezlenen supramoleküler sıvı kristal kompleksi 6BA/AA'nın FTIR analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 4.5'i incelediğimizde, sentezlenmiş 6BA/AA'nın O-H gerilimi pikinin 2921 cm^{-1} 'de, C=O gerilim pikinin 1678 cm^{-1} 'de ve C-H gerilim pikinin 2953 cm^{-1} 'de tespit edildiği görülmüştür. Ayrıca 6BA saf sıvı kristalinin 1317 cm^{-1} 'de gözlenen C-C titreşiminin 6BA/AA sentezinde 1312 cm^{-1} 'de gözlemlendiği mezojenik 6BA ile mezojenik olmayan AA kimyasallarının FTIR sonuçları ayrıntılı incelendiğinde saf bileşenlere ait bazı gerilme-titreşim piklerinin sentezlenen 6BA/AA supramoleküler sıvı kristal kompleksin FTIR spektrumlarında gözlenmediği, bazı piklerin ise pik noktalarının kayarak yeni spektrum pikleri oluşturduğu görülmektedir. Bu durum 6BA/AA

supramoleküler sıvı kristal kompleksinde bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluştuğunu ifade eder. Yapılan FTIR analiz sonuçlarına göre 6BA/PA ve 6BA/SA supramoleküler sıvı kristal karışımlarında da hidrojen bağlarının oluştuğu görülmüştür. Sonuç olarak FTIR analizleri sentezlenen sıvı kristal komplekslerinin de hidrojen bağlarının oluştuğunu doğrulamıştır. Bu sonuca göre sentezlenen 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA supramoleküler sıvı kristal komplekslerin moleküler yapısı bir monomer yapı durumundadır.

4.1.6. 8OBA/AA, 8OBA ve AA FTIR analiz sonuçları



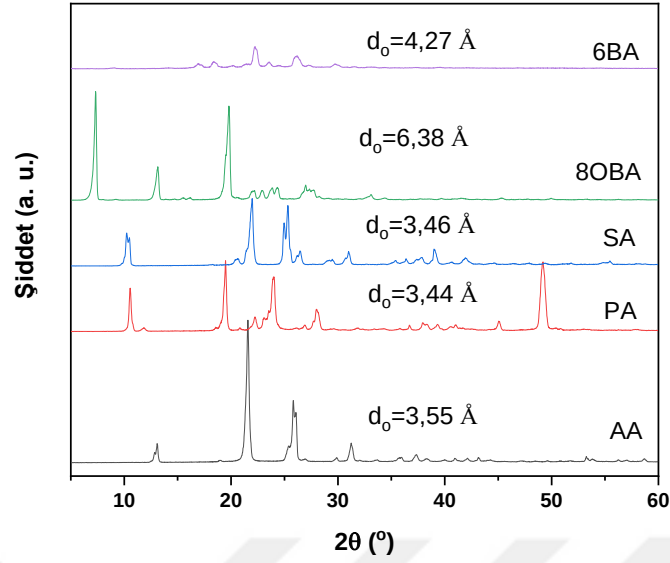
Şekil 4. 6. 8OBA/AA, 8OBA ve AA FTIR analiz sonuçları

Şekil 4.6'te, 8OBA sıvı kristali, mezojenik olmayan AA (Adipik asit) ve sentezlenen supramoleküler sıvı kristal kompleksi 8OBA/AA'nın FTIR analiz sonuçları verilmiştir. Mezojenik 8OBA ile mezojenik olmayan AA kimyasallarının FTIR sonuçları ayrıntılı incelendiğinde saf bileşenlere ait bazı gerilme-titreşim piklerinin sentezlenen 8OBA/AA supramoleküler sıvı kristal kompleksin FTIR spektrumlarında gözlenmediği, bazı piklerin ise pik noktalarının kayarak yeni spektrum pikleri oluşturduğu görülmektedir. Bu durum 8OBA/AA supramoleküler sıvı kristal kompleksinde bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluştuğunu ifade eder. Yapılan FTIR analiz sonuçlarına göre 8OBA/PA ve 8OBA/SA supramoleküler sıvı kristal karışımlarında da hidrojen bağlarının oluştuğu görülmüştür. Sonuç olarak FTIR analizleri sentezlenen sıvı kristal komplekslerinin de hidrojen bağlarının oluştuğunu doğrulamıştır. Bu sonuca göre sentezlenen 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA supramoleküler sıvı kristal komplekslerin moleküler yapısı bir monomer yapı durumundadır.

4.2. XRD SONUÇLARI

4.2.1. Saf Malzemelerin XRD Sonuçları

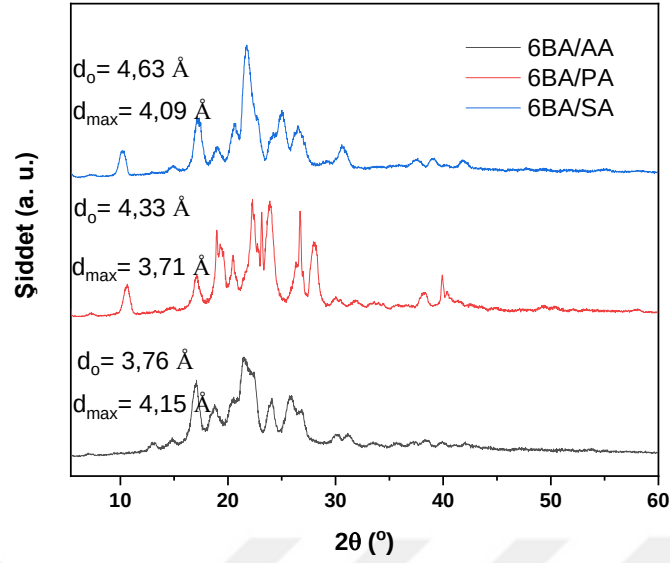
Supramoleküler sıvı kristal komplekslerin 6BA/AA, 6BA/SA, 6BA/PA ve 8OBA/AA, 8OBA/SA, 8OBA/PA oda sıcaklığında kristal yapısını araştırmak için X-ışını difraktometre (XRD) ile analizler yapılmıştır. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere XRD sonuçları kristal yapıyı işaret eden Bragg kırınım pikleri göstermiştir. Bu kırınım pikleri sıvı kristal karışım numunelerinin oda sıcaklığında (yaklaşık 25 °C) kristal yapıda olduğunu ifade etmektedir. Her bir kırınım pikine ait d mesafesi değeri belirlenmiştir. Kırınım piklerinin d değerlerinin ortalaması alınarak hem saf sıvı kristallerimizin hem de sentezlenen sıvı kristal komplekslerin kristal durumunda ortaya çıkan moleküler dizilimde bazal mesafe değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen bazal mesafe değerleri (d_0) Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi saf bileşenlere ait bazal mesafe değerleri AA için 3.55 Å, PA için 3.44 Å, SA için 3.46 Å, 8OBA için 6.38 Å ve 6BA için 4.27 Å olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre deneyde kullanılan mezojenik malzemelerin bazal mesafe değerlerinin, mezojenik olmayan kimyasalların bazal mesafe değerlerinden küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 7. Saf malzemelerin XRD sonuçları

4.2.2. 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA Sentezlerinin XRD Sonuçları

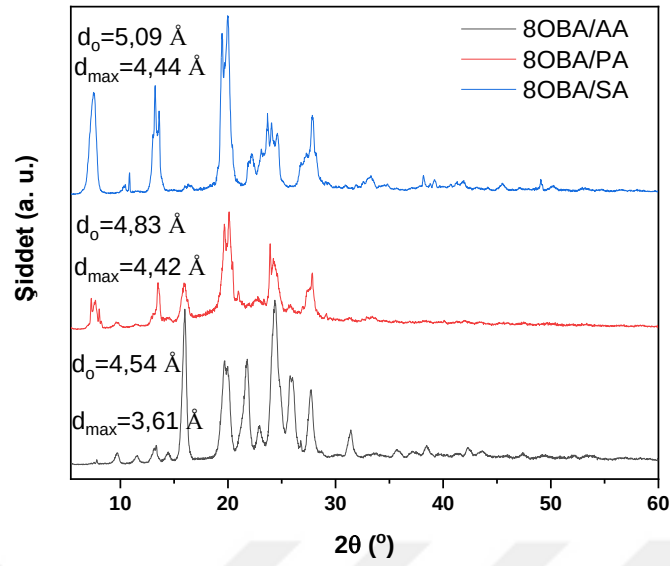
Şekil 4.8’de mezojenik 6BA ile mezojenik olmayan AA, PA ve SA kimyasallarından sentezlenen ikili 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA supramoleküler sıvı kristallerin XRD analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 6BA/AA kompleksinin XRD analizinde maksimum pike ($2\theta \approx 22^\circ$) karşılık gelen $d_{\max}$ değeri 4.15 Å iken, bütün piklerin d mesafelerinin ortalaması alınarak hesaplanan ortalama bazal mesafe değeri $d_0=3.76$ Å olarak bulunmuştur. 6BA/PA sıvı kristal kompleksi için $d_{\max}$ değeri 3.71 Å, d_0 değeri 4.33 Å olarak bulunmuştur. 6BA/SA sıvı kristal kompleksi için ise $d_{\max}$ değeri 4.09 Å, d_0 değeri 4.63 Å olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bazal mesafe değerleri incelendiğinde mezojenik 6BA ile mezojenik olmayan AA, PA ve SA kimyasallarından sentezlenen sıvı kristal komplekslerinde oluşan monomer yapı uzunluğu arttıkça ortalama bazal mesafe değerleri de artmıştır.



