

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

**TERMOTROPİK KOLESTERİK SIVI KRİSTALLER:
MEZOMORFİK, TERMO-MORFOLOJİK VE TERMO-
OPTİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇINAR ÖZDEN

AĞUSTOS 2013

MUĞLA

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

ÇINAR ÖZDEN tarafından hazırlanan **TERMOTROPİK KOLESTERİK SIVI KRİSTALLER: MEZOMORFİK, TERMO-MORFOLOJİK VE TERMO-OPTİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ** başlıklı tezinin, 29/08/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Prof. Dr. Arif NESRULLAZADE (Jüri Başkanı, Danışman)

İmza:

Fizik Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Doç. Dr. Ramazan GÜP (Üye)

İmza:

Kimya Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Doç. Dr. Atilla COŞKUN (Üye)

İmza:

Fizik Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. Arif NESRULLAZADE

İmza:

Fizik Anabilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. Arif NESRULLAZADE

İmza:

Danışman, Fizik Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Savunma Tarihi: 29/08/2013

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

ınar ÖZDEN

29/08/2013

ÖZET
**TERMOTROPİK KOLESTERİK SIVI KRİSTALLER: MEZOMORFİK,
TERMO-MORFOLOJİK VE TERMO-OPTİKSEL ÖZELLİKLERİN
İNCELENMESİ**

Çınar ÖZDEN

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Arif NESRULLAZADE

Ağustos 2013, 82 sayfa

Termotropik sıvı kristallerin özel türü olan kolesterik sıvı kristaller, özgün kiral yapıya sahip olarak, diğer tür termotropik sıvı kristallerde gözlenmeyen fiziksel özelliklere sahiptirler. Kolesterik sıvı kristaller tek optiksel eksenli, fiziksel anizotropik malzemeler olarak hem optiksel etkinliğe hem de optiksel çift kırılmaya sahiptirler. Söz konusu sıvı kristallerin optiksel etkinliği sıcaklığa, magnetik ve elektrik alanlarının etkilerine yüksek derecede hassasiyet göstermektedirler. Bu yüzden kolesterik sıvı kristaller, zengin fiziksel özellikler sergileyerek, yüksek uygulama potansiyeline sahiptirler.

Bu çalışmada iki adet kolesterik sıvı kristalik malzemenin termo-morfolojik, termotropik ve termo-optiksel özellikleri geniş sıcaklık aralığında, özellikle de *kolesterik mezofazı-izotropik sıvı* faz geçiş bölgesinde ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Öyle ki, bu çalışmada iki adet kolesterik sıvı kristalin tekstür dönüşümleri, ortalama kırılma indisi n , kırılma indisleri n_e ve n_o , çiftkırılma Δn , optiksel geçirgenliği I , soğurma katsayısı α , optiksel kutuplanma α_e ve α_o ve kutuplanma anizotropisi $\Delta\alpha$ 'nın sıcaklıkla değişimleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda yeni bilimsel bulgular elde edilmiştir. Yeni bulgular ilgili model ve teoriler çerçevesinde tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sıvı Kristaller, Kolesterik, Faz Geçişler, Tekstür, Optiksel Geçirgenlik, Optiksel Soğurma, Soğurma Katsayısı, Çift Kırılma

ABSTRACT

THEMOTROPIC CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS, INVESTIGATIONS OF MESOMORPHIC, THERMO-MORPHOLOGIC AND THERMO-OPTICAL PROPERTIES

Çınar ÖZDEN

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Informatics

Supervisor: Prof. Dr. Arif NESRULLAZADE

August 2013, 82 Pages

Cholesteric liquid crystals are an specific type of thermotropic liquid crystalline materials and have unusual physical properties. Cholesteric liquid crystals are optically uniaxial materials and optical birefringence. Optical activity, and accordingly pitch of cholesteric spiral, is extremally sensitive to temperatures and, electrical and magnetic field applications. Therefore, cholesteric liquid crystals exhibit rich physical properties and have high application possibilities.

In this work, the thermo-morphologic, thermotopic and thermo-optical properties of two cholesteric liquid crystalline materials in large temperature interval and especially in regions of the cholesteric mesophase- isotropic liquid phase transitions have been investigated. Namely, in this work temperature transformation of typical textures have been studied and temperature dependences of the mean refractive index n , refractive indexes n_e and n_o , optical birefringence Δn , light transmission I , absorption coefficient α , optical polarizability α_e and α_o and anisotropy of optical polarizability $\Delta\alpha$ have been determined. The results of such investigations are discussed using the corresponding models and theories.

Key Words: Liquid Crystals, Cholesteric, Phase Transitions, Texture, Optical Transmission, Optical Absorption, Absorption Coefficient, Birefringence

ÖNSÖZ

Değerli hocam Prof. Dr. Arif NESRULLAZADE'ye çalışmalar sırasında göstermiş olduğu yardımlar ve bilimsel bir çalışmanın temellerini öğrettiği için teşekkürü bir borç bilir, tezin ana hatlarının belirlenmesinde değerli katkılarını esirgemediği için ve eğitim hayatımın her aşamasında engin bilgi birikimini benimle paylaştığı için şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın tüm aşamalarında desteğini hissettiğim sevgili arkadaşım Ekrem Çağrı KORBA'ya, tüm deneyimlerini ve yardımlarını benden esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Nejmettin AVCI, Araş. Gör. Pınar ÖZDEN ve Uzman Şadan ÖZDEN başta olmak üzere benden desteğini esirgemeyen tüm hocalarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca maddi, manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, beni hiç yalnız bırakmayan değerli aileme minnettar olduğumu belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	2
2.1. Sıvı Kristallerin Genel Özellikleri.....	2
2.2. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması	3
2.2.1. Termotropik sıvı kristaller	4
2.2.2. Kolesterik sıvı kristaller.....	7
2.3. Kiral Sıvı Kristal Bileşiklerin Yapısı	12
2.4. Kolesteriklerin Yönelim Özellikleri.....	15
2.5. Kolesterik Sıvı Kristallerin Tekstürleri	18
2.6. Kolesterik Düzen Parametresi ve Sıvı Kristal Faz Geçişi	19
2.6.1. Yapı ve simetri.....	19
2.6.2. Kolesterik faz için düzen parametresi.....	21
2.6.3. Sıvı kristallerde faz geçişleri	22
2.7. Sıvı Kristallerin Optiksel Özellikleri.....	25
2.7.1. Optiksel eksen ve çift kırılma	25
2.7.2. Optiksel etkinlik.....	33
2.7.3. Lambert-Beer yasası	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM	36
3.1. İncelenen Sıvı Kristalik Malzemeler	36
3.2. Örneklerin Hazırlanması	37
3.3. Araştırma Yöntemleri.....	38
3.3.1. Polarizasyon optik mikroskopisi.....	38
3.3.2. Abbe refraktometresi	39

3.3.3. Optiksel geçirgenliklerinin sıcaklığa bağımlılıklarının incelenmesi için kullanılan deneysel yöntemler	41
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	44
4.1. AEP ve COC Sıvı Kristallerin Termo-Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Sonuç ve Tartışmalar	44
4.2. Kırılma İndisi ve Çift Kırılmanın İncelenmesi, Sonuç ve Tartışmalar	51
4.3. Optiksel Geçirgenliğin İncelenmesi, Sonuç ve Tartışmalar	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Termotropik sıvı kristallerin sergiledikleri tipik tekstürler ve fazların molekül yapıları	6
Çizelge 3.1. COC ve AEP için faz geçiş sıcaklıkları	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Katı, sıvı kristal ve sıvının molekül yönelimi.....	3
Şekil 2.2. Katı kristal ve izotropik sıvı faz arasındaki sıvı kristallik mezofazlar.....	3
Şekil 2.3. Sıvı kristallerin sınıflandırılması	4
Şekil 2.4. Termotropik sıvı kristallerin molekül yapıları	5
Şekil 2.5. Termotropik sıvı kristal fazları	7
Şekil 2.6. Kolesterik sıvı kristal fazın heliks adımı	8
Şekil 2.7. DNA molekülü.....	9
Şekil 2.8. Kolesterik fazın sarmal yapısının şematik gösterimi	11
Şekil 2.9. Enantiomerik mezojenlerin yapısına benzer spiral merdivenlerin zıt el simetrisi	12
Şekil 2.10. Kiral bir amino asidin genel gösterimi.....	13
Şekil 2.11. Sıvı kristal moleküllerin yüzeyde dizilimleri (a) planar ve (b) homeotropik.....	17
Şekil 2.12. Kolesterik faz (sol elli sarmal, $p < 0$) yapısı ve simetrisi	20
Şekil 2.13. Sıvı kristal ortamdaki polarize ışığın davranışı	26
Şekil 2.14. Pozitif ve negatif eksenli yapıda, kırılma indislerinde meydana gelen anizotropi.....	28
Şekil 2.15. Işık çift kırıcı ortamda optik belirli bir açı yaparak ilerlediği durumun çizimi.....	30
Şekil 2.16. Çapraz polarizatörler arasında bulunan sıvı kristal moleküllerin, polarizatör düzlemine belirli bir açı altında yönelimi	31
Şekil 2.17. Malzemeye gelen ve malzemeyi terk eden monokromatik bir ışın demeti	35
Şekil 3.1. Cholesteryl cleyl carbonate (COC)'ın kimyasal yapısı	36
Şekil 3.2. Azobenzene, 4-ethoxy-4'-pentyl (AEP)'in kimyasal yapısı	36
Şekil 3.3. Polarizasyon optiksel mikroskobu	39
Şekil 3.4. Abbe refraktometresi	40
Şekil 3.5. Termooptiksel düzenek, 1.BPW-34 silikon PIN Siemens fotodiyot, 2.Keithley 2000 Dijital Multimetre, 3. İnstek GPS-3303 DC Güç Kaynağı, 4. Leybold 666 209 Dijital Termometre, 5. Termos, 6.Keithley 2010 Dijital Multimetre, 7. Termostat ısıtıcı, 8.Lazer ışık kaynağı, 9. Cu-Co diferansiyel termoçift, 10. İçi sıvı kristal malzeme ile doldurulmuş yassı kapilyar sandviç-hücre, 11. analizör, 12. Polarizör	42

Şekil 4.1. AEP sıvı kristalde tekstür dönüşümleri. Çapraz polarizörler. Büyütme x200. Sıcaklık 297 K	45
Şekil 4.2. Kolesterik mezofazı ile isotropik sıvı arasındaki faz geçişi. Ch – I (a) ve I – Ch (b) faz geçişlerin heterofaz alanları. Çapraz polarizörler. Büyütme x200	47
Şekil 4.3. Kolesterik mezofazı ile isotropik sıvı arasındaki heterofaz alanın şematik görünüşü	48
Şekil 4.4. COC sıvı kristalde tekstür dönüşümleri. Çapraz polarizörler. Büyütme x200. Sıcaklık 297 K	49
Şekil 4.5. Kolesterik mezofazı ile isotropik sıvı arasındaki faz geçişi. Ch – I (a) ve I – Ch (b) faz geçişlerin heterofaz alanları. Çapraz polarizörler. Büyütme x200	51
Şekil 4.6. COC için n 'in sıcaklık ile değişimi	56
Şekil 4.7. AEP için n 'in sıcaklık ile değişimi	57
Şekil 4.8. COC için n_e ve n_o 'nun sıcaklık ile değişimi	58
Şekil 4.9. AEP için n_e ve n_o 'nun sıcaklık ile değişimi	58
Şekil 4.10. COC için Δn 'in sıcaklık ile değişimi	59
Şekil 4.11. AEP için Δn 'in sıcaklık ile değişimi	60
Şekil 4.12. COC için $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranının sıcaklık ile değişimi	61
Şekil 4.13. AEP için $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranının sıcaklık ile değişimi	61
Şekil 4.14. COC için $\Delta\alpha$ 'nın sıcaklık ile değişimi	63
Şekil 4.15. AEP için $\Delta\alpha$ 'nın sıcaklık ile değişimi	63
Şekil 4.16. COC için α_{eg} 'nin sıcaklık ile değişimi	65
Şekil 4.17. AEP için α_{eg} 'nin sıcaklık ile değişimi	65
Şekil 4.18. COC için α_{eg} 'nin Δn ile değişimi	66
Şekil 4.19. AEP için α_{eg} 'nin Δn ile değişimi	66
Şekil 4.20. AEP için optiksel geçirgenliğin sıcaklık ile değişimi	68
Şekil 4.21. COC için optiksel geçirgenliğin sıcaklık ile değişimi	68
Şekil 4.22. AEP'nin homeotropik yönelimi için optiksel geçirgenliğin sıcaklık ile değişimi	69
Şekil 4.23. AEP için soğurma katsayısının sıcaklık ile değişimi	70
Şekil 4.24. COC için soğurma katsayısının sıcaklık ile değişimi	71
Şekil 4.25. AEP'nin homeotropik yönelimi için soğurma katsayısının sıcaklık ile değişimi	71

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

K	Kelvin Sıcaklık Birimi
COC	Cholesteryl Oleyl Carbonate
AEP	Azobenzene, 4-ethoxy-4'-pentyl
C _h I	Kolesterik Sıvı Kristal
POM	Optiksel Polarizasyon Mikroskobu
Ch-I	Kolesterik mezofazı-izotropik sıvı faz geçişi
I-Ch	Izotropik sıvı-kolesterik mezofazı faz geçişi
N*	Kiral nematik sıvı kristal

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Sıvı kristaller, yeni teknik ve teknolojik malzemeler olan yoğun maddenin özel bir türüdür ve benzeri olmayan fiziksel ve yapısal özelliklere sahiplerdir. Sıvı kristaller, hem sıvıların reolojik özelliklerini hem de katı kristallerin fiziksel anizotropik özelliklerini bir arada sergileyen hem temel bilim hem de uygulama açısından oldukça önemli malzemelerdir.

Bu çalışmada, termotropik sıvı kristallerin özel türü olan tek boyutlu yönelimsel ve translasyonel düzene sahip, kolesterik sıvı kristallerin termo-morfolojik, termotropik ve termo-optiksel özellikleri ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Çalışma üç bölümü içermektedir.

Birinci bölümde, kolesterik sıvı kristallerin, termotropik sıvı kristal malzemeler arasındaki yeri yapısal ve optiksel özellikleri (kırıcılık, optiksel çift-kırılma, optiksel etkinlik, optiksel eksenlik) anlatılmaktadır.

İkinci bölümde, incelenecek kolesterik sıvı kristal malzemeler tanıtılmıştır. Ayrıca, incelenecek malzemelerin hazırlanma aşamaları, deney düzenek ve yöntemleri de (polarizasyon politermik yöntemi, politermik refraktometri yöntemi ve termotropik düzenek) bu bölümde anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar (tekstürlerin mikrofotografı, ortalama kırılma indisi n , kırılma indisleri n_e ve n_o , çiftkırılma Δn , optiksel kutuplanmalar α_e and α_o , kutuplanma anizotropisi $\Delta\alpha$, optiksel geçirgenlik I ve soğurma katsayısı α 'nin sıcaklığa bağlılıkları) verilmektedir. Bu bölümde, elde edilen deneysel sonuçlar, ilgili modeller ve teoriler kullanarak tartışılmaktadır. Son olarak, elde edilen yeni bilimsel sonuçların kısa özeti verilmektedir.