Şekil 4. 8. 6BA/AA 6BA/PA ve 6BA/SA komplekslerinin XRD sonuçları

4.2.3. 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA Sentezlerinin XRD Sonuçları

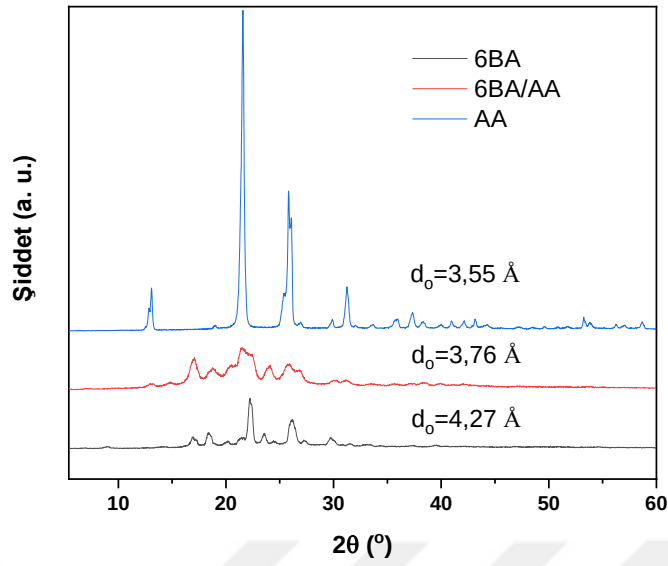
Şekil 4.9’de mezojenik 8OBA ile mezojenik olmayan AA, PA ve SA kimyasallarından sentezlenen ikili 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA supramoleküler sıvı kristallerin XRD analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 4.9’de görüldüğü gibi 8OBA/AA kompleksinin XRD analizinde maksimum pike ($2\theta \approx 22^\circ$) karşılık gelen $d_{\max}$ değeri 3.61 Å iken, bütün piklerin d mesafelerinin ortalaması alınarak hesaplanan ortalama bazal mesafe değeri $d_0 = 4.54$ Å olarak bulunmuştur. 8OBA/PA sıvı kristal kompleksi için $d_{\max}$ değeri 4.42 Å, d_0 değeri 4.83 Å olarak bulunmuştur. 8OBA/SA sıvı kristal kompleksi için ise $d_{\max}$ değeri 4.44 Å, d_0 değeri 5.09 Å olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bazal mesafe değerleri incelendiğinde mezojenik 8OBA ile mezojenik olmayan AA, PA ve SA kimyasallarından sentezlenen sıvı kristal komplekslerinde oluşan monomer yapı uzunluğu arttıkça ortalama bazal mesafe değerleri de artmıştır.



Şekil 4. 9. 8OBA/AA 8OBA /PA ve 8OBA /SA komplekslerinin XRD sonuçları

4.2.4. 6BA, AA, 6BA/AA'n XRD Analiz Sonuçları

Şekil 4.10'da mezojenik 6BA ile mezojenik olmayan AA kimyasalından sentezlenen 6BA/AA supramoleküler sıvı kristal kompleksinin XRD analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi 6BA için ortalama bazal mesafe d_0 değeri 4.27 Å, AA için ortalama bazal mesafe değeri 3.55 Å ve 6BA/AA için ortalama bazal mesafe d_0 değeri 3.76 Å olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere göre sentezlenen 6BA/AA supramoleküler sıvı kristal kompleksinin bazal mesafe değeri, kompleksi oluşturan saf bileşenlerin bazal mesafe değerleri arasında olduğu görülmektedir. Benzer durum 6BA/PA ve 6BA/SA sıvı kristal kompleksler için de gözlenmiştir.



Şekil 4. 10. Saf bileşenler 6BA, AA ve 6BA/AA sıvı kristal kompleksinin XRD sonuçları

Şekil 4.7 ve Şekil 4.9 karşılaştırılarak 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA sıvı kristal kompleksleri içinde bazal mesafe değerleri yorumlanabilir. Şekil 4.7’da ve Şekil 4.9 karşılaştırıldığında mezojenik 8OBA ile mezojenik olmayan AA kimyasalından sentezlenen 8OBA/AA supramoleküler sıvı kristal kompleksinin XRD analiz sonuçları görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi 8OBA için ortalama bazal mesafe d_0 değeri 6.38 Å, AA için ortalama bazal mesafe değeri 3.55 Å ve 8OBA/AA için ortalama bazal mesafe d_0 değeri 4.54 Å olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere göre sentezlenen 8OBA/AA supramoleküler sıvı kristal kompleksinin bazal mesafe değeri, kompleksi oluşturan saf bileşenlerin bazal mesafe değerleri arasında olduğu görülmektedir. Benzer durum 8OBA/PA ve 8OBA/SA sıvı kristal kompleksler için de gözlenmiştir.

4.3. DSC Analiz Sonuçları

4.3.1.8OBA ve 6BA Sıvı Kristallerinin DSC Analizi

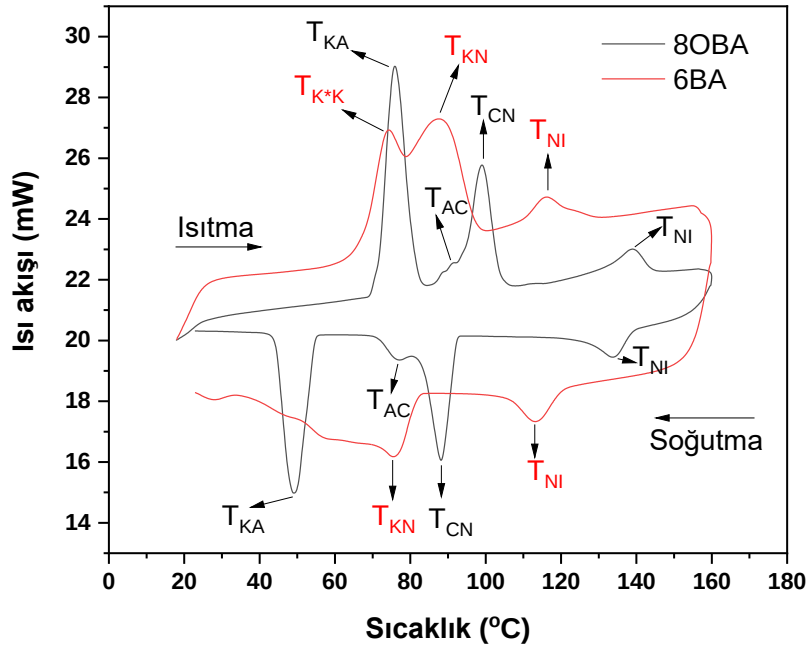
Şekil 4.11’de 8OBA ve 6BA sıvı kristalleri, 18°C’den 160°C’ye kadar 10°C/dk hızla ısıtılmış, izotropik faza tamamen geçmesi için 160°C’de 1 dakika bekletildikten sonra aynı hızla tekrar soğutulmuştur. 6BA sıvı kristali için DSC ile ısıtma sırasında 3

endotermik pik tespit edilmiştir. Faz geçişleri sırasıyla kristal (K), nematik (N) ve izotropik (I) fazlar olarak kaydedilmiştir.

Kristal-kristal (K^*-K) faz geçiş sıcaklığı $79,58^{\circ}\text{C}$, kristal-nematik (K-N) faz geçişi 85°C , nematik-izotropik (N-I) faz geçişi ise 118°C olarak gözlenmiştir.

Benzer şekilde 8OBA sıvı kristalinin faz geçiş sıcaklıklarına baktığımızda sürekli ısıtma sırasında dört(4) adet endotermik pik gözlenmiştir. Sırası ile kristal-smektik A faz geçiş sıcaklığı $T_{KA}=80^{\circ}\text{C}$, smektik A-smektik C faz geçiş sıcaklığı $T_{AC}=89^{\circ}\text{C}$, smektik C-nematik faz geçiş sıcaklığı $T_{CN}=98.5^{\circ}\text{C}$ ve nematik izotropik faz geçişi $T_{NI}=138.5^{\circ}\text{C}$ olarak gözlenmiştir.

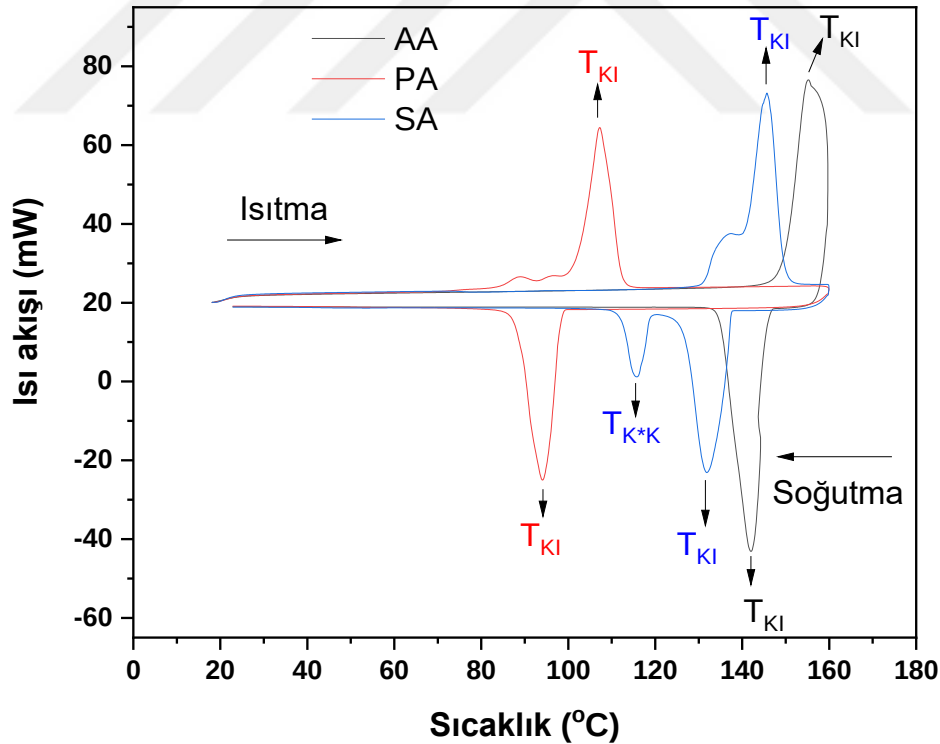
Devamlı soğutma anında 6BA sıvı kristalinin Şekil 4.11'deki grafiğe göre 2 adet ekzotermik pik gözlenmiş olup izotropik -nematik (I-N) faz geçiş sıcaklığı $T_{IN}=115^{\circ}\text{C}$ ve nematik-kristal(N-K) faz geçiş sıcaklığı $T_{NK}=78^{\circ}\text{C}$ olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde 8OBA sıvı kristalinin Şekil 4.11'deki verilere göre sürekli soğutma sırasında 4 adet ekzotermik pik gözlenmiş olup, izotropik-nematik(I-N) faz geçiş sıcaklığı $T_{IN}=128^{\circ}\text{C}$, nematik-smektik C (N-C) faz geçiş sıcaklığı $T_{NC}=88.128^{\circ}\text{C}$, smektik A- Smektik C faz geçiş sıcaklığı $T_{AC}=75^{\circ}\text{C}$ ve smektik A-Kristal faz geçiş sıcaklığı $T_{KA}=48^{\circ}\text{C}$ olarak gözlenmiştir.



Şekil 4. 11. 8OBA ve 6BA sıvı kristallerinin DSC sonuçları

4.3.2. Mezojenik olmayan AA, PA ve SA Kimyasallarının DSC Analizi

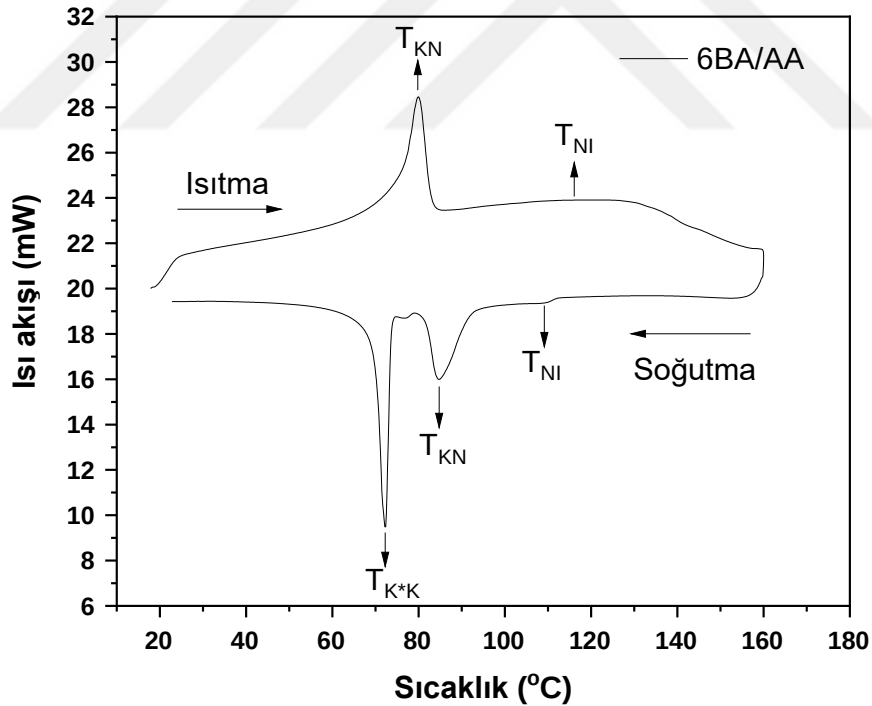
Supramoleküler sıvı kristal kompleks sentezlerinde kullanılan mezojenik olmayan AA, PA ve SA kimyasallarının DSC analiz sonuçları Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Şekil 4.12’deki sürekli ısıtma sırasında tüm kimyasallar için 1 adet endotermik pik gözlenmiştir. AA kimyasalı için kristal-izotropik faz geçiş sıcaklığı $T_{KI}=151$ °C, PA kimyasalı için faz kristal-izotropik faz geçiş sıcaklığı $T_{KI}=107$ °C ve SA kimyasalı için faz kristal-izotropik faz geçiş sıcaklığı $T_{KI}=142.5$ °C gözlenmiştir. Benzer şekilde sürekli soğutma sırasında AA ve PA kimyasalları için 1 adet ekzotermik pik gözlenirken, SA kimyasalı için 2 adet ekzotermik pik gözlenmiştir. AA kimyasalı için kristal-izotropik faz geçiş sıcaklığı $T_{KI}=142$ °C, PA kimyasalı için kristal-izotropik faz geçiş sıcaklığı $T_{KI}=95$ °C elde edilmiştir. SA kimyasalı için kristal-izotropik faz geçiş sıcaklığı $T_{KI}=132$ °C ve kristal-kristal faz geçiş sıcaklığı $T_{K^*K}=112$ °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. 12. AA, PA ve SA kimyasallarının DSC sonuçları

4.3.3. Sentezlenen 6BA/AA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi

Sentezlenen supramoleküler 6BA/AA sıvı kristal kompleksinin DSC analiz sonuçları Şekil 4.13 ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.13 incelendiğinde sentezlenen 6BA/AA sıvı kristal kompleksi DSC ile sürekli ısıtma sırasında iki(2) endotermik pik gözlenmiş olup kristal-nematik faz geçiş sıcaklığının $T_{KN}=79.90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve faz geçişi sırasında entalpi değişiminin (ΔH_{KN})= 133.81 J/g olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının $T_{NI}=119.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve entalpi değişiminin yaklaşık (ΔH_{NI})= 5.5 J/g olarak gözlenmiştir. Sürekli soğutma sırasında gözlenen üç(3) adet ekzotermik pik kristal-kristal faz geçiş sıcaklığı $T_{K*K}=72.36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve entalpi değişiminin (ΔH_{K*K})= 131.27 J/g olarak gözlenmiştir. Kristal-nematik faz geçiş sıcaklığı $T_{KN}=84.72\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve entalpi değişiminin (ΔH_{KN})= 96.00 J/g olarak gözlenmiştir. Sürekli soğutma sırasında nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı $T_{NI}=113.45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve entalpi değişiminin (ΔH_{NI})= 5.27 J/g olarak gözlenmiştir.



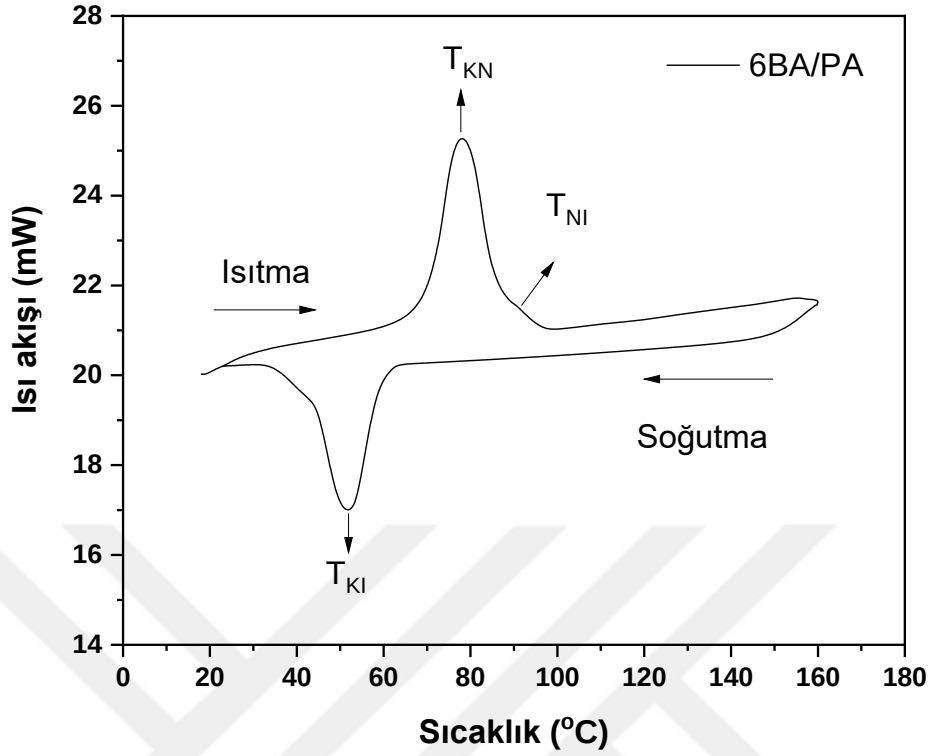
Şekil 4. 13. 6BA/AA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları

Çizelge 4. 1. Sentezlenen 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA komplekslerinin faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri

Sıvı Kristal Kompleks	Teknik	T_{K*K} (°C)	ΔH_{K*K} (J/g)	T_{KN} (°C)	ΔH_{KN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)	Nematik Alan (°C)
6BA/AA	Isıtma	-	-	79.90	133.81	119.88	5.5	39.98
	Soğutma	72.36	131.27	84.72	96.00	113.45	5.27	28.73
6BA/PA	Isıtma	-	-	78	246.19	85.88	20.5	7.88
	Soğutma	-	-	-	-	-	-	-
6BA/SA	Isıtma	-	-	78.16	387.87	113.03	102.68	34.87
	Soğutma	-	-	64.46	124.53	93.27	88.25	28.81

4.3.4. Sentezlenen 6BA/PA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi

Sentezlenen supramoleküler 6BA/PA sıvı kristal kompleksinin DSC analiz sonuçları Şekil 4.14 ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde 6BA/PA sıvı kristal sentezinin sürekli ısıtma sırasında iki(2) endotermik pik gözlenmiş olup kristal-nematik faz geçiş sıcaklığının $T_{KN}=78$ °C ve faz geçişi sırasında entalpi değişiminin (ΔH_{KN})=246.19 J/g olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının $T_{NI}=85.88$ °C ve entalpi değişiminin yaklaşık (ΔH_{NI})=20.5 J/g olarak gözlenmiştir. Sürekli soğutma sırasında gözlenen bir(1) adet ekzotermik pik kristal-izotropik faz geçiş sıcaklığı $T_{KI}=51.56$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{KI})=146.27 J/g olarak gözlenmiştir. Isıtma sırasında faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi ısıları, soğutma sırasındakilerden daha yüksektir. Bu fark, ısıtma sırasında yüksek enerji nedeniyle kimyasal bağların kırılması ve soğutma sırasında bu bağların yeniden oluşamamasından kaynaklanmaktadır.