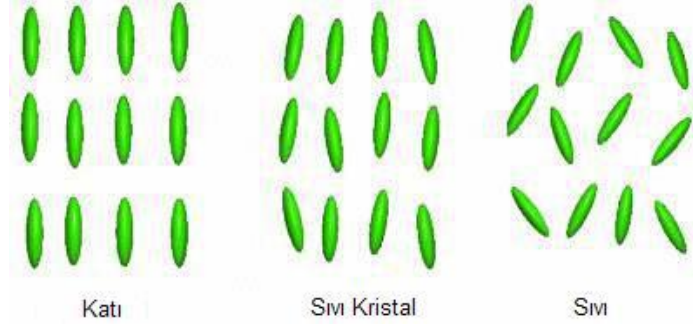
2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Sıvı Kristallerin Genel Özellikleri

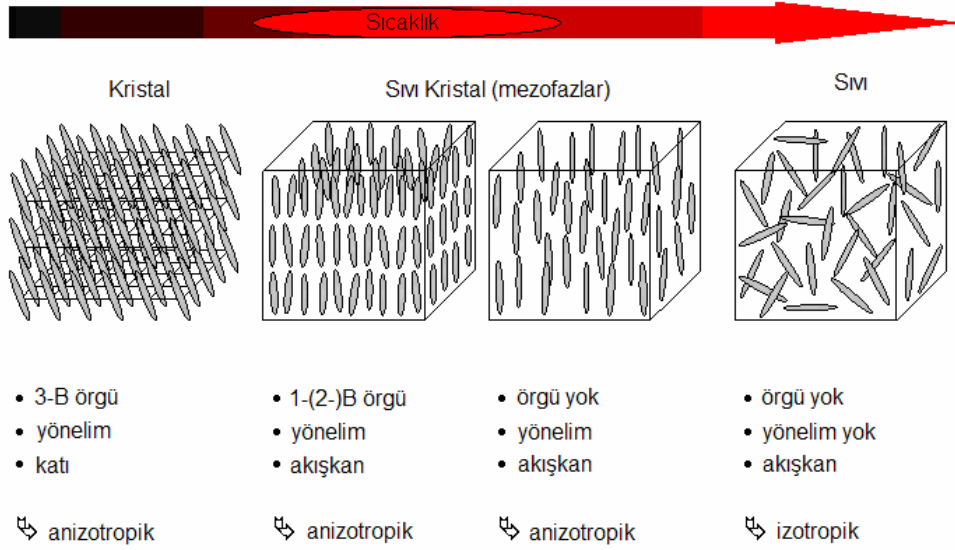
Birçok madde molekül yapılarına göre farklılıklar göstermektedir. Bu yapılar katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç halde bulunmakta ve ısı, basınç vb. gibi çeşitli dış etkenlerle değişikliğe uğramaktadır. Sıvı kristal hali maddenin katı ve sıvı hal durumlarının birleştiği özel bir durum olarak ifade edilebilir. Katı kristal yapıdaki moleküllerin üç boyutlu örgü düzeni sıcaklık arttıkça iki boyutlu örgü düzenine geçiş yapmaktadır. Yapı olarak katı özellikleri taşımalarına rağmen görünüş olarak sıvıdır. Katı kristal ile sıvı arasındaki bu ara fazlarda madde sıvı kristal adı verilen bir halde bulunmaktadır (LC, Liquid Crystal). Bu fazda moleküller arası düzenlilik ve yönelim en belirgin özelliktedir ve malzeme katı kristallere has olan fiziksel anizotropi özellikleri sergilemektedir. Sıvı kristallerin sahip olduğu özelliklerden bazıları şunlardır:

- Manyetik veya elektrik alan uygulaması ile monokristal oluşturma eğilimindedirler,
- Kolesterik ve kolesterik-nematik karışımlarda katı ve sıvılarda görünmeyen mertebelerde optiksel etkinliğin meydana gelmesi gözlenir,
- Renk değişikliği ile sonuçlanan ısıya karşı duyarlılıkları vardır,
- Nanopartiküllerle karışımlarında yönlendirmeye katkısı ve onun sonucunda önemli dielektrik ve elektriksel özelliklerin sağlanması,
- Akışkanlık anizotropisi gözlenir,
- Sıvı kristalik yüzeyler ve sınır şartları monokristalik yapıların oluşturulması için etkin özellik gösterir vb.

Sıvı kristalik durumu farklı yapan, karakteristik moleküllerin yönlendirici olarak adlandırılan ortak eksen boyunca yönelme eğilimleridir. Sıvılarda moleküller düzensizdir. Katılarda ise moleküller oldukça düzenli bir şekilde dizilmişlerdir ve çok az serbestlik derecesine sahiptirler. Sıvı kristallerin karakteristik yönelim düzenleri, geleneksel katı ve sıvı fazlarının arasında yer almaktadır. Her bir faz için moleküllerin yönelimi Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Katı, sıvı kristal ve sıvının molekül yönelimi
(<http://www.polimerler.com/sivi%20kristaller/sivi%20kristaller.htm>)



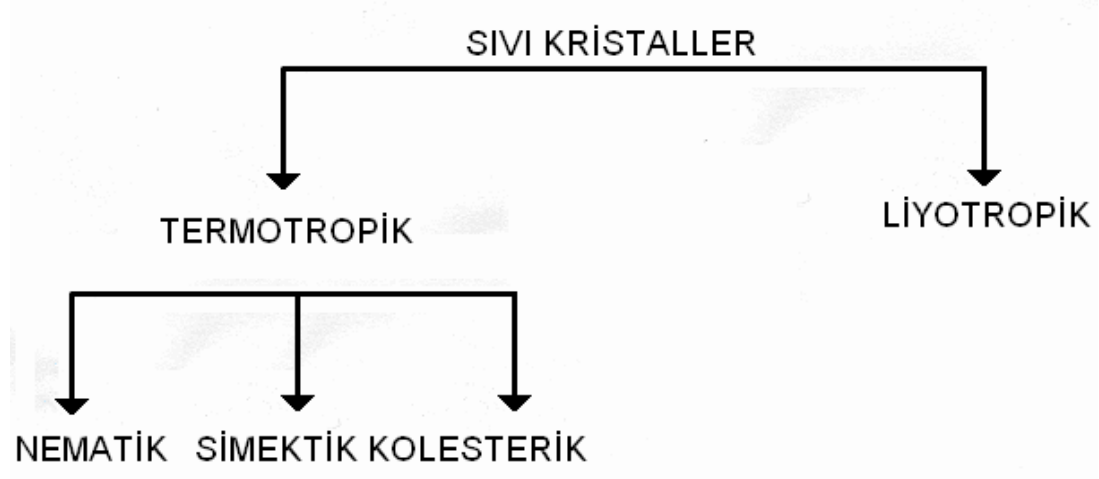
Şekil 2.2. Katı kristal ve izotropik sıvı faz arasındaki sıvı kristallik mezofazlar
(<http://www.polimerler.com/sivi%20kristaller/sivi%20kristaller.htm>)

Katı kristal ve izotropik sıvı faz arasında sıvı kristallik malzemeler Şekil 2.2’de gözlenen sıra dışı fazlar sergilerler. Bu şekilde sıra dışı fazlar sergileyen malzemeler çoğunlukla *mezogenler* ve bunların bulunabildiği farklı fazlar da *mezofazlar* olarak adlandırılır.

2.2. Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristaller oluşum sebeplerine bağlı olarak termotropik ve liyotropik olmak üzere iki ana grupta incelenirler.

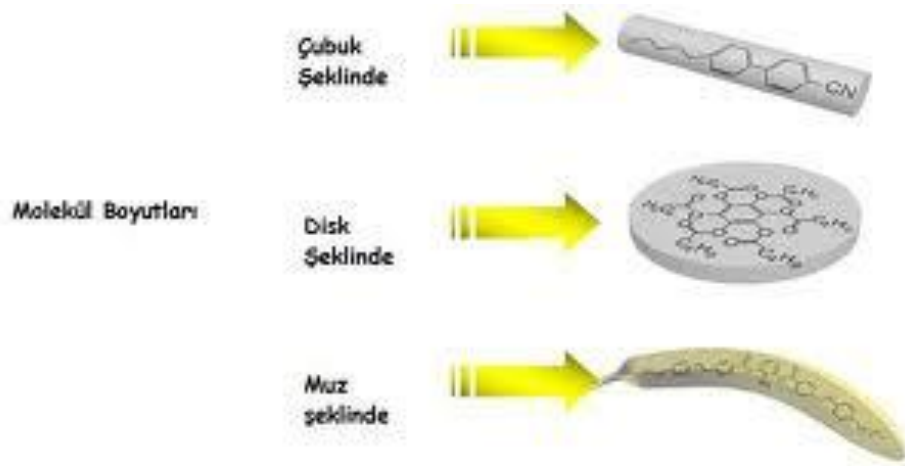
Termotropik sıvı kristaller ise, nematik, simektik ve kolesterik olmak üzere üç gruba ayrılır. Sıvı kristallerin sınıflandırılması Şekil 2.3'te gösterilmektedir (Lehmann, 1889).



Şekil 2.3. Sıvı kristallerin sınıflandırılması (Lehmann, 1889)

2.2.1. Termotropik sıvı kristaller

Termotropik sıvı kristaller zengin termo-optiksel, elektro-optiksel ve magneto-optiksel özellikler sergileyerek, hem lineer hem de lineer olmayan optik özelliklerinden dolayı en fazla incelenen ve şu anda en geniş kullanım alanına sahip olan sıvı kristallerdir (Khoo, 1995). Termotropik sıvı kristaller sıcaklığın etkisiyle oluşurlar. Termotropik mezofaz, ısıtma ve soğutma sırasında kararlı ve kararsız olma durumuna göre ikiye ayrılır. Hem ısıtma hem de soğutma sırasında oluşan termodinamik olarak kararlı mezofazlara enantiotropik, sadece soğutma sırasında oluşan termodinamik olarak kararsız mezofazlara ise monotropik mezofazlar denir. Enantiotropik mezofazlar kristalin erime noktası ile berraklaşma noktası (clear noktası) arasındadır (Donino, vd., 2003). Berraklaşma noktası, anizotropik sıvının geri dönüşümlü olarak izotropik sıvı hale geldiği sıcaklıktır. Bu tip sıvı kristallerin molekül yapılarının, ince çubuksu veya disk şeklinde olduğu bilinmektedir (Priestley vd, 1975). Termotropik sıvı kristaller, molekül geometrilerine göre çubuk, disk ve muz biçimli olmak üzere üç şekilde sınıflandırılırlar (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Termotropik sıvı kristallerin molekül yapıları
(<http://www.polimerler.com/sivi%20kristaller/sivi%20kristaller.htm>)

Termotropik çubuksu sıvı kristaller ise yapısal ve fiziksel özelliklerine göre nematik, smektik ve kolesterik sıvı kristaller olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

Bunun yanı sıra, termal sıcaklık düşürüldükçe izotropik fazdan, nematik mezofaza bir faz geçişi gerçekleşir.

Termotropik sıvı kristallerin birtakım ortak özellikleri vardır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Moleküllerin çubuksu, levhalı (disk biçimli) ve bent-core yapıda olması,
- Molekülün uzun eksen boyunca yer alan aromatik halkalar nedeniyle molekülün rijit bir yapı sergilemesi,
- Molekül yapılarında polar gruplar ve kalıcı dipoller bulunması,
- Genelde molekül eksen boyunca kuvvetli dipollerin, molekül uçlarında ise zayıf polar grupların bulunması

Termotropik sıvı kristaller polarize mikroskop yardımıyla incelenirlerse, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak tekstür dönüşümleri ve faz geçişleri görülebilmektedir.

Termotropik sıvı kristal özelliği göstermekte olan bir madde, kristal haldeyken ısıtılmaya başlanınca erime noktasında bulanık bir sıvıya dönüşür. Bu sıcaklık aralığında sıvı haline geçerken, fiziksel anizotropik özellikleri sergiler. Isıtma işlemine devam edilince, madde izotropik sıvı özelliği göstereceği başka bir geçiş noktasından geçer.

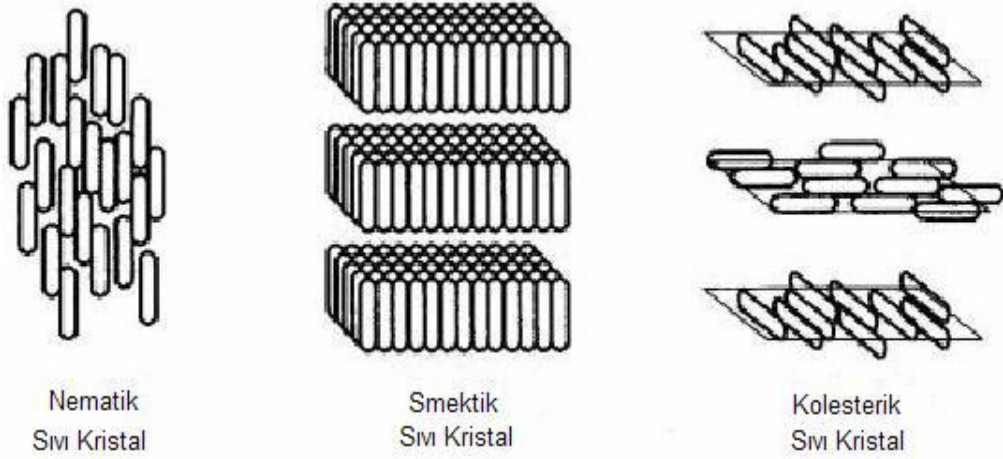
Termotropik sıvı kristaller, hal değişimleri sırasında tek basamaklı geçiş yerine, çeşitli mezofazlar içeren kademeli geçişler sergilerler. Sıcaklığın artması sırasında gerçekleşen mezofaz geçişleri, sıcaklığın azaltılması sırasında da aynı sırayı takip ederek ters yönde gerçekleşir.

Termotropik sıvı kristallerde, sıcaklık değişimine bağlı olarak gerçekleşen karakteristik desenler ve bu fazların molekül yapıları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Termotropik sıvı kristallerin sergiledikleri tipik tekstürler ve fazların molekül yapıları (de Gennes, 1974)

Sınıf	Optik Özellikler	Karakteristik Desen	Molekül Yapısı
Nematik	Tek Eksenli	Düzlem ipliksi Mermerimsi	Moleküllerin uzun eksenleri birbirine paralel
Kolesterik	Tek Eksenli Optik Aktif	Fokal Konik Konfokal	Düzlemlerde Nematik Paketleme
Smektik A	Tek Eksenli	Fokal Konik Kırık Fokal Konik, Fan Yapı	Tabakalı Yapı, Moleküler tabaka düzlemine dik
Smektik B	Tek Eksenli	Mozaik, Basamaklı Damlacıklar, Düzlem	Tabakalı Yapı, Moleküler tabakalarda hegzagonal paketi
Smektik C	Çift Eksenli	Kırık fokal konik Düzlem	Tabakalı yapı, moleküler tabaka normali ile açı yapmakta

Termotropik sıvı kristaller, sıcaklığın değişimi ile meydana gelen mezofaz türlerine göre nematik, smektik ve kolesterik olmak üzere üç gruba ayrılırlar (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Termotropik sıvı kristal fazları (Khoo, 1995)

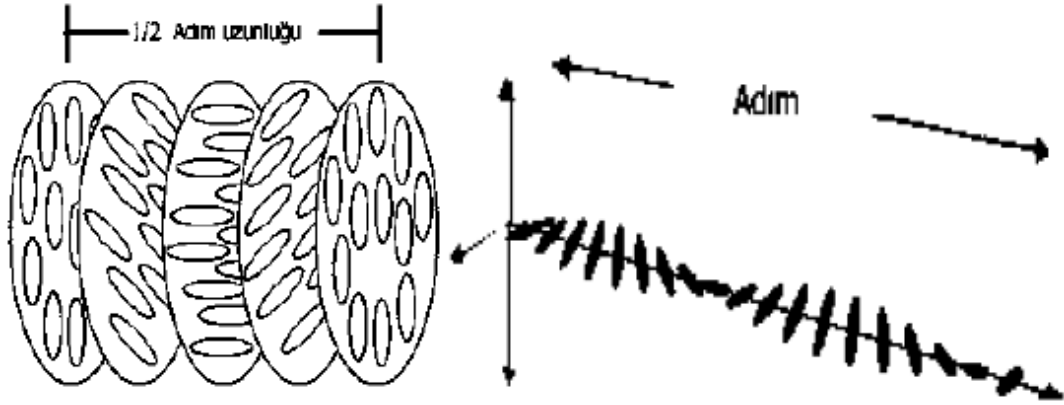
Eğer nematik kristal kiral moleküllerden oluşmuş ise moleküller, ayna görüntülerinden farklı olacak ve *kolesterik sıvı kristal* oluşacaktır. Nematik sıvı kristallerin özel bir sınıfı olan kolesterik sıvı kristallerin kiral yapısı, dairesel polarize ışığın bir bileşenini seçerek yansıtma özelliğini ifade etmektedir. Lokal olarak kolesterik sıvı kristaller, nematiklere ayırt edilemeyecek kadar benzer fakat moleküllerin yönü helis yapı oluşturur.