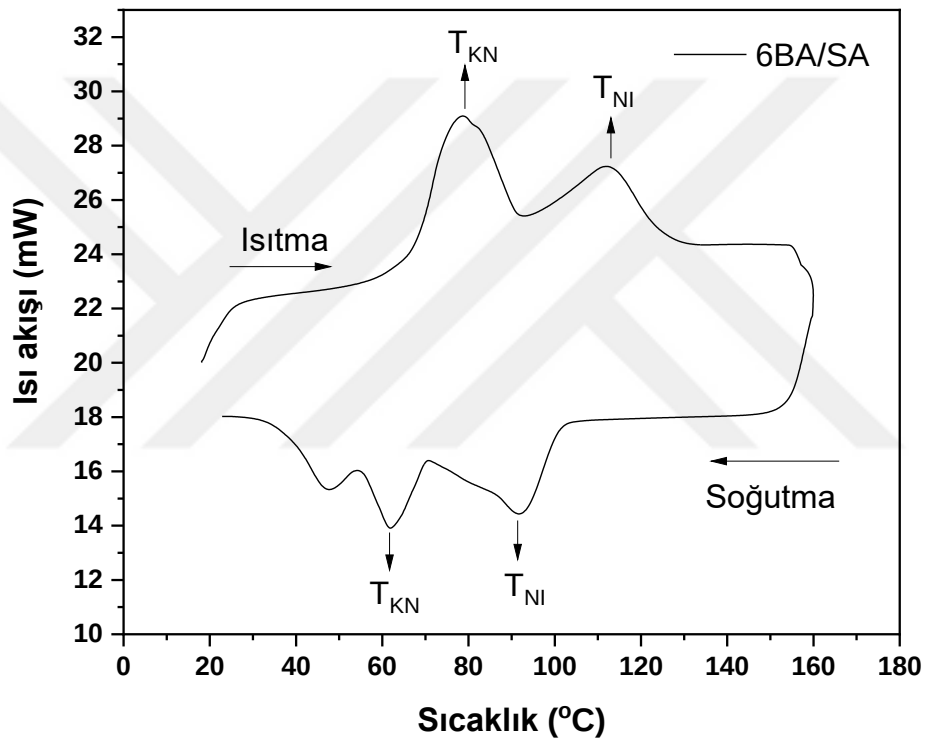


Şekil 4. 14. 6BA/PA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları

4.3.5. Sentezlenen 6BA/SA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi

Sentezlenen supramoleküler 6BA/SA sıvı kristal kompleksinin DSC analiz sonuçları Şekil 4.15 ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.15 incelendiğinde 6BA/SA sıvı kristal sentezinin sürekli ısıtma sırasında iki(2) endotermik pik gözlenmiş olup kristal-nematik faz geçiş sıcaklığının $T_{KN}=78.16$ °C ve faz geçişi sırasında entalpi değişiminin (ΔH_{KN})=387.87 J/g olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının $T_{NI}=113.03$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{NI})=102.68 J/g olarak gözlenmiştir. Sürekli soğutma sırasında iki(2) adet ekzotermik pik gözlenmiştir. Kristal-nematik faz geçiş sıcaklığı $T_{KN}=64.46$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{KN})=124.53 J/g ve nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının $T_{NI}=93.27$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{NI})=88.25 J/g olarak gözlenmiştir. Isıtma sırasında faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi ısıları, soğutma sıradakilerden daha yüksektir. Bu fark, ısıtma sırasında yüksek enerji nedeniyle kimyasal bağların kırılması ve soğutma sırasında bu bağların yeniden oluşamamasından kaynaklanmaktadır.

Ayrıca çizelge 4.1’de verildiği gibi 6BA/AA sıvı kristal kompleksinin nematik alan ($T_{NI}-T_{KN}$) aralığı ısıtma esnasında 39,98 °C olurken soğutma esnasında 28.73 °C olarak ölçülmüştür. 6BA/PA sıvı kristal kompleksinin nematik alan aralığı ısıtma esnasında 7,88 °C olurken soğutma esnasında nematik alan gözlenmemiştir. 6BA/SA sıvı kristal kompleksinin nematik alan aralığı ısıtma esnasında 34,87 °C olurken soğutma esnasında 28,81 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre 6BA/AA sıvı kristal kompleksinin nematik alan değeri 39,98 °C ile 6BA/PA ve 6BA/SA komplekslerin nematik alan değerlerinden daha yüksektir.

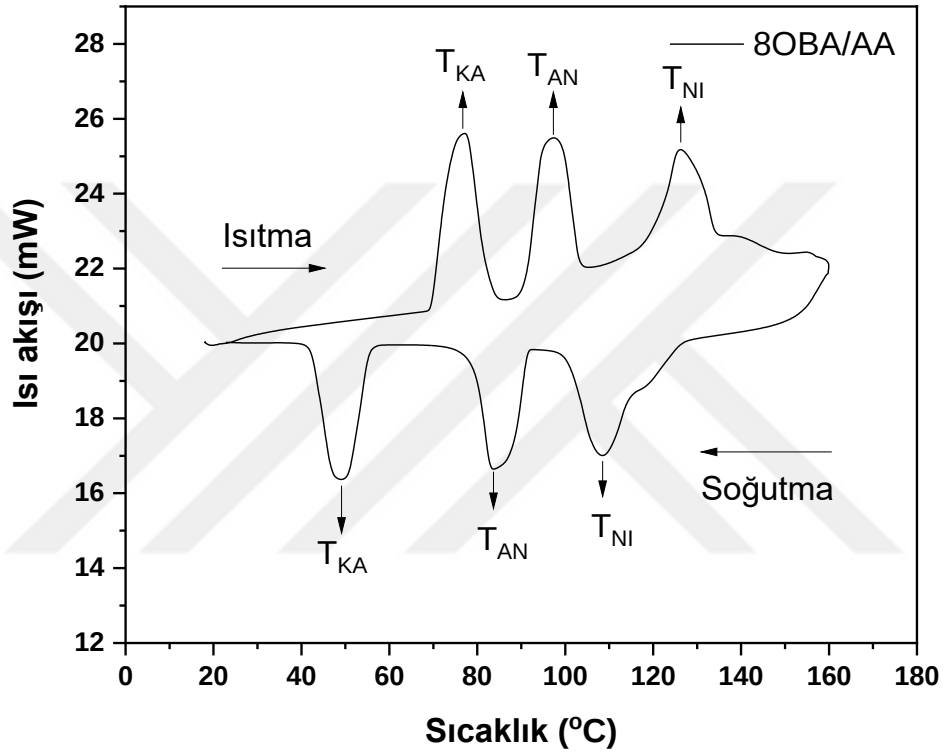


Şekil 4. 15. 6BA/SA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları

4.3.6. Sentezlenen 8OBA/AA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi

Şekil 4.16 incelendiğinde sentezlenen s 8OBA/AA sıvı kristal kompleksinin sürekli ısıtma sırasında üç(3) endotermik pik gözlenmiş olup kristal-smektik A faz geçiş sıcaklığının $T_{KA}=76.96$ °C ve faz geçişi sırasındaki entalpi değişiminin (ΔH_{KA})=229.15 J/g olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde smektik A-nematik faz geçiş sıcaklığının $T_{AN}=96.90$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{AN})=190.24 J/g olarak gözlenmiştir. Son olarak nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığın $T_{NI}=126.34$ ve entalpi değişiminin

(ΔH_{NI})= 111.69 J/g olduğu gözlenmiştir. Sürekli soğutma sırasında üç(3) adet ekzotermik pik gözlenmiştir. Kristal-smektik A faz geçiş sıcaklığı T_{KA} =49.79 °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{KA})=172.61 J/g ve smektik A-nematik faz geçiş sıcaklığının T_{AN} =86.14 °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{AN})=158.22 J/g ve nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının T_{NI} =108.56 ve entalpi değişiminin (ΔH_{NI})=117.13 J/g olarak gözlenmiştir.



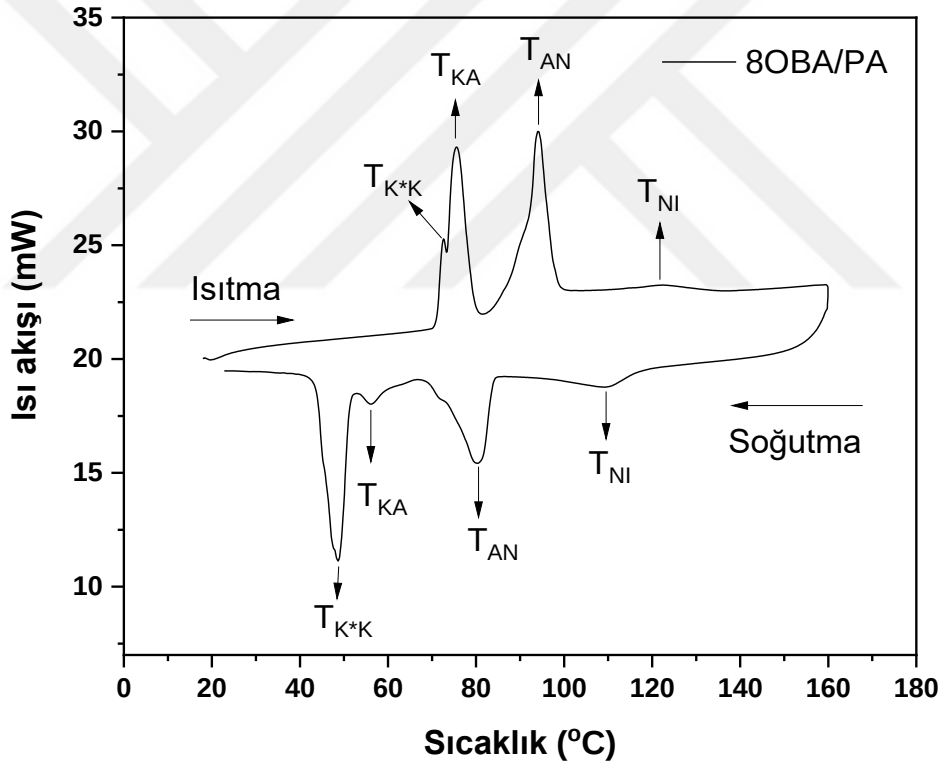
Şekil 4. 16. 8OBA/AA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları

Çizelge 4. 2. Sentezlenen 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA komplekslerinin faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri

Sıvı Kristal Kompleksi	Teknik	T_{K*K} (°C)	ΔH_{K*K} (J/g)	T_{KA} (°C)	ΔH_{KA} (J/g)	T_{AN} (°C)	ΔH_{AN} (J/g)	T_{NI} (°C)	ΔH_{NI} (J/g)	Nematik Alan (°C)
8OBA/AA	Isıtma	-	-	76.96	229.15	96.90	190.24	126.34	111.69	29.44
	Soğutma	-	-	49.79	172.61	86.14	158.22	108.56	117.13	22.42
8OBA/PA	Isıtma	-	-	75.50	222.88	94.15	204.97	123.00	-	28.85
	Soğutma	48.66	213.62	-	-	80.39	168.77	108.00	-	27.61
8OBA/SA	Isıtma	75.07	177.88	94.28	204.82	110.3	102.40	125.00	-	14.7
	Soğutma	34.5	60.53	77.09	229.08	83.49	27.61	107.00	5	23.51

4.3.7. Sentezlenen 8OBA/PA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi

Şekil 4.17 incelendiğinde sentelenen 8OBA/PA sıvı kristal kompleksinin sürekli ısıtma sırasında dört(4) endotermik pik gözlenmiş olup kristal-smektik A faz geçiş sıcaklığının $T_{KA}=75.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve faz geçişi sırasındaki entalpi değişiminin $(\Delta H_{KA})=222.88\text{ J/g}$ olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde smektik A-nematik faz geçiş sıcaklığının $T_{AN}=94.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve entalpi değişiminin $(\Delta H_{AN})=204.97\text{ J/g}$ olarak gözlenmiştir. Sürekli soğutma sırasında dört(4) adet ekzotermik pik gözlenmiştir. Kristal-kristal faz geçiş sıcaklığı $T_{KK}=48.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve entalpi değişiminin $(\Delta H_{KK})=213.62\text{ J/g}$ ve smektik A-nematik faz geçiş sıcaklığının $T_{AN}=80.39\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve entalpi değişiminin $(\Delta H_{AN})=168.77\text{ J/g}$ olarak gözlenmiştir.

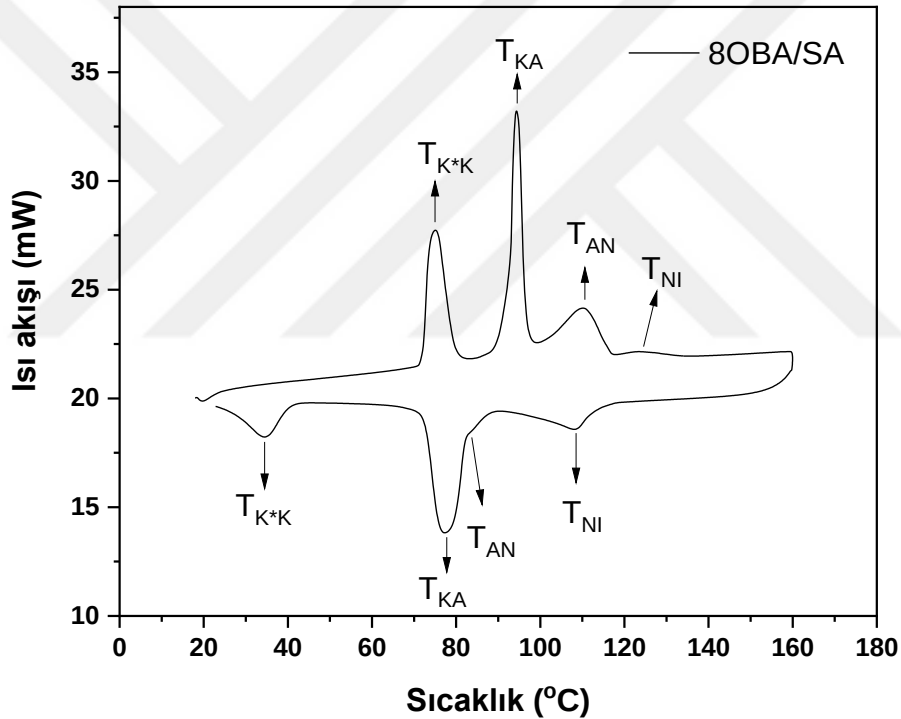


Şekil 4. 17. 8OBA/PA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları

4.3.8. Sentezlenen 8BA/SA Sıvı kristal Kompleksinin DSC Analizi

Şekil 4.18 incelendiğinde sentezlenen 8OBA/SA sıvı kristal kompleksinin sürekli ısıtma sırasında dört(4) endotermik pik gözlenmiş olup kristal-kristal faz geçiş

sıcaklığının $T_{KK}=75.07$ °C ve faz geçişi sırasındaki entalpi değişiminin (ΔH_{KK})=177.88 J/g olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde kristal- smektik A faz geçiş sıcaklığının $T_{KA}=94.28$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{KA})=204.82 J/g olarak gözlenmiştir ve smektik A-nematik faz geçiş sıcaklığının $T_{AN}=110.30$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{AN})=102.40 J/g olarak gözlenmiştir. Sürekli soğutma sırasında dört(4) adet ekzotermik pik gözlenmiştir. Kristal-kristal faz geçiş sıcaklığı $T_{K^*K}=34.50$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{KK})=60.53 J/g, kristal-smektik A faz geçiş sıcaklığının $T_{KA}=77.09$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{KA})=229.80 J/g, smektik A-nematik faz geçiş sıcaklığının $T_{AN}=83.49$ °C ve entalpi değişiminin (ΔH_{AN})=27.61 J/g olarak gözlenmiştir.



Şekil 4. 18. 8OBA/SA sıvı kristal kompleksinin DSC sonuçları

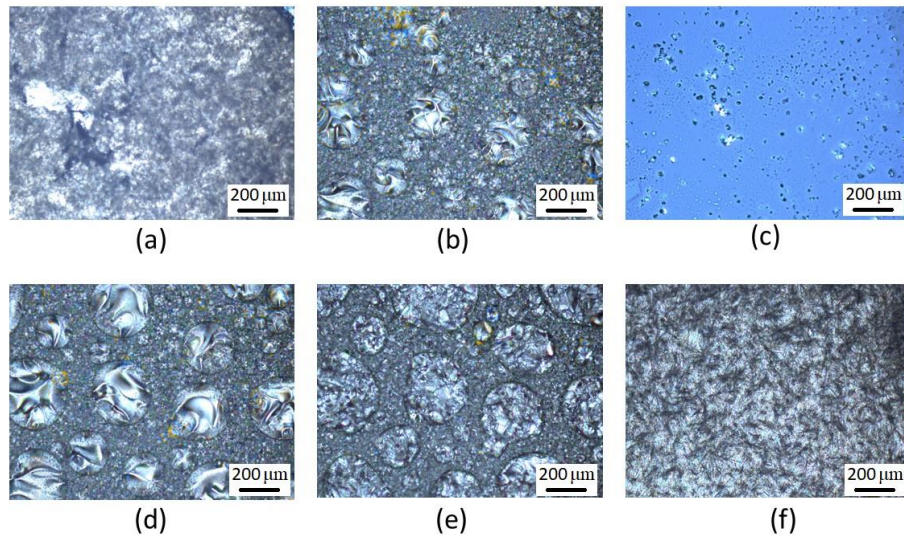
Sonuç olarak sentezlenen sıvı kristallerinin sürekli ısıtma ve soğutma sırasında gözlenen faz geçiş sıcakları ve entalpi değişimleri incelendiğinde sentezlerimizin sıvı kristal özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Çizelge 4.1’de verildiği gibi 8OBA/AA sıvı kristal kompleksinin nematik alan ($T_{NI}-T_{KN}$) aralığı ısıtma esnasında 29,44 °C olurken soğutma esnasında 22,42 °C olarak ölçülmüştür. 8OBA/PA sıvı kristal kompleksinin nematik alan aralığı ısıtma esnasında 28,85 °C olurken soğutma esnasında 27,61 °C

olarak ölçülmüştür. 8OBA/SA sıvı kristal kompleksinin nematik alan aralığı ısıtma esnasında 14,70 °C olurken soğutma esnasında 23,51 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre 8OBA/AA sıvı kristal kompleksinin nematik alan değeri 29,44 °C ile 8OBA/PA ve 8BA/SA sıvı kristal komplekslerin nematik alan değerlerinden daha yüksektir. Ayrıca Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de ısıtmadaki ölçülen geçiş sıcaklığı ve faz geçiş entalpi ısıları soğutma esnasında ölçülen değerlerden daha yüksektir.

4.4. POM Analiz Sonuçları

Elde edilen sıvı kristal karışımların faz geçişlerini incelemek için Batman Üniversitesindeki POM kullanılmıştır. Faz adlandırmaları, POM sonuçlarındaki tekstürlerin literatürle (Gray ve ark., 1984; Okumuş, 2012) karşılaştırılması ve DSC sonuçları dikkate alınarak yapılmıştır. Sıvı kristal hücreleri, iki cam lamel arasında oluşturulmuş ve numuneler 200°C’ye kadar ısıtılarak mikroskop altında gözlemlenmiştir. Faz geçişleri ve ara görüntüler bilgisayara kaydedilerek işlemler tekrarlanmıştır.