Termotropik sıvı kristaller içinde önemli bir yere sahip olan kolesterik sıvı kristaller (ChLCs), belirli bir adım uzaklığı ile karakterize edilen dalga boylarındaki ışığın, kendilerine özgü seçici yansıması özelliği nedeniyle bilimsel ve teknolojik açıdan oldukça ilgi çekici bir özelliğe sahiptir.

2.2.2. Kolesterik sıvı kristaller

Kolesterik mezofazın gözlemlendiği ilk maddeler kolesterol türevleri olduğu için, bu faz *kolesterik mezofaz* olarak adlandırılmıştır. Günümüzde kolesterik mezofaz gösteren çok farklı tipte kiral maddeler vardır. Kolesterik veya kiral nematik olarak adlandırılan bu sıvı kristal faz, genellikle moleküllerin biri diğeri ile küçük bir açı oluşturacak şekilde dizilmesine neden olan moleküller arası kuvvetler oluşturan ve kiral merkeze sahip nematik mezogenik moleküllerden oluşmuş bir sıvı kristal fazıdır.

Kolesterik fazda madde, her biri nematik yapıya sahip tabakalardan oluşmaktadır. Ancak, her bir tabakadaki moleküller normale göre yönelim değişimi göstermektedir (Collings vd., 2001).

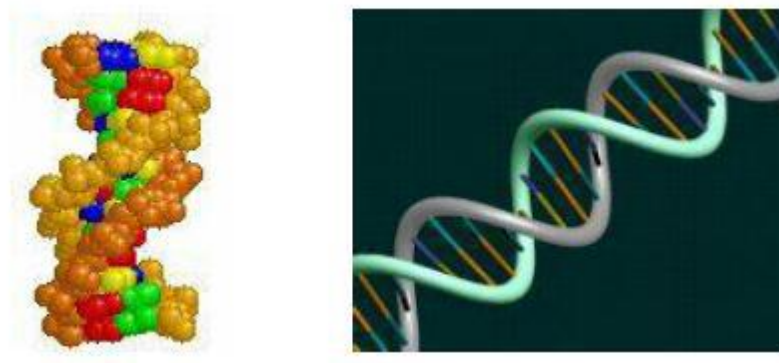


Şekil 2.6. Kolesterik sıvı kristal fazın heliks adımı (Collings vd., 2001)

Moleküllerdeki yönelim değişimi madde boyunca helisel burulma göstermektedir ve moleküllerin tabakalar arası geçişi mümkündür (Eser, 2006).

Meydana gelen helis adımı, ortamdaki sıcaklık ve basınç değişimlerine, elektrik ve manyetik alan gibi dış etkilere son derece duyarlı olup, genellikle birkaç Angström mertebesindedir. Bu da, bir üst ve bir alt katmandakine kıyasla burkulmuş yönlendiriciye sahip, oldukça ince, 2-boyutlu nematik benzeri yığınlar şeklinde görünen bir yapının oluşmasına neden olmaktadır. Bu yapıda, yönlendiriciler yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi katmanın normali etrafında sürekli helis eğrisi oluşturmaktadır. Moleküllerin uzun eksenleri, birbirlerine ve içinde bulundukları tabakalara paralel olarak konumlanmaktadır. Her tabakadaki moleküllerin uzun eksenleri bir önceki tabakaya göre yaklaşık 15 dakikalık bir sapma göstermektedir. Bu uzunluğun görünür bölgedeki ışığın dalga boyu ile kıyaslanabilir olması sebebiyle kolesterik sıvı kristaller, üzerine düşen ışığı yansıtarak renk değiştirme özelliği gösterirler. Kolesterik mezofazların dairesel polarize ışığı seçimli yansıtması, olağanüstü optiksel rotasyon, dairesel dikroizm gibi çok önemli ve ilginç optiksel özellikleri vardır.

Kolesterik sıvı kristallerin doğadaki en iyi bilinen örneği Şekil 2.7'de yapısı gösterilen DNA molekülüdür (Emek, 2007).



Şekil 2.7. DNA molekülü (Emek, 2007)

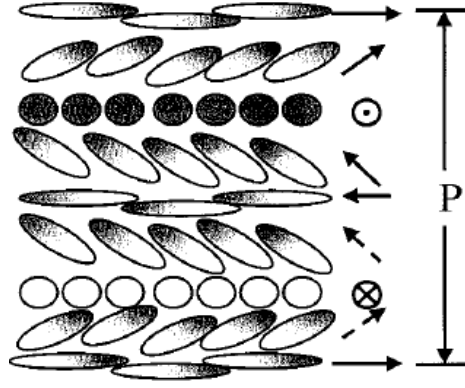
Kolesterik sıvı kristallerin en belirgin özelliği, optiksel etkinliklerinin çok yüksek değerlere sahip olmasıdır. Kolesterik sıvı kristaller doğada bulunan en yüksek optiksel etkinliğe sahip olan malzemelerdir. Ayrıca kolesterik sıvı kristaller ilginç renk etkileri sergilemektedir. Eğer, λ dalga boylu ışık katmanlar üzerine dik olarak gelirse, $L = n\lambda$ (n : tamsayı, L : adım mesafesi (helis adımı)) olmak şartıyla Bragg yansıması gerçekleşmektedir. Helis adımı görünür bölgedeki ışığın dalga boyu ile karşılaştırılabilir büyüklüktedir. Yapıda gerçekleşen güçlü Bragg yansımaları, periyodikliğin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu aralık, sıcaklık değişimlerine karşı son derece duyarlıdır. Kolesterik fazda yansıyan ışığın görünür bölgede olmasından yararlanılarak $0,01^\circ\text{C}$ duyarlılıkta sıcaklık değişimini algılayan sıvı kristal cihazlar yapılmıştır. L mesafesinin sıcaklığa bağlı olduğu göz önüne alınırsa bu tür malzemelerin sıcaklık sensörü olarak kullanılabilirliği mümkün olmaktadır. Helis adımının, sıcaklıkla değişmesi, gün ışığında 0.01°C 'lik, monokromatik ışıktaki ise 0.001°C 'lik sıcaklık farklılıklarının kolesterik sıvı kristal maddelerle ayırt edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Kolesterik sıvı kristallerin bu özelliği sayesinde, elektronik devrelerin veya mikro yapıların kusurlarının belirlenmesinde, şok dalgalarının uçakların yüzeylerindeki etkilerinin incelemesinde ve hastalıklı dokuların teşhisinde bu malzemelerden yararlanılmaktadır (Chandrasekhar, 1992).

Kolesterik mezofazın en önemli parametrelerinden biri adımdır (pitch). Adım, p ile gösterilir ve Şekil 2.8'de gösterildiği gibi yönlendiricinin helis boyunca bir tam dönüş yapması için gereken mesafeyi temsil etmektedir. Kolesterik fazın helis yapısının meydana getirdiği bir diğer sonuç ise, adım uzunluğuna eşit dalga boyuna sahip ışığı seçici yansıma ile yansıtılabilir özelliğidir.

Dolayısıyla, adımın uzunluğu görünür bölgedeki ışığın dalga boyuna eşit olduğu durumda renk yansıması oluşacaktır. Bu etki, ardışık katmanlar arasında yönlendiricinin yönünün aşamalı değişiminin sıcaklığa bağımlı olmasını temel almaktadır. Bu sıcaklığa göre yansıyan ışığın dalga boyunun değişmesi sonucu adım uzunluğu değişmektedir. Yönlendiricinin değiştiği açı büyütülebilir ki, bu da adım uzunluğunun daralmasına sebep olacaktır. Bu, moleküllerin sıcaklığının artmasıyla, dolayısıyla onlara daha çok termal enerji verilmesiyle yapılabilir. Benzer şekilde, moleküllerin sıcaklığını düşürmek, kolesterik sıvı kristalin adım uzunluğunu genişletecektir. Bu olay, çevrenin sıcaklığını renk yansıması ile gösteren sıvı kristal termometreyi yapmayı mümkün kılmaktadır. Sıvı kristallerin değişik çeşitlerinin karışımı, çoğunlukla sıcaklık farkına hassas olan çok sayıda değişik sensör yapımında kullanılır.

Daha önce belirtildiği gibi, molekülün kendi sarmal düzeni nedeniyle kolesterik faz, bazı özel optik özellikler sergiler. Dairesel polarize ışıktaki belirli bir el tercihi ve dalga boyunda yansıma, seçici yansıma olarak da adlandırılan en göze çarpan özellikleridir. Kolesterik yapının adımı, görünür spektrum aralığında olduğunda bu olay, kolayca bir yanardöner renk oyunu olarak çıplak gözle görülebilir. Ayrıca, doğada kolesterik benzeri yapıların seçici yansıması bazı böcekler tarafından sergilenen parlak renklerden de bilinmektedir (Dierking, 2003). Bu incelemeler gösterir ki; böceklerin farklı familyaları farklı bir el tercihi ışığını yansıtabilse de gerçekte, yansıyan ışık belirli geometrik yönelimler altında dairesel polarizedir.

Kolesterik faz, nematik fazın kiral versiyonudur aynı zamanda sadece molekülün uzun eksen yönelim düzenine sahiptir. Nematik fazın aksine, burada yerel yön vektörüne dik bir burkulma (twist) eksenini ile kendiliğinden meydana gelen sarmal bir yapı mevcuttur. Böylece kolesterik faz, sürekli olarak birbirine göre bükülen nematik tabakalarından oluşmaktadır.



Şekil 2.8. Kolesterik fazın sarmal yapısının şematik gösterimi (Dierking, 2003)

Sarmal eksenin Z yönü boyunca olduğunu varsayarsak, yön vektörü alanı, $n(r)$, şu şekilde ifade edilebilir:

$$n(r) = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{2\pi}{P}z + \Phi_0\right) \\ \sin\left(\frac{2\pi}{P}z + \Phi_0\right) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Sarmal yapının adımı P , sıcaklığa bağlıdır ve Φ_0 , sınır koşullarına bağlı olan bir sabittir.

Kolesterik mezofazın adım büyüklüğü, $P \approx 100nm$ kadar küçük değerlerden, P 'nin birçok mikrometre büyüklüğündeki değerlere eşit olduğu büyük değerlere kadar önemli ölçüde değişebilir. Kolesterik mezofazın yapısının şematik görünümü ve yapılandırmaya karşılık gelen yön vektörünün görünümünün şematik yapısı Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Unutulmamalıdır ki, moleküllerin baş-kuyruk simetrisinden dolayı ($n = -n$), kolesterik mezofazında sarmal eksen boyunca periyodik L , (pitch)

adımın yarısı ile ifade edilir ($L = \frac{P}{2}$). Kiraliteye bir miktar bağımlı olarak,

kolesterik bükülme sağ veya sol el olabilir. Molekül içindeki kiral eleman(ların) yapılandırmasına bağlı olarak, Şekil 2.9.'daki döner merdivenlere benzer bir yapı görülmektedir (Dierking, 2003).



Şekil 2.9. Enantiomerik mezojenlerin yapısına benzer spiral merdivenlerin zıt el simetrisi (Dierking, 2003)

Kolesterik sarmal el tercihi, genellikle kabul gören basit bir kural ile açıklanabilir. Pozitif bir adım P'ye karşılık gelen spiral yapı sağ-elli ve negatif bir adıma karşılık gelen sarmal sol-ellidir.

Bu noktada, şimdiye kadar kiral moleküler yapılandırmasının, belli bir makroskopik sarmal el tercihi üreteceği ile ilgili hiçbir tahminin olmadığı bilinmektedir.

Önerilen deneysel kurallar olmasına rağmen moleküler kiralite ve makroskopik faz kiralitesi arasındaki ilişki hâlâ kesin olarak cevabı verilmemiş bir soru olarak kalmıştır (Dierking, 2003).

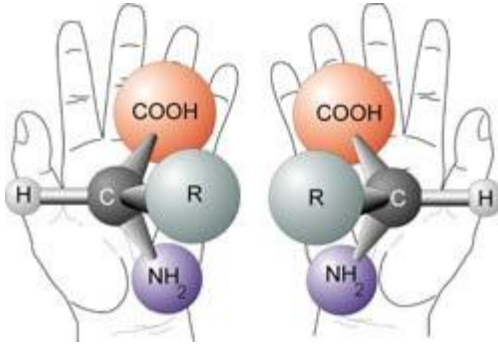
2.3. Kiral Sıvı Kristal Bileşiklerin Yapısı

Kiralite doğanın en güzel ve ilgi çekici tezahürlerinden biridir. 1893 yılında Lord Kelvin tarafından "bir nesne eğer kendi ayna görüntüsü üzerine bindirilemez ise kiral'dir" diyerek tanımlanmıştır.

Kiralite, sıvı kristallerin geniş, karmaşık ve önemli araştırma alanlarından biridir. Özellikle, kiral mesogenlerin kullanıldığı sıvı kristal göstergelerin (Liquid Crystal Display, LCD) TV ve bilgisayar ekranlarında CRT'lerin (Catot Ray Tube) yerine kullanımının, büyüklük, güç tüketimi, ağırlık ve incelik açısından avantajlı olduğunun anlaşılması, teknolojik uygulamalar açısından kiral sıvı kristallerin önemini arttırmış ve bu konudaki araştırmaların yoğunlaşmasını sağlamıştır.

Kendi ayna görüntüsü ile üst üste çakışamayan herhangi bir cisme *kiral* adı verilir. Bu Yunanca cheir “el” kelimesinden gelmektedir. Sağ ve sol eldeki durum kiral moleküller için de geçerlidir. Kiral bileşikler asimetric bir merkeze sahiptirler. Bir bileşik ve o bileşiğin ayna görüntüsü olan bileşik birbirinden farklı bileşiklerdir. Birbirinin ayna görüntüsü olan bu bileşikler *enantiomerler* olarak adlandırılırlar. Kiral bir molekülün en önemli yapısal özelliği, tetrahedral sp^3 bir karbon atomuna dört farklı grubun bağlanmış olmasıdır.

Dört farklı grubun bağlanmış olduğu karbon atomuna *asimetric karbon atomu* ya da *kiral karbon atomu* adı verilir. Şekil 2.10'da kiral bir amino asidin genel gösterimi görülmektedir (Collings vd., 2001; Fessenden, vd., 2001).



Şekil 2.10. Kiral bir amino asidin genel gösterimi (Collings vd., 2001; Fessenden, vd., 2001)

Üst üste çakışamazlık, yani kiralite özelliklerinin dışında, enantiomerlerin yapıları aynıdır. Bu nedenle bu bileşiklerin hemen hemen tüm fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirleriyle aynıdır. Örneğin; saf enantiomerlerin erime ve kaynama noktaları aynıdır. Fakat enantiomerlerin digerasimetric bileşiklerle etkileşimleri ve polarize ışık karşısında davranışları birbirinden farklıdır.

Düzlem polarize ışık tek bir enantiomer içeren çözeltiden geçirilirse, ışığın polarizasyon düzlemi ya sağa ya da sola çevrilir. Düzlem polarize ışığın polarizasyon düzlemini çeviren bir bileşik optikçe aktiftir (Collings vd., 2001; Fessenden, vd., 2001).

Günümüzde, sıvı kristaller üzerine son dönemde yapılan araştırmalarda, sıvı kristal molekülerindeki kiralite çok önemlidir. Sıvı kristallerdeki kiral yapıların örnekleri arasında smektik A* (kiral için* kullanılır) ve smektik C* vardır ki bunlar, ekran uygulamaları için yüksek potansiyele sahiptir, çünkü ferroelektriktir ve hızlı yanıt süreleri vardır. Bununla birlikte, sadece ilk keşfedilen sıvı kristal değil, aynı zamanda en çok çalışılan kristal olarak göze çarpan kolesterik fazdır.

Kolesterik sıvı kristalleri iki farklı şekilde elde etmek mümkündür: Birincisi, kolesterol gibi içsel olarak mevcut kolesterik faza sahip maddelerdir. Bunlar kendiliğinden, dış etki olmaksızın, özel yapısal özelliklerinden dolayı, optiksel etkinliğe sahip olan kolesteriklerdir. İkincisi ise, nematik sıvı kristale kiral katkı maddesi ya da kiral dopant eklenerek ve bu yol ile molekülerden mezoskopik seviyeye kadar yayılan kiralite sarmal yapının oluşturulmasıyla elde edilir. Bu şekilde nematik mezofazına optiksel etkin malzemenin eklenmesi ile elde edilen malzemeler ise kiral nematiklerdir. Kiral nematik ve kolesterik terimleri birinden farklıdır ve karıştırılmaması gerekir.

Uygulama açısından, ikinci yol daha uygundur. Çünkü kiral katkı konsantrasyonunu kontrol ederek adım uzunluğunu ayarlamak mümkündür. Bu, her kiral dopantın belirli bir miktar ile bir nematik ana büküm bir kapasitesine sahip olmasıyla gerçekleştirilir. Kiral nematik (N*) faz ve kiral ferroelektrik smektik C* fazı gösteren kiral materyallerin çok çeşitli uygulanma alanları vardır (Collings vd., 2001).

2.4. Kolesteriklerin Yönelim Özellikleri

Sıvı kristal moleküllerin yapısını açıklamak için üç farklı parametreden yararlanılır:

- 1) Konumsal düzen,
- 2) Yönelimsel düzen,
- 3) Translasyonel düzen.

Bu parametrelerden her biri sıvı kristalik mezofazın örneğinin hangi mertebede düzenleneceğini tanımlar. Konumsal düzen, moleküllerin ve molekül gruplarının birbirlerine göre konumunu belirler ve ortalama molekül veya molekül gruplarının hangi mertebede geçiş simetrisini (katı maddelerin gösterdiği gibi) göstereceği ile ilgilidir.

Yönelimsel düzen, moleküllerin yön vektör doğrultusunda oluşan düzenini ifade eder ve moleküllerin temel uzun zincir üzerinde gösterdikleri yönelim derecesi ile ilgilidir.

Translasyonel düzen ise, uzun erimli düzen olarak, moleküllerin uzun eksenlerinin (veya yön vektörünün) sıvı kristalin hacmi içinde yönlendirilmesini belirler.

Sıvı kristaller anizotropik yapıda olduklarından dolayı kırılma indisi, dielektrik geçirgenlik, öz iletkenlik, manyetik duyunluk vb. fiziksel niceliklerin yön vektörüne dik ve paralel olarak ölçülen büyüklükleri farklıdır. Yani sıvı kristaller gibi anizotropik malzemelerde, malzemenin fiziksel özellikleri yöne bağlıdır. Sıvı kristallerin bu parametrelerinin ölçülebilmesi için yön vektörünün, tüm hacimde aynı yöne sahip olduğu örneklere ihtiyaç vardır. Bu durum, sıvı kristallerin çeşitli teknik aygıtlarda kullanılabilmesi açısından önemlidir. Sıvı kristal iki tabaka arasına yerleştirildiğinde yönelim meydana gelmektedir. İki cam yüzey arasında bulunan sıvı kristalin molekülleri yüzeyle etkileşme sonucu bir yönde yönelebilirler. Yani, sıvı kristaller için önemli özelliklerden biri olarak yönelimsel etkiler ortaya çıkar.

Genellikle üç tür yönelmiş monokristalite tekstür vardır. Bunlar, homeotropik, düzlemsel (planar) ve burulma (twist) yönelimdir. Homeotropik yönelimde, sıvı kristal moleküllerin yönü referans yüzeye dik, planar yönelimde ise paraleldir.

Twist yönelimde kolesterik sıvı kristallerde gözlenen yapıya benzer şekilde, spiral adımlı burkulmuş düzlemsel tekstür meydana gelir.

Örneğin hacminde homeotropik yönelime sahip olan sıvı kristaller, optik eksenine dik yönde kesilmiş katı kristale benzer olarak davranmaktadır. Bu yüzden, üzerinde homeotropik yönelmiş örnek olan mikroskop masası, çapraz polarizatörlerin arasında döndürüldüğünde, mikroskopta gözlenen şekil hep koyu fon olacaktır.

Düzlemsel yönelmiş sıvı kristalin optiksel özellikleri, optik eksenine paralel kesilmiş katı kristal tabakasının optiksel özelliklerine benzerdir. Üzerinde düzlemsel yönelmiş örnek olan mikroskop masası çapraz polarizatörler arasında döndürüldüğünde, mikroskopta gözlenen fon, ard arda gelen tam ışıklanma ve tam sönme şeklinde olacaktır. Örneğin hacmi ne kadar homojen olursa, tam ışıklanma ve tam sönme durumunda düzlemsel yönelmiş örnekten geçen ışık şiddetinin oranı da o kadar yüksek olacaktır.

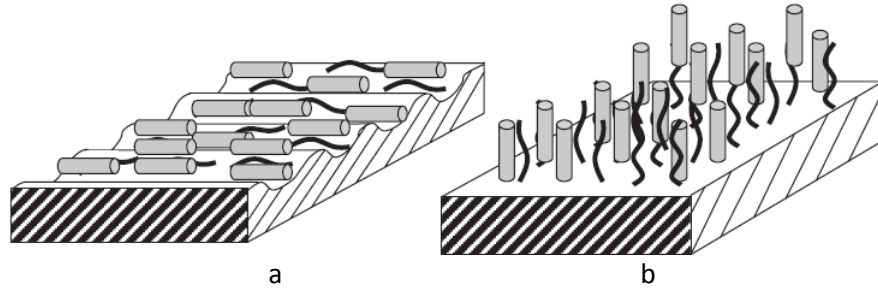
Burkulma (twist) tekstürün optiksel özellikleri çok çeşitlidir ve spiral yapısının parametrelerine bağlıdır. Burkulma tekstürün önemli özellikleri, örneğin çift kırılması ve örneğe düşen ışığın polarize yüzeyi döndürebilmesidir (Nesrullazade vd., 2000).

Sıvı kristallerin fiziksel parametrelerinin ölçülebilmesi için, yön vektörün hacim içinde belirli bir yön boyunca yönelmesi gerekir. Cam yüzeyler arasında bulunan sıvı kristal moleküller, yüzeyle etkileşme sonucu bir yönde yönelebilirler (Blinov, 2011). Kolesterik sıvı kristaller için temel olarak homeotropik ve planar olmak üzere iki tür yönelim söz konusudur.

Planar yönelim elde etmek için, kadife veya pamuk bez ile referans yüzeye sürtme işlemi uygulayarak yüzey mekanik olarak aşındırılabilir. Aşındırma sonucu yüzeyde belirli bir yön boyunca mikro-oluklar oluşur (Şekil 2.11a). Sıvı kristal moleküller bu oluklara paralel olarak hizalandığında, hiçbir yönlemsel deformasyon meydana gelmez. Eğer sıvı kristal moleküller oluklara dik olarak dizilirse (Şekil 2.11b), yönlemsel deformasyon oluşacaktır ve bu durumda sıvı kristal moleküller enerji harcamış olacaktır. Dolayısıyla, sıvı kristal moleküller homojen bir şekilde oluklar boyunca hizalanır. Mekanik aşındırma ile elde edilen planar yönelimin ankraj (anchoring) kuvveti küçüktür ($10^{-5} J/m^2$).

Planar yönelim sağlamak için en yaygın olarak kullanılan yöntem, polimer polyamidelerdir. Sürtme işlemi ile polimide tabakalarda mikro oluklar oluşturularak polimer zincirlerin belirli bir yön boyunca hizalanması sağlanır. Sıvı kristal moleküller arasında meydana gelen moleküler etkileşim ve yönelmiş polimer zincirler planar yönelime katkıda bulunur. Bu nedenle ankraj enerjisi artar. Oluşan ankraj kuvvet büyüktür ($10^{-3} J/m^2$).

Bunun dışında, eğik buharlaştırılmış SiO_x , GeO_x veya SeO_x gibi filmler kullanılarak da planar yönelim elde edilebilmektedir.



Şekil 2.11. Sıvı kristal moleküllerin yüzeyde dizilimleri (a) planar ve (b) homeotropik (Dierking, 2003)

Homeotropik yönelim elde etmek için, referans cam yüzeyler kontrollü olarak lesitin, stearik asit, tensidin gibi, yüzeyce aktif maddelerle (surfaktant) hazırlanan çözeltilerle kaplatılır (Dierking, 2003). Bu etkin maddeler, hidrofilik polar kafadan ve hidrofobik kuyruktan oluşan amfifil maddelerdir. Kaplama işleminden sonra çözücünün buharlaştırılmasıyla cam yüzeyde optiksel olarak şeffaf ince bir film tabaka oluşturulur. Bunun yanı sıra homeotropik yönelim tabakası için yaygın olarak polimer polyamideler de kullanılmaktadır. Şekil 2.11b'de gösterildiği gibi kullanılan yüzey aktif maddenin polar başı cam yüzeye kimyasal olarak bağlanır ve hidrokarbon kuyruk yüzeye dik olacak şekilde dizilir. Ayrıca, homeotropik yönelime, yüzey aktif madde ve sıvı kristal arasında meydana gelen moleküller arası etkileşim de katkıda bulunur (Avcı, 2013).

2.5. Kolesterik Sıvı Kristallerin Tekstürleri

Polarizasyon mikroskobu altındaki sıvı kristal sandviç hücrenin içindeki moleküllerin dizilimi sonucu gözlenen optik resimlere tekstür adı verilir. Sıvı kristaller o kadar küçük bir enerji ile deforme olurlar ki yüzeylerin homojenik olmaması veya yassı kapilyar yüzeylerin kayması gibi çok az olan etkiler bile, tekstürlerin değişmesine sebep olur. Bu yüzden, aynı sıvı kristalik malzemenin farklı yüzeylerinde farklı tekstürler görülebilmektedir.

Gözlenen optik şekillerin türü, sıvı kristalin moleküler yapısına bağlı olarak değiştiğinden, tekstürlerin ve bu tekstürlerin dönüşüm dinamiğinin incelenmesi, sıvı kristalik mezofazların belirlenmesini sağlar.

Tekstürler, mezofazları ayırt etmede kullanılır. Özgül tekstürler ve özgül olmayan tekstürler olmak üzere iki tür tekstür bulunmaktadır. Özgül tekstürler kesin olarak belli bir mezofaza aittirler, özgül olmayan tekstürler ise tek bir mezofaza ait olmadığından mezofazın tanımlanmasına katkıda bulunmazlar. Çünkü, özgül olmayan tekstürler çoğu zaman aynı tekstürün farklı mezofazlarına aittir ve söz konusu durum, paramorfizm olarak adlandırılır.

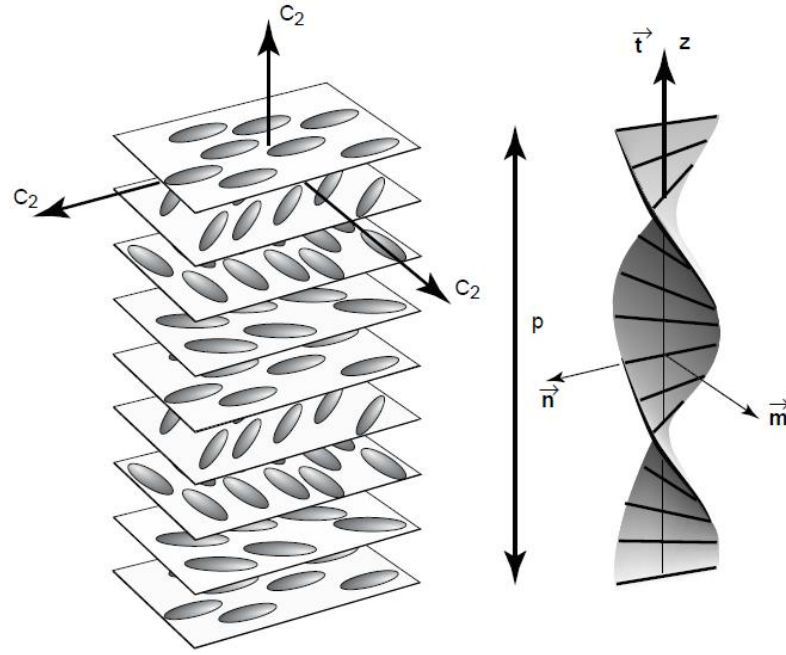
Kolesterik sıvı kristallerin optiksel özellikleri, çoğu zaman diğer sıvı kristal türlerin özelliklerinden farklıdır. Kolesteriklerin özellikleri kiral yapıları ile belirlenmektedir ve bu da kolesteriklerin morfolojik özelliklerini ve onların tekstürlerinin türlerini etkiler. İzotropik sıvı soğutulduğunda ve kolesterik faza geçildiğinde bu fazda çoğu zaman, smektik ve nematiklerin konfokal tekstürlerinden farklı olan, konfokal tekstür gözlenir. Dış görünüşüne bakıldığında bu tekstür kristalleşmiş polikristalik maddeye benzemektedir. Örneğin yüzeylerinin birbirine göre kayması ile bu tekstür kolayca bozulur. Kolesterik tekstürlerin diğer bir türü de poligonal tekstürdür. Bu tekstür konfokal tekstür gibi özgün değildir. Özellikle smektiklerde olmak üzere başka sıvı kristallerde de rastlanan bir tür tekstürdür. Smektik A'larda yassı kapilyarın referans yüzeylerinin kaymasıyla homeotropik tekstür oluşurken, kolesteriklerde düzlemsel (planar) tekstür meydana gelir (Nesrullazade vd., 2000). Ayrıca kolesteriğin kiral yapısı ilginç grandjean tekstürünün oluşmasına neden olur. Bu tekstür kama biçimli örnekte oluşmaktadır. Kama biçimli örneğin belirgin yerlerinde kolesteriğin spiral yapısı bozulmadan kalır.