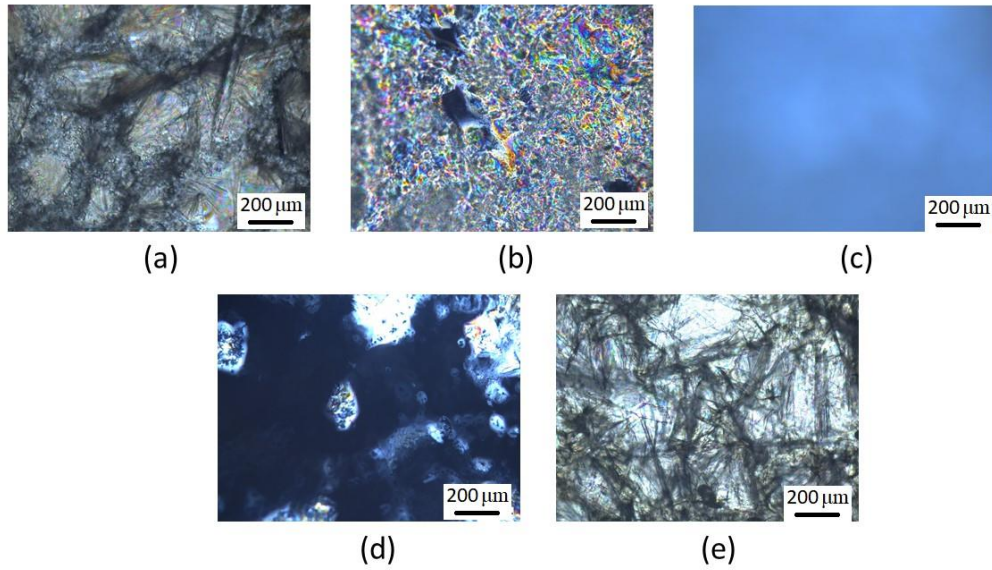
4.4.1. Sentezlenen 6BA/AA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi



Şekil 4. 19. Sentezlenen 6BA/AA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (40 °C), (b): Nematik (100 °C), (c): İzotropik (140 °C), (d): Nematik (120 °C), (e): Nematik-Kristal geçiş anı (85 °C), (f): Kristal (75 °C)

2:1 oranında üretilen 6BA/AA sıvı kristal karışımının mezomorfik yapıları POM ile incelenmiş ve Şekil 4.19'da sunulmuştur. Isıtma ve soğutma sırasında faz yapılarının kristal, nematik ve izotropik olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.19(a), 40°C'de kristal fazı; Şekil 4.19(b), 100°C'de nematik fazı; Şekil 4.19(c), 140°C'de izotropik fazı; Şekil 4.19(d), 120°C'de nematik fazı ve Şekil 4.19(e), 85°C'de nematik-kristal geçiş anını göstermektedir. Soğutma sırasında ise Şekil 4.19(f), 75°C'de kristal fazı göstermektedir.

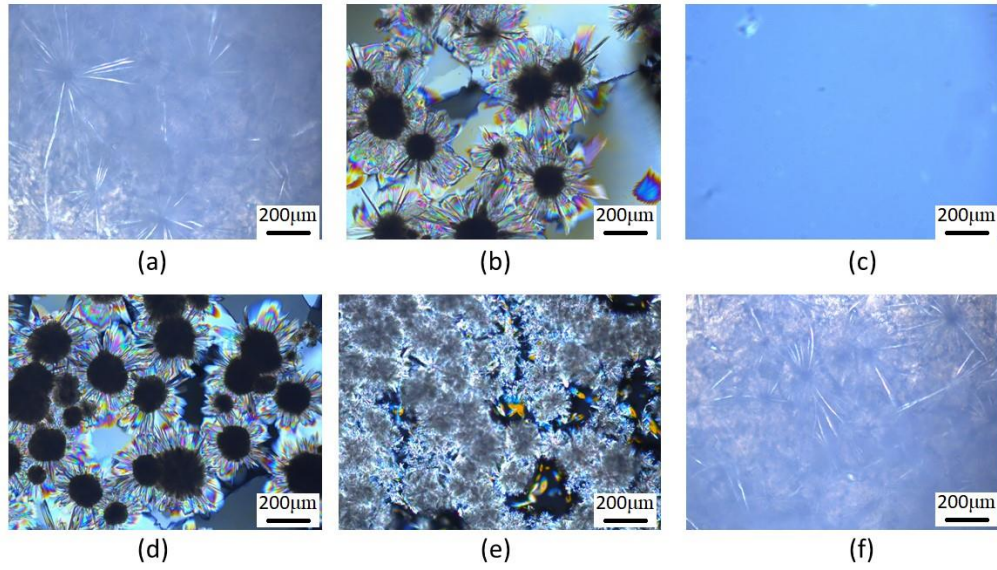
4.4.2. Sentezlenen 6BA/PA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi



Şekil 4. 20. Sentezlenen 6BA/PA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (42 °C), (b): Nematik (80 °C), (c): İzotropik (110 °C), (d): İzotropik-Nematik geçiş anı (50 °C), (e): Kristal (30 °C)

Benzer şekilde, 2:1 oranında üretilen 6BA/PA sıvı kristal karışımının mezomorfik yapıları POM ile incelenmiş ve Şekil 4.20'de sunulmuştur. Hem ısıtma hem de soğutma sırasında karışımın kristal, nematik ve izotropik faz yapıları gözlemlenmiştir. Şekil 4.20(a), 42°C'de kristal fazı; Şekil 4.20(b), 80°C'de nematik fazı; Şekil 4.20(c), 110°C'de izotropik fazı; Şekil 4.20(d), 50°C'de izotropik-nematik geçişi ve Şekil 4.20(e), 30°C'de soğutma sırasında gözlenen kristal fazı göstermektedir.

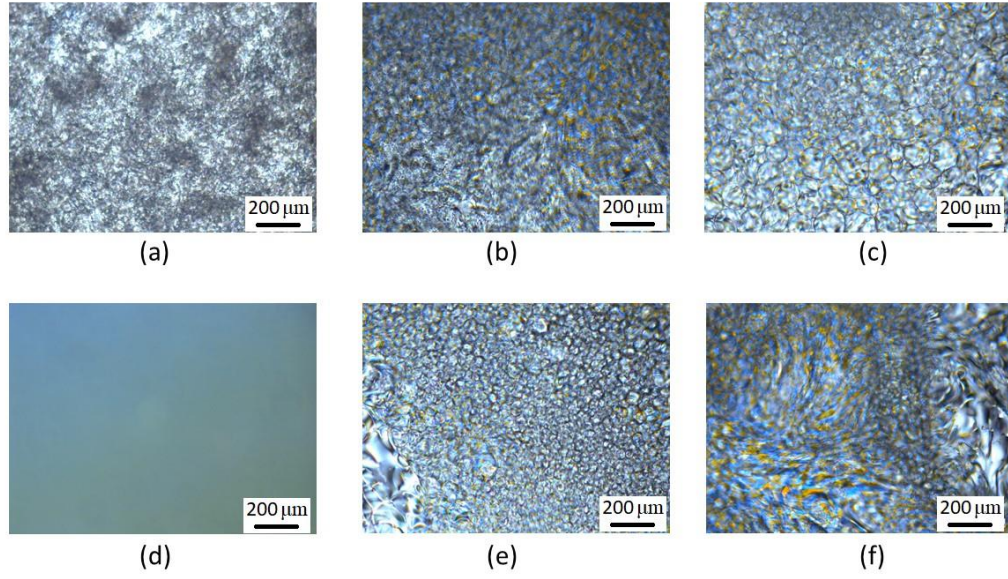
4.4.3. Sentezlenen 6BA/SA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi



Şekil 4. 21. Sentezlenen 6BA/SA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (45 °C), (b): Nematik (78 °C), (c): İzotropik (120 °C), (d): Nematik (80 °C), (e): Nematik-Kristal geçiş anı (62 °C), (f): Kristal (30 °C)

2:1 oranında üretilen 6BA/SA sıvı kristal karışımının mezomorfik yapıları POM ile incelenmiş ve Şekil 4.21’de sunulmuştur. Isıtma ve soğutma sırasında faz yapılarının kristal, nematik ve izotropik olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.21(a), 45°C’de kristal fazı; Şekil 4.21(b), 78°C’de nematik fazı; Şekil 4.21(c), 120°C’de izotropik fazı; Şekil 4.21(d), 80°C’de nematik fazı ve Şekil 4.21(e), 62°C’de nematik-kristal geçişini göstermektedir. Soğutma sırasında ise Şekil 4.21(f), 30°C’de kristal fazı göstermektedir.

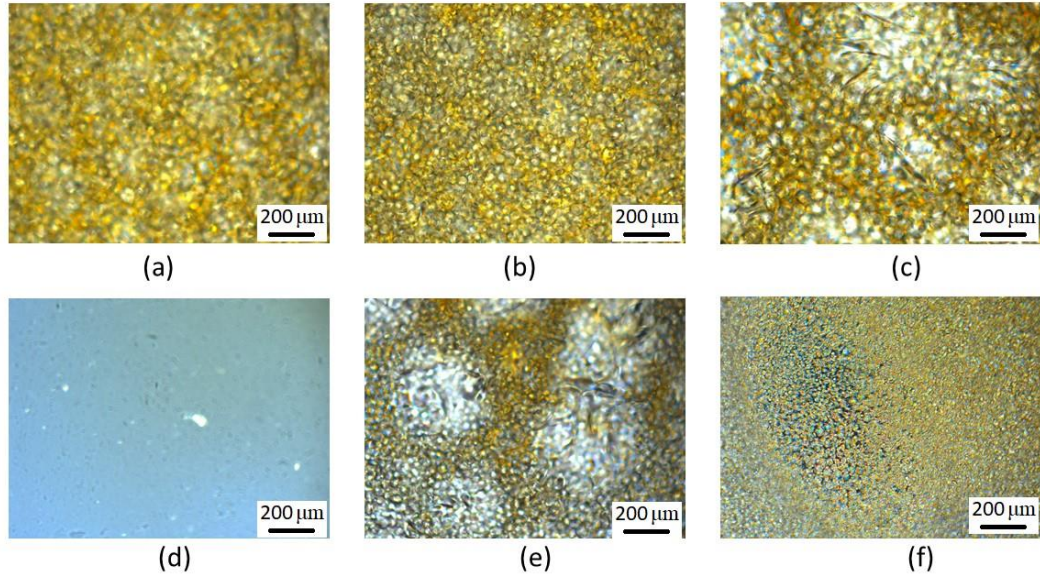
4.4.4. Sentezlenen 8OBA/AA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi



Şekil 4. 22. Sentezlenen 8OBA/AA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (50 °C), (b): Smektik A (88 °C), (c): Nematik (110 °C), (d): İzotropik (140 °C), (e): Nematik-Smektik A geçiş anı (85 °C), (f): Smektik A-Kristal geçiş anı (50 °C)

2:1 oranında üretilen 8OBA/AA sıvı kristal karışımının mezomorfik yapıları POM ile incelenmiş ve Şekil 4.22’de sunulmuştur. Isıtma ve soğutma sırasında faz yapılarının kristal, smektika, nematik ve izotropik olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.22(a), 50°C’de kristal fazı; Şekil 4.22(b), 88°C’de smektika fazı; Şekil 4.22(c), 110°C’de nematik fazı; Şekil 4.22(d), 140°C’de izotropik fazı; Şekil 4.22(e), 85°C’de nematik-smektika geçişini ve Şekil 4.22(f), 50°C’de smektika-kristal geçişini göstermektedir.