Bu bölgelerde örneğin kalınlığı, spiral adımın yarısı ile orantılıdır. Bu yerdeki örneğin spiral adımı, atlamalı olarak yarım periyod kadar değişmektedir. Böylece çizgisel disklinasyonlar meydana gelir ve optiksel aralıksızlık (süreklilik) bozulur. Eğer kama yapılı örneğin cam yüzeyleri ideal düz camdan yapılmışsa, çizgisel disklinasyonlar, birbirinden eşit aralıkta bulunan çizgiler şeklinde olur ve kama eksenine dik yönelir. Yüzeyleri yüksek derecede düzgün olmayan kama biçimli örnekte, kırılma indisi dağıtılmış olan tipik tekstür gözlenmektedir. Cano-Grandjean çizgiler değişik renkli şeritlerin sınırlarını oluşturmaktadır (Nesrullazade vd., 2000).

2.6. Kolesterik Düzen Parametresi ve Sıvı Kristal Faz Geçişi

2.6.1. Yapı ve simetri

Kolesterik fazlardan farklı olarak nematiklerde, C^* sonsuzdur. Bu farkı belirtmek için, boyutu L olan, tipik, sonlu ama makroskopik bir V hacmi düşünülür. Dış alanların ve sınır etkilerinin olmaması durumunda, nematik faz tek eksenli uzun menzilli quadropolar yönelim düzeni sergilemektedir. Termodinamik dengede yön vektörün n yönü homojendir, bu yüzden nematik faz simetrisi $D_\infty h$ şeklindedir (Oswald vd., 2005).



Şekil 2.12. Kolesterik faz (sol elli sarmal, $p < 0$) yapısı ve simetrisi (Oswald vd., 2005)

Kolesterik faz iki temel noktada nematiklerden farklıdır:

Birinci fark, ortalama moleküler yönelimi $\vec{n}$, yaklaşık bir tur, (ve tek) $\vec{n}$ 'e dik $\vec{t}$ uzay yönünde döner. $\vec{t}$ eksenini z paralel bir koordinat sisteminde, yön vektörünün bileşenleri şunlardır:

$$n_x = \cos(qz) \quad (2.2)$$

$$n_y = \sin(qz) \quad (2.3)$$

$$n_z = 0 \quad (2.4)$$

Sarmal adımın p olduğu yerde, $q = \frac{2\pi}{p}$ 'dir. Düşük kirallik için ($C^* \ll 1$), dalga vektörü q , C^* ile orantılıdır. Böylece, sınır $C^* \rightarrow 0$ iken sarmal adım ıraksar ve $P \rightarrow \infty$ olur.

İkinci fark, yerel yönelim düzeni (adımı daha küçük boyutta bir hacim içinde tanımlanan, ancak yine de makroskopik!) artık tek eksenli değil, iki eksenli halinde olmasıdır.

Nitekim, nematik fazın D_∞ h simetrisi, sarmal belirince hemen bozulur çünkü n 'e paralel C_∞ eksenini ikinci mertebeden bir C_2 eksenine ile değiştirilir. Bu yüzden, sadece C_∞ 'a dik iki C_2 eksenini arasında muhafaza edilir: bunlardan biri sarmala paralel t ve diğeri hem n 'e hem de t 'ye normaldir. Sonuç olarak, kolesterik fazın simetri noktası D_2 'dir. Faz, sarmal yapı nedeniyle iki eksenlidir.

Sadece t yönü boyunca bir twist oluşturarak sorun çözülebilir. Bu durumun dezavantajı t dışındaki diğeri yönlerdeki twist eğilimleri için yetersiz olmasıdır (Oswald vd., 2005).

2.6.2. Kolesterik faz için düzen parametresi

Nematik faz ile ilgili bu simetrinin azalmasından dolayı, kolesterik faz düzen parametresi tek eksenli değil, iki eksenli kuadropol'dur. Ayrıca, Q_{ij} kuadropol eksenlerinden biri (z/t) Z eksenine paralel olmalı ve diğeri ikisini bu eksen boyunca hareket ederken, düzgün çevrilmesi gerekir. Bu özelliklere sahip bir dört kutuplu için en genel ifade aşağıdaki gibidir:

$$Q_{ij} = -\frac{Q_0}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} + \frac{Q_2}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos(2qz) & \sin(2qz) & 0 \\ \sin(2qz) & -\cos(2qz) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Değişmezlik nedeniyle $n \leftrightarrow -n$, $t \leftrightarrow -t$ ve $m \leftrightarrow -m$ olacağından, bu tensör $\frac{p}{2}$ 'nin periyodikliğidir. İfadenin ilk terimi kolesterik fazın ortalama yönelimsel düzenini temsil eder. Burada, "ortalama" kolesterik adımdan çok daha büyük ölçeği ele alır. t/z 'ye paralel simetri ekseninin bu tensörü tek eksenlidir. İkinci terim düzen parametresinin periyodik bir parçasıdır. Bu, Z eksenine etrafında dönen, tamamen iki eksenli tensördür. Bunların toplamı yeni bir iki eksenli tensördür ve aşağıdaki orana bağlıdır (Oswald vd., 2005).

$$r = \frac{Q_2}{Q_0} \quad (2.6)$$

$z = 0$ düzlemi içinde, düzen parametresi çok basit bir ifadeye sahiptir:

$$Q_{ij}(z=0) = -\frac{Q_0}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} -\sqrt{3}r-1 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{3}r-1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Bu yerel düzen parametresi tek eksenli olduğu zaman:

$r = +\sqrt{3}$ ya da $-\sqrt{3}$ olduğu durumda, $z = 0$ düzlemindeki tensör eksen, sırasıyla x veya y eksen boyunca yönlendirilmektedir. r 'nin bu iki değeri için, kolesterik düzen parametresinin her yerde yerel olarak tek eksenli olduğu kolayca kontrol edilebilir. Tensör eksen (yani, n yön vektörü), (x, y) düzlemine paralel, kolesterik sarmalın Z eksen etrafında döner. Bu iki durumda Z eksen boyunca bir $\frac{p}{4}$ sarmal çevrimi tarafından ayırt edilir.

$r = 0$ olduğu durumda, bağımsız Z eksen boyunca yönlendirilen Q_{ij} tensörü, bu Z yönünde yönelmiş, nematik tek eksenli fazına karşılık gelmektedir. r 'nin tüm diğer değerleri için, yerel düzen parametresi iki eksenlidir (de Gennes vd, 1993; Oswald vd., 2005).

2.6.3. Sıvı kristallerde faz geçişleri

Termodinamik bir sistemin belirgin yapıya sahip bir fazdan, farklı belirgin yapıya sahip diğer bir faza dönüşümü faz geçişi olarak adlandırılır. Faz geçişini diğer fiziksel olaylardan ayıran özellik, geçiş sırasında sistemin ısı sıçması, çift kırılma gibi bazı fiziksel özelliklerinde ani değişimler gözlenmesidir. Faz geçişlerine örnek olarak, günlük hayattan bildiğimiz katı-sıvı-gaz fazları arasındaki geçişleri, magnetik materyallerin Curie sıcaklığında, ferromagnetik ve paramagnetik fazları arasındaki geçişleri, belirli kritik sıcaklığın altında süper-iletkenliğin meydana gelmesi verilebilir.

Sıvı kristallerdeki faz geçişleri, moleküler düzenin katı ve sıvı arasında bulunmalarından ve yapılarındaki polimorfizmden dolayı katı, sıvı ve bir mezofazdan diğer bir mezofaza geçiş şeklinde meydana gelmektedir.

Sıvı kristallerde faz geçişleri sırasında mezofazlara ait bazı simetriler değişmektedir. Faz geçişi ısıtma esnasında düzenli (daha düşük simetricali) fazdan daha az düzenli (daha yüksek simetricali) faza doğru, soğutma sırasında ise tam tersi yönde gerçekleşmektedir. Burada bahsedilen daha az simetricali faz, katı kristale yakın olan fazdır. Faz geçiş bölgesindeki geçiş özelliklerini açıklamada, mikroskobik detayların araştırılmasındaki zorluklar nedeniyle, moleküllerin etkileşme aralığı, düzen parametresinin büyüklüğü gibi makroskobik niceliklerin incelenmesi, geçiş bölgesindeki sistemin davranışını açıklarken daha kullanışlıdır. Bunun yanında deneysel çalışmalar sonucu faz geçiş bölgesinde elde edilen termodinamik veriler sıvı kristal fazlar ile ilgili teorik çalışmaların test edilmesine olanak verdiği gibi, sıvı kristal fazların moleküler yapılarının kararlılığının anlaşılmasını da sağlar. Bunlara örnek olarak faz geçiş sıcaklığı, malzemenin faz geçiş bölgesindeki yoğunluğu, geçiş entalpisi ve entropisi, geçişin her iki bölgesindeki termal sıkıştırılabilirlik, sabit basınç, ısı sığası, öz iletkenlik, çift kırılma verilebilir. Bu termodinamik verilerin elde edilmesinde optik mikroskopi, DSC, kalorimetri, termik analiz, termo-optik vb. teknikler kullanılmaktadır (Singh, 2000; Singh vd., 2002).

Faz geçişleri ile ilgili ortaya konan ilk sınıflandırma, Ehrenfest Klasifikasyonu'dur. Bu sınıflandırmaya göre faz geçiş derecesi, faz geçiş noktasındaki serbest enerjinin, kendisini süreksiz yapan türevinin mertebesine bağlıdır.

Örneğin faz geçişi birinci dereceden ise, termodinamik değişkenler içeren serbest enerjinin birinci mertebeden türevi, faz geçiş noktasında süreksiz olmaktadır. Çeşitli katı-sıvı-gaz fazları arasındaki geçişler birinci derecedir. Çünkü serbest enerjinin kimyasal potansiyele göre birinci mertebeden türevi faz geçişi boyunca süreksiz olarak değişir. İkinci derece faz geçişlerinde ise, enerjinin ikinci mertebeden türevinin süreksizliğe sahip olması gerekmektedir. Ehrenfest klasifikasyonuna göre üçüncü, dördüncü ve daha çok dereceden geçişler mümkündür.

Modern klasifikasyon sisteminde ise birinci dereceden faz geçişleri gizli ısı içerir. Yani sıcaklık sabit kaldığı halde sistemde bir fazdan diğerine ısı akışı olur. Faz geçiş noktasında sistemin bir kısmı geçişi tamamlamışken, kalan kısmı tamamlamamıştır.

Sıvı ve gaz fazları arasındaki geçiş birdenbire gerçekleşmez. Faz geçiş sırasında sistemde sıvı ve gaz fazları birlikte bulunurlar.

İkinci derece geçişte ise gizli ısı yoktur. Buna örnek olarak feromagnetik geçişler verilebilir. Sıvı kristallerdeki faz geçişini matematiksel olarak incelenirse, herhangi bir a fazından b fazına geçişte, her iki fazın Gibbs fonksiyonu birbirine eşit olmalıdır.

$$G_a(T, P) = G_b(T, P) \quad (2.8)$$

Birinci derece faz geçişi matematiksel olarak aşağıdaki şekilde formülize edilir (Singh, 2000).

$$G_a - G_b = 0 \quad (2.9)$$

$$-\left[\frac{\partial G_b}{\partial T}\right]_P + \left[\frac{\partial G_a}{\partial T}\right]_P = \Sigma_b - \Sigma_a = \Delta \Sigma = \frac{1}{T} \quad (2.10)$$

$$-\left[\frac{\partial G_b}{\partial T}\right]_T + \left[\frac{\partial G_a}{\partial T}\right]_T = V_b - V_a = \Delta V \quad (2.11)$$

Burada $\Delta \Sigma$ ve ΔV sırasıyla faz geçişteki entropi ve hacimdeki değişimdir. Yani sistemin kimyasal potansiyeli sıcaklık ve basınca göre süreksizdir. Bundan dolayı, entropi ve hacimde değişim gözlenmektedir.

İkinci derece geçişte ise, Gibbs fonksiyonunun sıcaklık ve basınca göre türevleri süreksiz olduğundan $\Delta \Sigma$ ve ΔV sıfırdır. Süreksizlik ikinci mertebeden türevlerde mevcuttur. Gibbs fonksiyonunun ikinci mertebe türevlerindeki süreksizlikler sırasıyla ΔC_p , $\Delta \alpha$ ve ΔK ' da değişimlere neden olurlar.

İkinci derece faz geçişi matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir (Singh, 2000);

$$G_a(T, P) = G_b(T, P) \quad (2.12)$$

$$\left[\frac{\partial G_b}{\partial T}\right]_P + \left[\frac{\partial G_a}{\partial T}\right]_P = \Sigma_b - \Sigma_a = \Delta \Sigma = 0 \quad (2.13)$$

$$\left[\frac{\partial G_b}{\partial P}\right]_T + \left[\frac{\partial G_a}{\partial P}\right]_T = V_b - V_a = \Delta V = 0 \quad (2.14)$$

$$\left[\frac{\partial^2 G_b}{\partial T^2} \right]_p + \left[\frac{\partial^2 G_a}{\partial T^2} \right]_p = \frac{1}{T} (C_{Pa} - C_{Pb}) = \frac{\Delta C_P}{T} \quad (2.15)$$

$$\left[\frac{\partial^2 G_b}{\partial P^2} \right]_T + \left[\frac{\partial^2 G_a}{\partial P^2} \right]_T = V(K_a - K_b) = V\Delta K \quad (2.16)$$

$$\left[\frac{\partial^2 G_b}{\partial P \partial T} \right] + \left[\frac{\partial^2 G_a}{\partial P \partial T} \right] = V(\alpha_b - \alpha_a) = V\Delta\alpha \quad (2.17)$$

Burada ΔC_P , $\Delta\alpha$ ve ΔK sırasıyla ısı sığası, genleşme katsayısındaki değişimler ve termal sıkıştırılabilirlik ifadeleridir. Geçişin birinci derece mi yoksa ikinci derece mi olduğu sırasıyla parametrelerin faz geçiş noktasında sürekli mi yoksa süresiz mi olduğuna bağlıdır. Mezofaz geçişlerinin çoğu zayıf bir şekilde birinci derece geçiş ile karakterize edilir. Sıvı kristallerde Ch – I faz geçişi birinci derece geçişe örnektir.

2.7. Sıvı Kristallerin Optiksel Özellikleri

Lazer teknolojisindeki ilerlemeler sonrasında malzemelerin optik özellikleri kolaylıkla incelenebilmektedir. Sıvı kristaller sıradan olmayan özellikleriyle optik yönden ilginç malzemelerdir. Bu malzemelerde, moleküler yönelim mertebesi ve ortalama moleküler yönelim, dış etkilerle değiştirilebilir. Bu etkiler mekanik gerginlik, manyetik veya elektrik alan gibi parametrelerdir. Sıvı kristaller ileri seviyede çift kırıcı maddelerdir ve yüksek elektro-optik ve magneto-optik katsayılara sahiptirler (Blinov vd., 1994). Ayrıca, sıvı kristaller optiksel mezofazlar olarak, zengin ve benzeri olmayan optiksel ve termo-optiksel özelliklere sahiptirler.