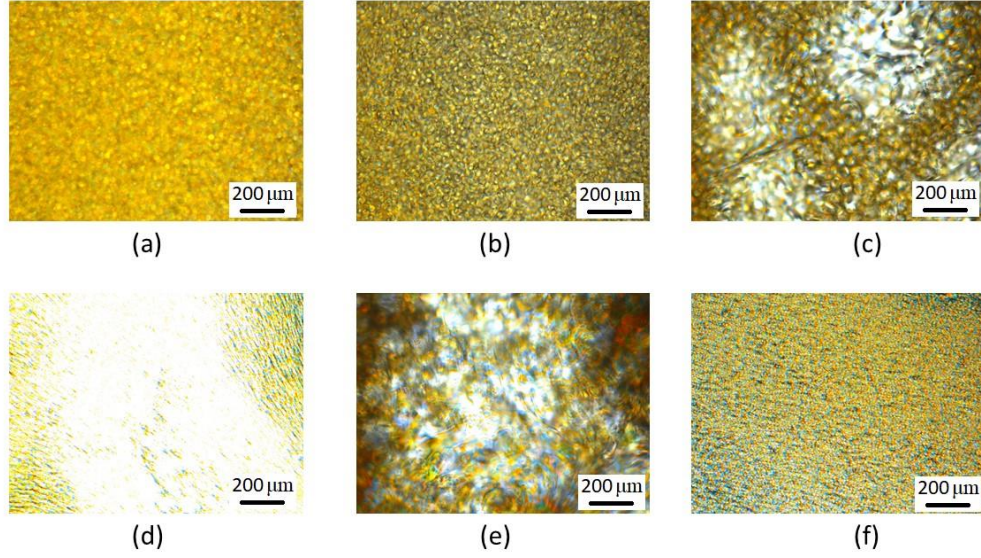
4.4.5. Sentezlenen 8OBA/PA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi



Şekil 4. 23. Sentezlenen 8OBA/PA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (60 °C), (b): Smektik A (85 °C), (c): Nematik (105 °C), (d): İzotropik (140 °C), (e): İzotropik-Nematik geçiş anı (110 °C), (f): Nematik-Smektik A geçiş anı (80 °C)

2:1 oranında üretilen 8OBA/PA sıvı kristal karışımının mezomorfik yapıları POM ile incelenmiş ve Şekil 4.23'te sunulmuştur. Isıtma ve soğutma sırasında faz yapılarının kristal, smektikA, nematik ve izotropik olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.23(a), 60°C'de kristal fazı; Şekil 4.23(b), 85°C'de smektikA fazı; Şekil 4.23(c), 105°C'de nematik fazı; Şekil 4.23(d), 140°C'de izotropik fazı; Şekil 4.23(e), 110°C'de izotropik-nematik geçişi ve Şekil 4.23(f), 80°C'de nematik-smektikA geçişini göstermektedir.

4.4.6. Sentezlenen 8OBA/SA Sıvı kristal Kompleksinin POM Analizi



Şekil 4. 24. Sentezlenen 8OBA/SA Sıvı kristal kompleksinin POM görüntüleri; (a): Kristal (65 °C), (b): Smektik A (100 °C), (c): Nematik (120 °C), (d): İzotropik-Nematik geçiş anı (125 °C), (e): Nematik (95 °C), (f): Smektik A (83 °C)

2:1 oranında üretilen 8OBA/SA sıvı kristal karışımının mezomorfik yapıları POM ile incelenmiş ve Şekil 4.24'te sunulmuştur. Isıtma ve soğutma sırasında faz yapılarının kristal, smektikA, nematik ve izotropik olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.24(a), 65°C'de kristal fazı; Şekil 4.24(b), 100°C'de smektikA fazı; Şekil 4.24(c), 120°C'de nematik fazı; Şekil 4.24(d), soğutma sırasında 125°C'de izotropik-nematik geçişini; Şekil 4.24(e), soğutma sırasında 95°C'de nematik fazı ve Şekil 4.24(f), soğutma sırasında 83°C'de smektikA fazını göstermektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Tezin amacı doğrultusunda 6BA/AA, 6BA/PA, 6BA/SA, 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA supramoleküler sıvı kristal kompleksleri 2:1 mol/mol oranında başarı ile sentezlenmiştir.

- Bu tez çalışmasında, mezojenik olan 4-Heksilbenzoik asit (6BA), 4-(Oktiloksi)benzoik asit (8OBA) sıvı kristalleri mezojenik olmayan Adipik asit (AA), Pimelik asit (PA) ve Suberik asit (SA) kimyasallarından 6BA/AA, 6BA/PA, 6BA/SA ve 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA ikili supramoleküler sıvı kristal kompleksleri sentezlenmiştir.
- Sentezlenen karışımların termal analizleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. DSC verileri kullanılarak sıvı kristal mezojenik fazların faz geçiş sıcaklığı, entalpi ve nematik alan gibi sıvı kristalik özellikleri araştırılmıştır.
- DSC sonuçları devamlı ısıtma ve soğutma esnasında kristal-smektik, smektik-nematik ve nematik izotropik faz dönüşümlerini işaret eden piklerin oluştuğunu göstermiştir. Sentezlenen sıvı kristal komplekslerde geniş nematik alanların oluştuğu gözlenmiştir. 6BA/AA sıvı kristal kompleksinin nematik alan değeri 39,98 °C ile bu tezde sentezlenen diğer tüm sıvı kristal komplekslerin nematik alan değerlerinden daha yüksektir. Isıtma sırasında ölçülen faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri, soğutma sırasında ölçülenlerden daha yüksek bulunmuştur.
- Üretilen karışımların morfolojik faz yapıları POM ile araştırılmıştır ve faz geçişlerinin DSC ile gözlenen faz geçişleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.
- Sentezlenen supramoleküler sıvı kristal kompleksinin Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektroskopisi (FTIR) analiz sonuçlarında molekül içi bağlarının korunduğu ve karışımı oluşturan bileşenlerin molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluştuğu gözlenmiştir.
- Sentezlenen sıvı kristal karışımların kristal durumundaki mikro yapı özellikleri XRD ile araştırılmıştır. XRD sonuçları ile moleküller arası bazal mesafeleri elde edilmiştir.

- 6BA/AA, 6BA/PA ve 6BA/SA sıvı kristal kompleksinin ortalama bazal mesafe değerleri sırası ile 3.76, 4.33 ve 4.63 Å olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde 8OBA/AA, 8OBA/PA ve 8OBA/SA sıvı kristal komplekslerinin ortalama bazal mesafe değerleri sırası ile 4.54, 4.83 ve 5.09 Å olarak hesaplanmıştır. 6BA/AA kompleksinin bazal mesafe değeri 3.76 Å ile diğer sentezlenen tüm sıvı kristal komplekslerin bazal mesafe değerlerinden daha küçüktür.
- POM ve DSC sonuçları, sentezlerin sıvı kristal yapıya sahip olduğunu ve faz geçişlerini açıkça ortaya koymuştur.
- Isıtırkenki faz geçişlerinin, soğuturkenki geçiş sıcaklıklarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- XRD analizindeki bazal mesafelerin, karışımı oluşturan bileşenlerin bazal mesafe aralıkları içinde olduğu tespit edilmiştir.
- Ayrıca monomer yapı uzunluğu arttıkça ortalama bazal mesafe değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Sonuç olarak sentezlenen supramoleküler sıvı kristal komplekslerinin sıvı kristal özellikleri taşıdığı görülmüştür.

5.2. ÖNERİLER

- Tez sonuçlarının güvenilirliği için sentezlenen numunelerde daha hassas ölçümler yapılarak tekrar test edilebilir.
- Sentezlerde kullanılan malzemelerin mol oranları değiştirilerek daha farklı sıvı kristal kompleks malzemeleri oluşturulabilir.
- Sentezlerde mezojenik maddeler sabit tutularak daha farklı kimyasallarla yeni sıvı kristal kompleks malzemeleri üretilebilir.
- Deneysel sonuçlarımıza göre üretilen sıvı kristal komplekslerin deneyde kullanılan mezojenik maddelere benzer özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Farklı metotlar ve malzemeler kullanılarak daha geniş nematik alanlı sıvı kristal kompleks malzemeleri sentezlenebilir.

KAYNAKLAR

- CollingP.and Hird,M., 2001, Introduction to Liquid Crystals, Chemistry And Physics, *Taylor& Francis Ltd.*
- Das S. K. and Rey A. D., 2006, Computational thermodynamics of multiphase polymer– liquid crystal materials, *Computational Materials Science* 38, pp. 325-339.
- Değirmenci, M., 1996, Sıvı Kristal Polimerler, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Semineri, *Elazığ*, 58.
- Demus D, J. Goodby, G. W. Gray, H.-W. Spiess, V. Vill, 1999, *Physical Properties of Liquid Crystals*. 8-11
- Demus, D., Goodby, J. W., Gray, G. W., Spiess, H. W., & Vill, V. (Eds.). 2008. *Handbook of liquid crystals, volume 3: high molecular weight liquid crystals* (Vol. 3). John Wiley & Sons.
- Dierking, I., 2003, Textures of Liquid Crystals 1st ed. *Wiley-VCH, Germany*, 33-36, 172-212.
- Dindar, S. 2021, Bazı Mezojenik Nonmezojenik Sıvı Kristallerin Termal ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, Batman Üni. Yüksek Lisans Tezi, *Batman*.
- Eker Z., 2023. 6ba/Naba (N=3, 4) Sıvı Kristal Karışımlarının Üretimi Ve Karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi Batman Üniversitesi, *Batman*
- Ekici Z., 2014. Sıvı kristaller,Genel Özellikleri, Sıvı kristallerin sentezi ve uygulama alanları Adıyaman Üniversitesi Yüksek Lisans tezi, *Adıyaman*.
- Emek, M., 2007, Faz Dönüşümlerinin Nematik Sıvı Kristallerin Elektrooptik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Adana*, 2-35.
- Eskalen, H. 2013, ‘Nanoparçacık Katkılı Nematik Sıvı Kristallerin Optiksel Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi’, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş*.
- Eskalen, H., Okumuş, M., & 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., & Kerl, S., 2019, Thermal and electro-optical properties of graphene oxide/dye-doped nematic liquid crystal. *Brazilian Journal of Physics*, 49, 341-347
- Soule, Ezequiel R., and Alejandro D. Rey. , 2005, Modelling complex liquid crystal mixtures: from polymer dispersed mesophase to nematic nanocolloids, *Molecular Simulation* 38, no. 8-9 (2012): 735-750.

- Ginzburg, V. V., 2005, Influence of nanoparticles on miscibility of polymer blends. A simple theory, *Macromolecules* 38, pp. 2362-2367.
- Golmohammadi, M. and Rey A. D., 2009, Thermodynamic Modeling of Carbonaceous Mesophase Mixtures, *Liquid Crystals* 36, pp. 75-92.
- Gray, G.W., Goodby J.W., 1984, Smectic Liquid Crystals Textures and Structures, *Leonard Hill, London*
- Irina, C., 2020, Liquid Crystals and Display Technology, Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection, Iași, *Romania*.
- Jiang, H., Toshima, N., 2009, Low Driving Voltage of a Liquid Crystals Device Fabricated from 4'-Pentyl 4-biphenylcarbonitrile Doped with Environmentally Friendly ZnO Nanoparticles. *Chemistry Letters*, 38 566-567.
- Karapınar, R., Gündüz, E., 1996, Light Scattering Measurements in Nematic Liquid Crystals II, *Trj. Phys.* 20.
- Kaya, N., Akkurt, F., Alıcılar, A., 2011, Alignment and Reorientation in Nematic Liquid Crystals Doped with Red Dye and Carbon Nanotube. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructure, 19: 262-270.
- Khoo, I.C., Wu, S.T., 1993, Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals, *World Scientific*, New Jersey, 90.
- Kim, E. B., Guzman O, Grollau S., Abbott N. L. and De Pablo J. J., 2004, Interactions between spherical colloids mediated by a liquid crystal: A molecular simulation and mesoscale study, *The Journal of chemical physics*, 121, pp. 1949.
- Mahmood, N., Al-Qraawy, W. K. N., & Almosawy, M. G. A. A., 2021. Review on liquid crystals and their chemical applications. *International Journal of Chem-informatics Research*, 7(1), 8-15.
- Martinez-Miranda, L. J., Traister, K. M., Melendez-Rodriguez, I., Salamanca-Riba, L. , 2010, Liquid crystal-ZnO nanoparticle photovoltaics: Role of nanoparticles in ordering Liquid crystal, *Applied Physics Letters*, 97: 2233301-3.
- Matsuyama A. and Kato T., 1996, Theory of binary mixtures of a flexible polymer and a liquid crystal, *Journal of Chemical Physics* 105, pp. 1654-1660.
- Matsuyama A. and Hirashima R., 2008, Phase separations in liquid crystal-colloid mixtures, *Journal of Chemical Physics* 128, pp. 044907.,
- M. Barón, 2001, Definitions of basic terms relating to low-molar-mass and polymer liquid crystals (IUPAC Recommendations 2001), *Pure and Applied Chemistry*, vol. 73, pp. 845-895.

- Naradikian, H., Katranchev, B., Keskinova, E., Petrov, M.P., Marcerou, J.P., 2004. Thermal and Electroconvective Dendrites in the Nematic Phase with Short Range Smectic Order of 4, nHeptyl and 4, n-Octyloxybenzoic Acids. *Bulg. J. Phys.* 31, 118–129.
- Rajanandkumar R., Pongali S. P., N., M. L. N. 2013, Madhu Mohan, Characterization of Hydrogen Bonded Liquid Crystals Formed by Suberic Acid and Alkyl Benzoic Acids, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 587, 60-79.
- Okumus M., Ozgan S., Kırık I., Kerli S., 2016, Thermal and optical characterization of liquid crystal 40-hexyl-4-biphenylcarbonitrile/4-hexylbenzoic acid mixtures, *J. Mol. Struct.* 1120, 150-155.
- Okumuş M. 2012, Alkil Benzoik asit ve alkiloksi siyanobifenil- benzoik asit sıvı kristaller ve karışımlarının faz dönüşümleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Ün. Doktora Tezi, *Kahramanmaraş*.
- Okumuş M., Sünkür M., 2019, Hidrojen Bağlı 8OBA/ADA İkili Kompleks Sıvı Kristalin Termal ve Mikro yapısal Özellikleri, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, *Iğdır*.
- Okumuş, M., 2017, Bazı Üçlü Karıştırılmış Hidrojen Bağlı Sıvı Kristallerin Termal özelliklerine 4-oktiloksi-4'-siyanobifenil (8OCB) mezojeninin etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 101-108.
- Okumus, M ve Ozgan, Ş., 2013, Investigation of the phase transition and absorption properties of liquid crystal hexylcyanobiphenyl/octylcyanobiphenyl mixtures. *Asian Journal of Chemistry*, 25(7), 3879.
- Okumuş, M., 2017, Investigation of thermal and optical properties of some quartet mixed hydrogen-bonded liquid crystals. *International Journal of Modern Physics B*, 31(29), 1750224.
- Okumuş, M., 2016, Investigation of thermo-electro-optic properties of some mixed nematic liquid crystals. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 625(1), 117-125.
- Okumuş, M., Eskalen, H., Sünkür, M., & Özgan, Ş., 2019, Mesogenic properties of PAA/6BA binary liquid crystal complexes. *Journal of molecular structure*, 1178, 428-435.
- Okumuş, M., 2018, Synthesis and characterization of hydrogen bonded liquid crystal complexes by 4-octyloxy benzoic acid and some dicarboxylic acids. *Journal of Molecular Liquids*, 266, 529-534.
- Okumuş, M., & Dindar, S., 2023, Thermal and mesomorphic properties of 8OBA/nABA (n= 3, 4) hydrogen-bonded liquid crystalline complexes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(21), 11577-11587.
- Okumuş, M., & Dindar, S., 2023, Thermal and mesomorphic properties of 8OBA/nABA (n= 3, 4) hydrogen-bonded liquid crystalline complexes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(21), 11577-11587.

- Okumuş, M., & Özgan, Ş., 2014, Thermal and mesomorphic properties of ternary mixtures of some hydrogen-bonded liquid crystals. *Liquid Crystals*, 41(9), 1293-1302.
- Okumuş, M., Özgan, Ş., Kırık, İ., & Kerli, S., 2016, Thermal and optical characterization of liquid crystal 4'-hexyl-4-biphenylcarbonitrile/4-hexylbenzoic acid mixtures. *Journal of Molecular Structure*, 1120, 150-155.
- Okumuş, M., Özgan, Ş., & Yılmaz, S., 2014, Thermal and optical properties of some hydrogen-bonded liquid crystal mixtures. *Brazilian Journal of Physics*, 44, 326-333.
- Okumuş, M., 2015, Thermal characterisation of binary mixture of some supramolecular liquid crystals. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 120, 1603-1608.
- Özgan, Ş., & Okumuş, M., 2011, Thermal and spectrophotometric analysis of liquid crystal 8CB/8OCB mixtures. *Brazilian Journal of Physics*, 41, 118-122.
- Sünkür, M., & Okumuş, M., 2019, Hidrojen Bağlı 8OBA/ADA İkili Kompleks Sıvı Kristalin Termal ve Mikroyapısal Özellikleri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 956-966.
- Soule E. R., Borrajo J. and Williams R. J. J., 2007, Thermodynamic analysis of a polymerization-induced phase separation in nanoparticle-monomer-polymer blends, *Macromolecules* 40, pp. 8082-8086
- Sundaram S., Vasanthi T., Subhasri P., Rajasekaran T.R., Baskar K., Jayaprakasam R., Senthil T.S. and Vijayakumar V.N., 2017, Thermal and optical studies on induced smectic phases of inter molecular hydrogen bonded liquid crystals between decyloxy benzoic acid and citric acid, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 648:1, 148-161.
- Sünkür, M., & Okumuş, M., 2019, Hidrojen Bağlı 8OBA/ADA İkili Kompleks Sıvı Kristalin Termal ve Mikroyapısal Özellikleri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 956-966.
- Svärd M., Nordström F.L., Jasnobulka T. and Rasmuson Å.C., 2010, Thermodynamics and Nucleation Kinetics of m-Aminobenzoic A, *Cryst. Growth Des.* 10(1), 195-204.
- Woltman S. J, G. P. Crawford, G. D. Jay, 2007, *Liquid Crystals Frontiers in Biomedical Applications*, 1-3.
- Valisko', M., Liszi, J., Szalai, I., 2004, Relative Permittivity of a Few H-bonded Liquid Crystals. *Journal of Molecular Liquids* 109, 39-43.
- Vasanthi T., Balasubramanian V., Vijayakumar V.N., 2021, Theoretical studies (DFT) on hydrogen bonded liquid crystal derived from 4-amino and 4-dodecyloxy benzoic acids, *Materials Today: Proceedings* 47, 1724-1730.

- Vasanthi T., Subhasri P., Jayaprakasam R. and Vijayakumar V.N., 2019, Experimental and computational studies on induced thermochromic effect and re-entrant smectic phase in linear double hydrogen-bonded binary liquid crystal mixtures, *Phase Transitions*, 92:3, 229-248.
- Yang, D. K. and Wu, S. T. 2006. Fundamentals of Liquid Crystal Devices. *John Wiley & Sons*: New York, NY, USA.
- Yoshida, H., Kawamoto, K., Kuba, H., Tsuda, T., Fuji, A., Kuwabata, S., Ozaki, M., 2010, Nanoparticle-Dispersed Liquid Crystals Fabricated by Sputter Doping. *Advanced Materials*, 22: 622-626.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Orhan ALP
Uyruğu : TC

EĞİTİM

Derece	Adı	Bitirme Yılı
Üniversite	ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ	2002
Yüksek Lisans	BATMAN ÜNİVERSİTESİ	2024
Doktora		

İŞ DENEYİMLERİ

Kurum	Görevi	Yıl
Özel	Öğretmen/Müdür	14
Meb	Öğretmen	3
Özel	Genel Müdür	5

UZMANLIK ALANI: FİZİK

YABANCI DİLLER: İNGİLİZCE

YAYINLAR