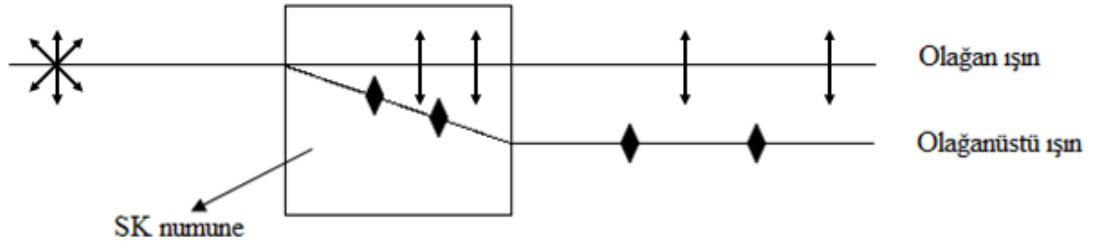
2.7.1. Optiksel eksen ve çift kırılma

Sıvı kristallerin optik özelliklerinin anlaşılmasında, kırılma indisinin anlaşılması büyük öneme sahiptir. Sıvı kristaller optiksel mikroskopta incelendiklerinde tekstür adı verilen renkli yapılar gözlenmektedir.

Bu tekstürlerin oluşmasının sebebi polarizasyon düzleminin yöneliminin yönlendiriciye göre değişmesi ve ışığın hızının dalga boyuna göre farklılık göstermesidir.

Sıvı kristaller anizometrik özellik gösterdiklerinden dolayı çift kırılma oluşmasına neden olurlar. Bu nedenle bu malzemelere, çift kırıcı malzemeler de denir. Sıvı kristaller iki kırılma indisine sahiptir. Yönlendiriciye dik ve paralel şekilde polarize olan ışıkların kırılma indisleri birbirinden farklıdır. Bu durumda, ışık çift kırıcı bir malzemeye girdiğinde, ışık demeti *olağan ışınlar* (ordinary rays) ve *olağan üstü ışınlar* (extraordinary rays) olmak üzere iki bileşene ayrılır. Elektrik alan vektörleri dik yönelimdedir ve sıvı kristal ortamda farklı hızlarda yayılmaktadırlar. Dolayısıyla n_o (n_o : ordinary indis) ve n_e (n_e : extraordinary indis) olmak üzere iki farklı kırılma indisi oluşmaktadır (Şekil 2.13).

Bunlardan ilkinde, n_o , gelen polarize ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu sıvı kristalin yön vektör eksenine dik olacak şekildedir. n_e ’de ise gelen ışığın elektrik alan vektörünün titreşim doğrultusu sıvı kristalin optik eksenine paralel olacak şekildedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Sıvı kristal ortamdaki polarize ışığın davranışı (Saito vd., 1998)

Olağan ışın, kristale gelen ışık demeti ve gelen demetin kristale düştüğü noktadaki normal ile aynı düzlem içinde bulunmaktadır. Olağanüstü ışın ise, kristale gelen ışık demeti ve gelen demetin kristale düştüğü noktadaki normal ile aynı düzlem içinde bulunmamaktadır. Hem olağan hem de olağanüstü demetler tümüyle kutuplanmışlardır. Bu demetlerin kutuplanma yüzeyleri birbirine diktir. Ayrıca, olağan demetin salınım düzlemi, kristalin esas düzlemine diktir.

Tüm anizotropik şeffaf kristallerde bir veya iki yön vardır ki, bu yönlerde kristale düşen ışıktaki çift kırılma gözlenmez. Bu yönler, kristallerin optiksel eksenleridir. Sadece bu tür tek yöne sahip kristaller, tek optiksel eksenli kristaller, iki tane yöne sahip kristaller ise çift optiksel eksenli kristaller olarak adlandırılmaktadır.

Optiksel eksen, kristalin belirgin noktasından geçen bir hat değil, kristalde belirgin bir yönü ifade eder. Kristalin optiksel eksenini içeren herhangi bir çizgi, kristalin optiksel eksenidir. Kristalin optiksel eksenini içeren herhangi bir düzlem ise, kristalin esas düzlemi veya esas kesiti olarak adlandırılmaktadır.

Tek optiksel eksenli kristaller iki kırılma indisi ile karakterize edilmektedir. Bunlar olağan demetin kırılma indisi n_o ve olağanüstü demetin kırılma indisi n_e 'dir. Bu kırılma indisleri aşağıdaki şekilde belirlenmektedir.

$$n_o = \frac{c}{v_o} \quad (2.18)$$

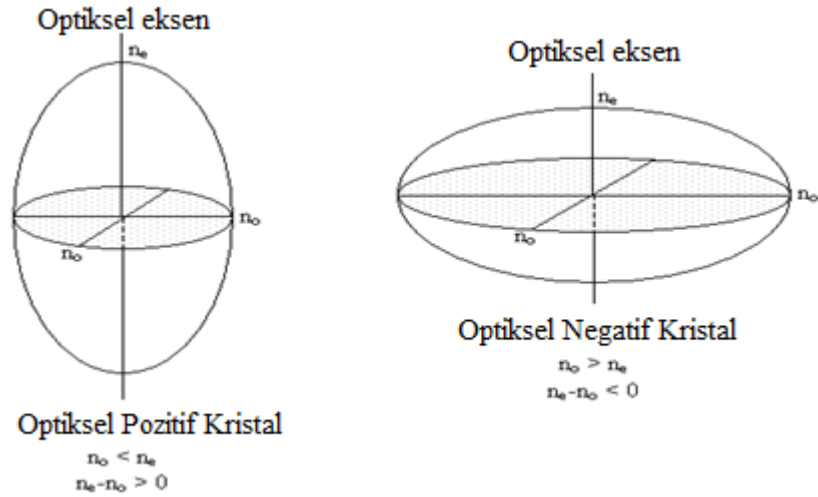
$$n_e = \frac{c}{v_e} \quad (2.19)$$

$v_e < v_o$ olduğu durumlarda olağanüstü dalga, olağan dalgaya göre daha yavaş yayılmaktadır.

Bu durumda, optiksel eksene paralel olan kırılma indisi $n_{//}$, dik olan kırılma indisi $n_{\perp}$ 'ten daha büyüktür. Bu durum, $n_e > n_o$ olan duruma karşılık gelmektedir ve optiksel olarak pozitif tek eksenli olarak adlandırılır ($\Delta n = n_{//} - n_{\perp} > 0$). Bu tür kristaller pozitif çift kırılmaya sahiptirler. Bunlara örnek olarak nematik sıvı kristaller gösterilebilir (Saito vd., 1998).

Tam tersi durumda, ($v_o < v_e$) olağan dalga, olağanüstü dalgaya göre daha yavaş yayılmaktadır. Bu durumda optiksel eksene paralel olan kırılma indisi $n_{//}$, dik olan kırılma indisi $n_{\perp}$ 'ten daha küçüktür. Bu durum, $n_o > n_e$ olan duruma karşılık gelmektedir ve optiksel olarak negatif tek eksenli sıvı kristaller için geçerlidir ($\Delta n = n_{//} - n_{\perp} < 0$).

Bu tür kristaller negatif çift kırılmaya sahiptirler (Singh vd., 2002). Bunlara örnek olarak kolesterik ve diskotik sıvı kristaller verilebilir. Pozitif eksenli bir ortamda uzun eksen $n_{//}$ 'e, kısa eksen ise $n_{\perp}$ 'e karşılık gelmektedir. Optiksel eksene paralel ve dik olan kırılma indisleri Şekil 2.14 ile açıklanabilir. Şekil 2.14'te uzun ve kısa eksenli iki elipsoid görülmektedir. Negatif eksenli ortam için ise tam tersi durum geçerlidir. Şekil 2.14'teki gösterim tek eksenli faz için geçerlidir. Bu ortamda iki kırılma indisi ve sadece bir tane optik eksen bulunmaktadır. Sıvı kristallerde olduğu gibi iki farklı kırılma indisi ile karakterize edilen yapılar çift kırınım olarak ifade edilir.



Şekil 2.14. Pozitif ve negatif eksenli yapıda, kırılma indislerinde meydana gelen anizotropi (Dierking, 2003)

Bir noktasal ışık kaynağından, olağan ışınlar küresel ve olağandışı ışınlar elipsoidal olarak çıkmaktadır. Olağan ışında, $\mathbf{E}$ alanı, her yerde optik eksene dik olduğundan ışın bütün doğrultularda $v_{\perp}$ hızıyla hareket etmektedir. Benzer şekilde, olağandışı ışın sadece optik eksen doğrultusunda $v_{//}$ hızına sahiptir ve bu doğrultu boyunca olağandışı ışın daima olağan ışına teğet durumdadır. Optik eksene dik ilerleme doğrultusunda $\mathbf{E}$, optik eksene paraleldir ve ışının bu parçası $v_{//}$ hızıyla yayılır. Olağan ve olağanüstü ışınlar farklı hızlarla hareket ettiklerinden dolayı farklı kırılma indislerine sahiptir. Olağan ve olağandışı ışınların sahip olduğu kırılma indisleri sırasıyla, n_o ve n_e olarak isimlendirilir.

Olağan ışın, Snell yasasına göre hareket ederken, olağandışı ışın Snell yasasına uygun olarak hareket etmez. Bu iki ışının polarizasyonları birbirlerine diktir ve farklı yönlerde yayılmaktadır (Elston vd., 1998).

Olağan ve olağandışı ışınların farklı yönlerde yayılmalarından dolayı bir faz farkı oluşmaktadır. Oluşan δ faz farkı,

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o) d \quad (2.20)$$

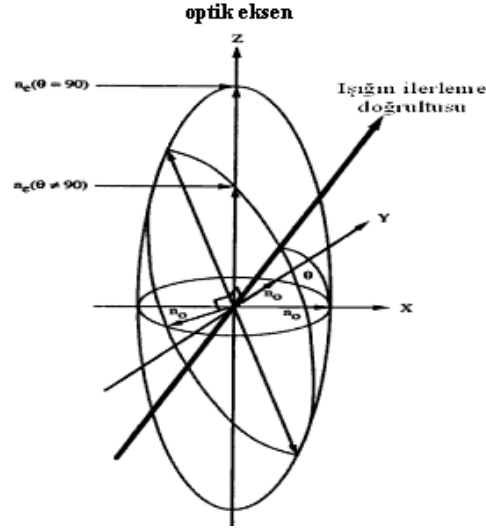
ile ifade edilmektedir (Dierking, 2003). Burada λ boşluğun dalga boyu, d ortamda ışığın ilerlediği mesafedir. Sıvı kristallerin anizotropisi sonucu yön vektörüne dik ve paralel yönde meydana gelen kırılma indisleri $n_{\perp}$ ve $n_{\parallel}$ ile n_o ve n_e arasındaki bağıntı (Dierking, 2003);

$$n_o = n_{\perp} \quad (2.21)$$

$$n_e = \frac{n_{\parallel} n_{\perp}}{\sqrt{n_{\parallel}^2 \cos^2 \phi + n_{\perp}^2 \sin^2 \phi}} \quad (2.22)$$

olarak ifade edilir. Burada ϕ , ışığın ilerleme yönü ile optik eksen arasındaki açıdır. Şekil 2.15'te, ışığın ilerleme yönü ile optik eksen arasında belirli bir açının olduğu pozitif eksenli ortamdaki durum gösterilmiştir. Elipsoid indeksinin merkezi içinde bulunan ışığın ilerleme yönünü dik kesen düzleme indikatriks adı verilmektedir.

Bu indikatriks eliptik oluşumdaki uzun eksen n_e ve kısa eksen ise n_o kırılma indisine karşılık gelmektedir.



Şekil 2.15. Işığın çift kırıcı ortamda optik belirli bir açı yaparak ilerlediği durumun çizimi (Dierking, 2003)

Genel durumda, çapraz polarizatörler arasındaki sıvı kristale gelen lineer polarize ışığın, örnekten geçtikten sonra polarizasyonu değişir ve çapraz analizörden geçebilen bileşenli eliptik polarize ışık haline dönüşür. Geçen ışığın şiddeti,

$$I = I_0 \sin^2 2\varphi \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (2.23)$$

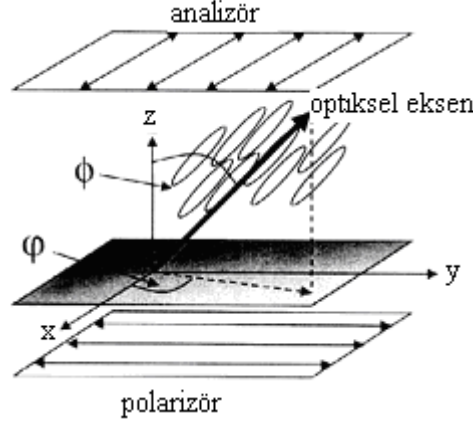
ile ifade edilir. Burada I_0 , analizörden geçen ışığın şiddeti, φ ise örnek düzlem üzerindeki optik eksenin izdüşümü ile analizör arasındaki açıdır (Şekil 2.16).

Eşitlik 2.23'ün ilk terimi, çapraz polarizatör arasındaki çift kırıcı örnekten geçen ışığın şiddetindeki değişimi ve ikinci terim ise, sıvı kristal tekstürlerde meydana gelen renkleri ifade eder.

Çapraz polarizatör arasında tek eksenli yönelime sahip bir sıvı kristal moleküllerin homeotropik yöneliminde ışığın ilerleme doğrultusu ile optik eksen çakışır ($\phi = 0$). Eşitlik 2.21 ve 2.22'den $n_e - n_o = 0$ ve $\delta = 0$ bulunur. Böylece, polarize olmuş ışık örnek içerisinde çift kırılmaya uğramaz ($I = 0$). Örneğe, polarize mikroskoptan bakıldığında siyah bir fon görülür.

Eşitlik 2.21 ve 2.22'deki tüm φ açı değerleri için geçen ışığın şiddeti sıfıra eşittir. Bu yüzden, çapraz polarizatörler arasındaki örnek kendi eksenini etrafında döndürüldüğünde polarize mikroskopta daima siyah bir fon görünür.

Homeotropik yönelmiş örnekler, bu özellikleriyle izotropik sıvıya benzer davrandığından dolayı izotropik olarak da ifade edilirler. Moleküller referans yüzeye paralel olarak yöneldiğinde ise (planar) $\phi = 90^\circ$ olur. Bu durumda, $n_o = n_{dik}$ ve $n_e = n_{para}$ dir. Eşitlik 2.23, $\phi = 45^\circ$ için maksimuma, $\phi = 0^\circ$ ve $\phi = 90^\circ$ için ise minimuma sahiptir.



Şekil 2.16. Çapraz polarizatörler arasında bulunan sıvı kristal moleküllerin, polarizatör düzlemine belirli bir açı altında yönelimi (Dierking, 2003)

Kolesterik sıvı kristaller farklı şekilde çift kırılma özelliği gösterirler. Spiral yapının ışığın yayılma yönüyle aynı hizada olduğu düşünüldüğünde, dairesel şekilde polarize olmuş ışık, sağa ya da sola dairesel polarize olduğuna bağlı olarak, kristal içinde farklı hızlarda yol almaktadır. Buna “Sirküler Breffringence (dairesele çift kırılma)” denir ve kolesteriklerin moleküllerinin spiral yapıda şekillenmesi nedeniyle, kiral nematik sıvı kristallerde meydana gelmektedir. Sirküler (dairesele) çift kırılma dalga boylarına yüksek oranda bağımlıdır. Bu nedenle farklı renkteki ışıklar, farklı miktarlarda değışikliğe uğramaktadır.

Dairesel şekilde polarize olan ışığın, biri sağda biri solda olmak üzere iki bileşenden oluştuğu düşünülebilir. Eğer, ışık lineer şekilde polarize olmuşsa, bileşenler birbirine eşit olacaktır.

Lineer şekilde polarize olmuş ışık kiral nematik sıvı kristal içinden geçirilirse, kristal yapının kiralitesine uygun düşen dairesel şekilde polarize olmuş ışığın bileşeni, diğer bileşenden daha hızlı yol alacaktır.

Bu da, diğer bileşenin polarizasyonuna oranla kendi polarizasyonunun daha hızlı döneceği sonucunu ortaya çıkaracaktır.

Malzemenin uzunluğu da önemli bir parametredir. Çünkü faz kayması, ışığın çift kırılmaya sahip malzeme boyunca ilerlemesi esnasında artmaktadır. Çift kırılma ve uzunluk parametrelerinin doğru birleşimi sonucunda herhangi bir polarizasyon durumunun elde edilmesi mümkündür. Burada ortamda optik yol kavramından bahsetmek yerinde olur. Çünkü, çift kırılmaya sahip malzemede farklı hızlarla ilerleyen iki dalga bileşenleri için optik yollar arasındaki fark, dalga ortamda ilerledikçe polarizasyon durumunda değişmeye neden olmaktadır. Kristal içinde, $\{l\}$ mesafesi kat eden dalga için optik yol, $\{nl\}$ ile gösterilirse, iki dalga bileşeni için optik yolların farkı:

$$l(n_e - n_o) = l\Delta n \quad (2.24)$$

olacaktır. İki bileşen arasında faz farkı $\left(\frac{2\pi l\Delta n}{\lambda_y}\right)$ olacaktır, burada λ_y vakumdaki dalga boyudur. Malzemenin çift kırılma özelliğinin olması anizotropik olmasından kaynaklanmaktadır ve sıvı kristallerin anizotropisi sıcaklığa kuvvetli bir şekilde bağımlılık sergilemektedir. Bu bağımlılık nematik fazdan izotropik faza geçerken kaybolmaktadır. Dolayısıyla, çift kırılma sıcaklığa da ciddi bir şekilde bağımlılık göstermektedir. Bu iki bileşen dışarı çıktığı zaman, polarizasyonları tekrar aynı oranda dönecektir ve ışık yeniden lineer olarak polarize olacaktır. Fakat, dönüşümlerden biri diğerinin ilerisinde olduğundan, ışık farklı bir açı boyunca lineer olarak polarize olacaktır.

Yeni açının ne olduğu iki bileşenin dairesel fazdan ne kadar uzak olduklarına bağlıdır. Yani, direkt olarak sıvı kristalin kalınlığına bağlıdır. Bu etkiye “optiksel etkinlik” adı verilir. Optiksel etkinlik, birim kalınlık başına polarizasyon açısındaki değişimin bir ölçüsüdür. Ve ışığın dalga boyuna büyük ölçüde bağlıdır.

2.7.2. Optiksel etkinlik

Kutuplanmış ışığın birçok önemli uygulamaları, maddelerin optikçe aktiflik özelliği sergilemesini gerektirir. Optikçe aktif maddeler geçen ışığın kutuplanma düzlemini döndürme özelliği gösterirler. Belirli bir madde tarafında ışığın döndürüldüğü açı, madde boyunca ışık yolu uzunluğuna, çözelti içerisinde ise derişimine bağıdır. Evde kullanılan şeker çözeltisi optikçe aktif maddeye örnek olarak verilebilir. Şeker çözeltisinin derişimini (konsantrasyon) belirlemekte kullanılan standart metotlardan biri, çözeltinin belirli bir uzunluğu tarafından oluşturulan dönmeyi ölçmektir.

Moleküler simetrisizlik (simetrik olmama) bir malzemenin optikçe aktifliğini belirlemektedir. Örneğin, bazı proteinler sarmal biçimlerinden dolayı optikçe aktiftirler. Cam ve plastik gibi diğer maddeler, baskı (zor) altında olduklarında optikçe aktif olmaktadır. Zor altında olmayan plastik bir maddenin bir kutuplayıcı ile analizör (çözümleyici) arasına konulduğu farz edilsin, öyle ki; ışık kutuplayıcıdan plastiğe ve oradan analizöre geçsin. Plastiğe zor uygulamadığında ve analizör eksenini kutuplayıcı eksenine dik olduğunda, kutuplanmış ışığın hiçbir kısmı analizörden geçmeyecektir. Başka bir deyişle, zor uygulanmayan plastiğin geçen ışığa hiçbir etkisi olmayacaktır. Fakat, plastik zor altında ise, zorun en büyük olduğu bölgeler kutuplanmış ışığı en geniş açılarla döndürürler. Dolayısıyla, geçen ışıkta bir dizi parlak ve karanlık bantlar (parlak bantlar en büyük zor uygulanan bölgelere karşılık gelmek üzere) gözlenir.

Mühendisler, optiksel zor analizi olarak adlandırılan bu tekniği, köprülerden başlayarak küçük aletlere kadar yapı tasarımlarında sıkça kullanırlar. Zor altında zayıf ve kırılabilir bölgeleri saptayabilmek için plastik modeller yapıp analiz ederler. Ayrıca hesap makinelerinin çoğunda bulunan sıvı kristal göstergelerin farklı kısımlarına uygulanan elektriksel potansiyel ile, göstergelerin optikçe aktiflikleri değiştirilebilmektedir.

2.7.3. Lambert-Beer yasası

Işımanın soğurulma miktarı, soğurucunun miktarıyla doğru orantılı olarak değişmekteyken, ışımının şiddetinden bağımsızdır. Eğer soğurucu ortam bir çözelti ise soğurma miktarı ışıma yoluna ve çözelti derişimine bağılı olmaktadır.

Maddenin ışığı soğurma (absorplama) derecesini ölçmek ve bundan yararlanarak derişimi saptamak için, soğurma ile derişim arasındaki ilişki bilinmelidir. Monokromatik (tek dalgaboylu ışıma) ve I_0 şiddetindeki bir ışık demeti, kalınlığı l cm olan bir malzemedeki herhangi bir molekül tarafından soğurulduğunda şiddeti azalır ve malzemeyi I_1 şiddetinde terkeder. Moleküllerin seçilen dalga boyundaki ışımayı soğurulması sonucu ortaya çıkan azalma Lambert-Beer eşitliği ile verilir: Malzemeden geçen ışık miktarı, ışığın malzeme içinde kat ettiği yol ve malzeme çözelti ise çözeltinin konsantrasyonu ile logaritmik olarak ters orantılı, emilen ışık miktarı ise doğru orantılıdır.

Aynı kalınlıktaki malzemeden geçen monokromatik bir ışın demetinin şiddeti malzeme içerisinde soğurularak aldığı yolla üstel olarak azalır. Bu kanun,

$$I_1 = I_0 \exp(-\alpha l) \quad (2.25)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitliğin her iki tarafının logaritması alındığında,

$$\ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = -\alpha l \quad \text{veya} \quad \ln\left(\frac{I_0}{I_1}\right) = \alpha l \quad (2.26)$$

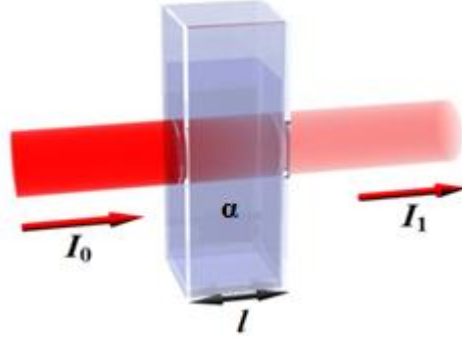
elde edilir. $\ln\left(\frac{I_0}{I_1}\right)$ eşitliğine soğurgan denilir ve $A(\lambda)$ ile gösterilir. $A(\lambda)$ soğurgan monokromatik ışığın dalga boyuna bağılı ve ışın demetinin izlediği yol ile doğru orantılıdır (Negi vd., 1985).

I_1 : Malzemeyi terk eden ışın demetinin şiddeti

I_0 : Gelen ışın demetinin şiddeti

l : Malzeme içerisinde ışının aldığı yol

α : λ dalga boyundaki soğurma katsayısıdır.

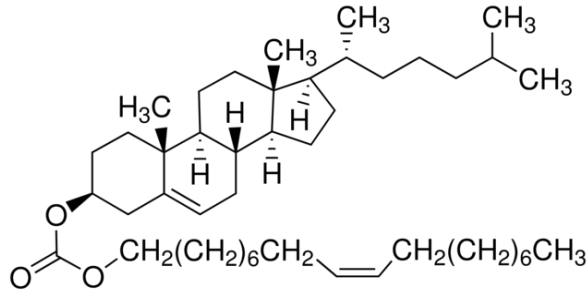


Şekil 2.17. Malzemeye gelen ve malzemeyi terk eden monokromatik bir ışın demeti
(http://www.wikidoc.org/index.php/Beer-Lambert_law)

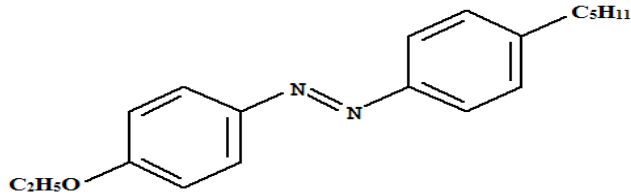
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İncelenen Sıvı Kristalik Malzemeler

Bu çalışmada iki farklı kolesterik sıvı kristalik malzeme incelenmiştir. İncelenen sıvı kristallerin isimleri ve kimyasal formülleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Cholesteryl cleyl carbonate (COC)’ın kimyasal yapısı



Şekil 3.2. Azobenzene, 4-ethoxy-4'-pentyl (AEP)’in kimyasal yapısı

Bu sıvı kristaller monomorfik malzemeler olarak, geniş sıcaklık aralığında enantiotropik kolesterik mezofazı sergilemektedir. Bu malzemelerin termotropik özelliklerin incelenmesi yapılarak düz *kristal-kolesterik mezofazı* (Cr-Ch), *kolesterik mezofazı-izotropik sıvı* (Ch-I) ve *ters isotropik sıvı-kolesterik mezofazı* (I-Ch), *kolesterik mezofazı-kristal* (Ch-Cr) faz geçişlerin sıcaklıkları tarafımızdan tespit edilmiş ve faz geçiş sıcaklıkları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. COC ve AEP için faz geçiş sıcaklıkları

Sıvı Kristal	Faz Geçiş Sıcaklıkları, K			
	Cr – Ch	Ch – I	I – Ch	Ch – Cr
COC	293.1	308.9	303.6	292.2
AEP	289.2	314.8	308.1	288.0

3.2. Örneklerin Hazırlanması

Sıvı kristal sistemlerin çok hassas olmasından dolayı hazırlanmaları sırasında yapılan işlemler de hassas olmayı gerektirir. Bu sebepten dolayı sistemlerin incelenmesi, araştırılması ve ölçümlerin yapılması sırasında gösterilen hassasiyet ve titizlik laboratuvar malzemelerinin temizliği konusunda da gösterilmelidir. Örneklerin hazırlanması ve incelenmesi sırasında kullanılan spatüller, tüpler, enjektörler, v.b. her kullanım öncesi alkol ile temizlendikten sonra saf sudan geçirilerek temizliğinden emin olunarak kullanılmıştır.

Örnekler hazırlanırken alt ve üst referans cam yüzeyler ve ara bantlardan oluşan yassı kapilyar hücreler kullanılmıştır.

Sıvı kristalik malzeme yassı kapilyarın içine izotropik sıvı halinde doldurulduktan sonra, hazırlanan örnekler araştırma aşamasına geçilmeden önce birkaç kez mezofazın meydana geldiği sıcaklık değerine kadar soğutulup, izotropik sıvının meydana geldiği sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. Her bir ısıtma-soğutma işlemi sonrasında tekstürlerin morfolojisinde değişimin meydana gelip gelmediği optiksel mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

Sıvı kristalik mezofazların, monokristalik homeotropik yönelimlerinin elde edilmesi için yassı kapilyar referans yüzeylere özel yöneltici çözelti kullanılmıştır. Bu çözelti, etil alkol içerisinde %1 oranında lesitin eklenerek hazırlanmıştır. Yassı kapilyarların referans yüzeyleri bu çözelti ile işlenmiş ve daha sonra bu referans yüzeylerle oluşturulan kapilyar hücre içerisine sıvı kristal malzeme doldurulmuştur. Homeotropik yönelimin elde edilip edilmediği kontrol edilmesi ve yönelmiş örneğin yönelim homojenliğinin belirlenmesi için polarizasyon mikroskopi tekniği kullanılmıştır.

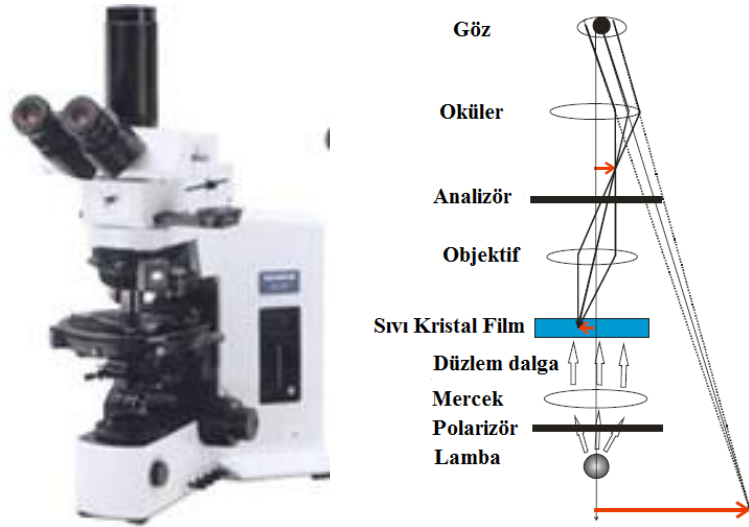
3.3. Araştırma Yöntemleri

3.3.1. Polarizasyon optik mikroskopisi

Sıvı kristalin tipini ve meydana gelen tekstürlerde, diğerk mezofazları tanımlamak için polarizasyon optik mikroskopisi kullanılmaktadır. Ayrıca bu teknik, belirli fazlarda ve belirli sıcaklık aralıklarında sıvı kristallerin fiziksel özelliklerini ortaya çıkarmak için de gerekli olmaktadır (de Gennes, 1973; Nesrullazade vd., 2000).

Polarizasyon optik mikroskopisi (POM) vasıtasıyla mezofazları tanımlanırken genellikle bir cam mikroskop slaydı ile cam kapak arasına yerleştirilmiş mezogenik materyalin ince bir örneğinin büyütölmüş görüntüsü kullanılır. Materyalin mikroskop slaydı, sıcaklığı kontrol edilebilen (genellikle 20°C ile 300°C arasında) mikroskopta incelenecek malzemenin koyulduğı alana, birbirlerini 90°'lik açılarla kesen polarlaştırıcılar arasına yerleştirilir. Faz içinde moleküllerin düzenlenme biçimleri mikroskopik tektürünün dikkatli bir analizi vasıtasıyla tespit edilebilmektedir.

Mikroskoptaki polarlaştırıcılar birbirlerini 90°'lik açılarla kestiğı için ışık, alandaki hiçbir örnekle söndürölemez ve siyah bir bölge görülür. Benzer bir biçimde bir izotropik sıvı analiz edilirse, polarize olmuş ışık örnek (izotropik) tarafından etkilenmemiş olarak kalır ve bu yüzden analiz edicinin içinden hiçbir ışık geçmez. Ancak, bir izotropik ikili kırınım ortamı var olduğunda, ışık söndürölemez ve ortam içinde moleküllerin düzenlenmesi ile ilgili bilgi veren bir tekstür görünür (Demus, 1980; Dierking, 2003).



Şekil 3.3. Polarizasyon optiksel mikroskobu (Jakli, 2012)

POM tekniği, sıvı kristal tekstürlerin morfolojik özelliklerini araştırmada, faz geçiş bölgesi civarında ve faz geçişinden uzak bölgelerdeki tekstürlerin morfolojisindeki değişimlerin gözlenmesinde ve incelenmesinde kullanılmaktadır.

POM ile mezofazları analiz ederken gözlenen tekstür, örneğin nasıl hizalandığına ve örneğin faz yapısına bağlıdır. POM ile sıvı kristal fazlar kolayca ayırt edilebilmektedir. Ayrıca, mikroskopik tekstürlerden mikroskopik oluşumlar ve yönelimler de belirlenebilmektedir. POM, sıvı kristal hakkındaki çalışmaların geleneksel ve köklü yöntemidir. POM’da belirlenen en küçük nesneler yalnız 1 mikron aralığında ise de tipik bir sıvı kristal moleküllerin uzunluğundan 500 kat daha büyüktür. Ayrıca POM çift kırınımın işaretinin ve büyüklüğünün belirlenmesi için de kullanılmaktadır.

3.3.2. Abbe refraktometresi

Şeffaf bir malzemenin kırılma indisini ölçmek için toplam iç kırılmaya dayanan klasik bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan temel araç, 1900’lü yılların başında Ernst Abbe tarafından tasarlanan Abbe refraktometredir. Abbe refraktometre, cam prizmadan (yaklaşık $n = 1.89$) daha küçük kırılma indisine sahip malzemelerde çalışır ve tipik olarak dört ondalık basamaklı kırılma indisini iki birimini hassas olarak ölçer.

Şekil 3.4'te bir Abbe refraktometrenin fotoğrafı verilmiştir. İnce bir film halindeki örnek iki prizma arasına ($\sim 0.1\text{mm}$) konulur.



Şekil 3.4. Abbe refraktometresi (<http://kimyasalmalzemeler.blogspot.com/2012/08/abbe-refraktometresi.html>)

Bir destek üzerine sıkıca yerleştirilmiş olan üstteki prizma, yan kol ile döndürülebilir durumdadır. Alt prizma üst prizmaya bir menteşe ile bağlanmıştır. Böylece örnek konulması ve prizmaların temizlenmesi kolaylıkla yapılabilir. Alt prizmanın yüzeyi pürüzlüdür; gelen ışın demeti bu yüzeyde sonsuz sayıda her yönde ışına ayrılarak örnekten geçer. Işın, üst prizmanın düzgün yüzeyi ve örneğin ara yüzeyinde kırılır ve sabit teleskopa girer. Birbirine göre ters yönde dönen iki Amici prizması farklı renklerdeki değişik kritik açılı ışınları tek bir beyaz demet içinde toplar, bu demet sodyum D ışınının yolunu izler.

Göz merceğinde, görüntüyü ikiye bölen bir çizgi bulunur; ölçme yapılırken aydınlık karanlık ara yüzeyi mercekteki çizgi ile üst üste gelinceye kadar prizma açısı döndürülür. Bu durumdaki prizmanın konumu sabit skaladan saptanır (skala normal olarak n_D birimlerine göre derecelenmiştir). Sabit sıcaklıkta çalışabilmesi için prizmaları saran ceketlerden su devri yapılır. Beyaz ışık ayarlanabilir. Abbe refraktometresinin çok kullanılmasının sebebi, cihazın uygunluğu ile, geniş kullanım aralığına sahip olması ($n_D = 1,3 - 1,7$), ve çok az örneğe ihtiyaç duyulması gibi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Doğruluğu $\pm 0,0002$ dolayında, ve hassasiyeti bu değerin yarısı kadardır.

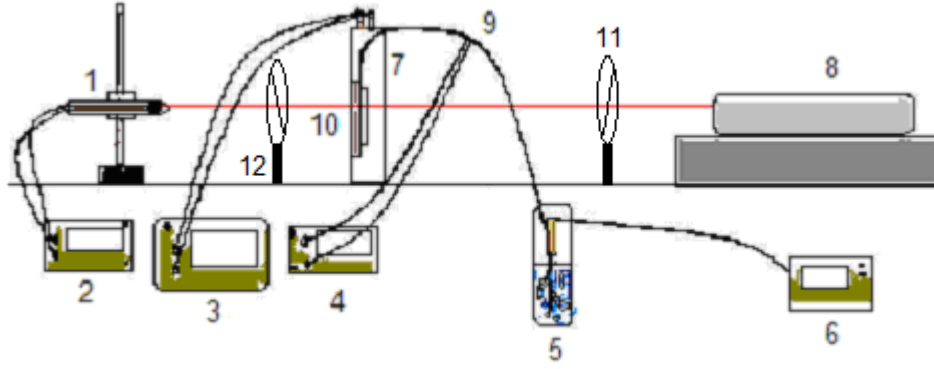
Abbe cihazındaki en ciddi hata iki prizmanın yerleşiminden dolayı bazı eşdeğer ışınların algılanamamasıdır. Bu durumda sınır çizgisi istenildiği kadar keskin olmaz. "Hassas" Abbe refraktometre, normal bir Abbe refraktometreye göre üç misli daha doğru sonuç verir; doğruluğun bu kadar yükseltilmesi, kompensatör yerine bir monokromatik kaynak ve daha büyük hassas bir prizmayı kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Monokromatik bir kaynak daha keskin bir kritik sınır verir, hassas prizma ise prizmanın konumunun daha doğru olarak saptanmasını sağlar.

Abbe refraktometre ile çift kırılmayı ölçmek için prizmalar arasındaki maddenin yönelmiş olması gerekir. Yönelimi sağlamak için prizmanın her iki yüzeyi, özel çözelti (etil alkol içerisinde %1 lesitin çözeltisi) ile işlenir ve daha sonra sıvı kristal malzeme konularak ölçüm yapılır. Olağan ve olağan dışı ışınlar sırasıyla optiksel eksene paralel veya dik polarizör filtreler kullanılarak seçilebilir.

3.3.3. Optiksel geçirgenliklerinin sıcaklığa bağımlılıklarının incelenmesi için kullanılan deneysel yöntemler

Kolesterik – izotropik sıvı ve izotropik sıvı – kolesterik düz ve ters faz geçişlerinde optiksel geçirgenliklerinin sıcaklığa bağımlılıklarının incelenmesi için özel bir termo-optiksel düzenek kullanılmıştır. Hazırlanan sandviç-hücre tip örnekler, termostat ısıtıcı içine yerleştirilerek örneklerin ısıtılmasıyla sıcaklıklarının değişimi sağlanmış ve bu sayede faz geçiş sıcaklıkları bulunmuştur. Termostat-ısıtıcı da ısıtma işlemi İnstek GPS-3303 DC Power Supply ile sağlanmıştır.

Örnekler tamamen izotropik sıvı fazına geçtikten sonra, ısıtma süreci sona erdirilmiş ve soğutma işlemine geçilmiştir. Isıtıcı içinde bulunan örneğin ısıtılması ve soğutulması esnasında sıcaklık kontrolü için daha önceden derecelendirilmesi yapılmış olan bakır-konstantan diferansiyel termoçift kullanılmıştır. Termoçiftin bir ucu, sıvı kristal malzeme ile doldurulmuş sandviç- hücrede diğer ucu ise 0 °C de Deward kabında referans olarak tutulmuştur. Çalışmalarımız sırasında referans sıcaklığın kontrolü, Leybold 666 209 Dijital Termometre ve dalga boyu 632,8 nm ve gücü 0,95mW olan He-Ne kırmızı lazer ışık kaynağı ile sağlanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Termo-optiksel düzenek, 1.BPW-34 silikon PIN Siemens fotodiyot, 2.Keithley 2000 Dijital Multimetre, 3. İnstek GPS-3303 DC Güç Kaynağı, 4. Leybold 666 209 Dijital Termometre, 5. Termos, 6.Keithley 2010 Dijital Multimetre, 7. Termostat ısıtıcı, 8.Lazer ışık kaynağı, 9. Cu-Co diferansiyel termoçift, 10. İçi sıvı kristal malzeme ile doldurulmuş yassı kapilyar sandviç-hücre, 11. analizör, 12. Polarizör (Avcı, 2007)

Sıvı kristallerin termo-morfolojik, optiksel özellikleri ve tekstür dönüşümlerinin incelenmesi için Politermik Polarizasyon Mikroskopi Tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemin deneysel düzenegi, Olympus BX-51P polarizasyon mikroskobu ve Olympus SC 35 mikrofotografik sistemi ile, özel termostat-ısıtıcı, sıcaklık kontrol sistemi ve Cu-Co diferansiyel termoçift, güç kaynağı ve multimetreden oluşmaktadır. Polarizasyon mikroskopi tekniği, sıvı kristalik tekstürlerin morfolojik özelliklerinin araştırılmasında, faz geçiş bölgesi civarındaki ve faz geçişinden uzak bölgelerdeki tekstürlerin morfolojisinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Morfolojik özelliklerin incelenmesi sırasında, λ düzlemi ve optiksel filtreler kullanılmıştır.

*Kolesterik – izotropik sıvı (N-I) ve izotropik sıvı – kolesterik (I-N) düz ve ters faz geçiş bölgelerinde meydana gelen heterofaz alanlarının termotropik, termo-morfolojik ve termo-optiksel özelliklerinin incelenmesi için orijinal Kapilyar Sıcaklık Kama Düzenegi*nden de faydalanılmıştır. Kapilyar sıcaklık kama düzenegi sıvı kristalik malzeme ile doldurulmuş uzun yassı kapilyar, üzerine yassı kapilyarın yerleştirildiği kama düzenegi ve referans sıcaklık kontrol sisteminden oluşmaktadır. Kapilyar sıcaklık kama düzenegi sandviç tip hücre üzerinde sıcaklık gradyenti meydana getirerek sıvı kristalin tüm termik fazlarının belirlenmesine ve heterofaz alanlarının sıcaklık aralıklarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Nesrullajev, 1992; Nesrullajev vd, 1998; Nesrullajev vd, 2000; Nesrullajev vd, 2002).

Bu düzenekte de sıcaklık kontrolü, faz geçiş sıcaklığının tespitinde olduğu gibi Cu-Co diferansiyel termoçift ve Keithley 2000 Dijital Multimetre ile yapılmıştır.

Bu yöntem daha öncede liyotropik ve termotropik sıvı kristallerin sıcaklık davranışı incelenmesinde kullanılmıştır (Nesrullajev vd, 2000; Nesrullajev vd, 2002). Faz geçiş sıcaklığı ve bu fazların heterofaz bölgelerinin sıcaklık genişliği 10^{-3} K'den daha az olmayacak kesinlikle hesaplanması ve sıvı kristal materyallerin sıcaklık aralığında mevcut olan tüm mezofazların aynı zamanda ve birlikte görülmesini sağlamaktadır.

İncelenen sıvı kristalik malzemelerin faz geçiş sıcaklıklarının belirlenmesi, mikroskopik tekstürlerin incelenmesi termostat ısıtıcı ve Leybold 666 209 Dijital Termometre vasıtasıyla yapılmıştır. Hazırlanan sandviç-hücre tip örnekler termostat ısıtıcı içine yerleştirilerek örneklerin ısıtılmasıyla sıcaklıklarının değişimi ve faz geçiş sıcaklıklarının belirlenmesi sağlanmıştır. Termostat ısıtıcıda ısıtma işlemi İnstek GPS-3303 DC Power Supply ile sağlanmıştır. Örnekler tamamen izotropik sıvı fazına geçtikten sonra ısıtma işlemi sona erdirilmiş ve soğutma sürecine geçilmiştir. Isıtıcı içinde bulunan örneğin ısıtılması ve soğutulması esnasında sıcaklık kontrolü için hassasiyeti $\pm 0,1$ K olan Cu-Co diferansiyel termoçift ve Keithley 2000 Dijital Multimetre kullanılmıştır. Diferansiyel termoçiftin bir ucu, sıvı kristal malzeme ile doldurulmuş sandviç-hücrede diğer ucu ise 0°C de Deward kabında referans olarak tutulmuştur. Referans sıcaklığının kontrolü, çalışmalarımız sırasında, hassasiyeti $\pm 0,1$ K olan Leybold 666 209 Dijital Termometre ile sağlanmıştır.

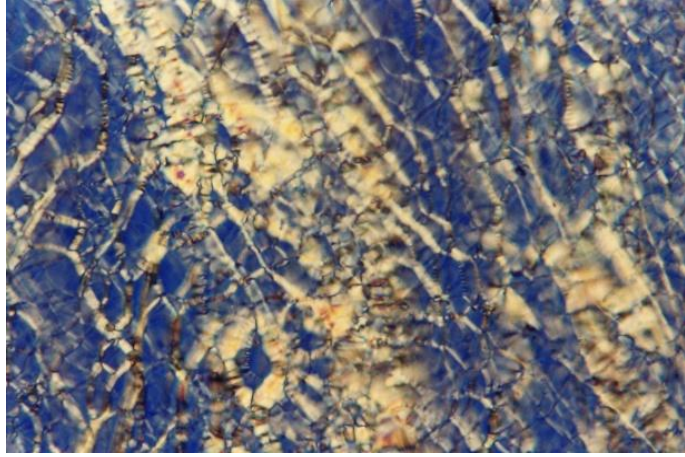
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. AEP ve COC Sıvı Kristallerin Termo-Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Sonuç ve Tartışmalar

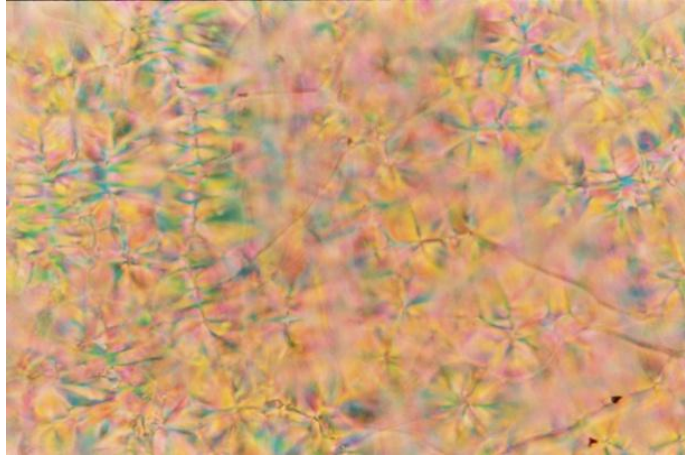
Bu çalışmada AEP ve COC sıvı kristallerin tekstür dönüşüm dinamiği ve Ch – I ve I – Ch faz geçiş bölgelerinin heterofaz alanlarının incelenmesi yapılmıştır.

AEP sıvı kristali için yapılan incelemelerde, sandwich hücre doldurulduktan hemen sonra Şekil 4.1a’da gösterilen tekstür gözlenmiştir. Bu tekstürde mavimsi fonda örgü şeklinde oluşumlar yer almıştır. Optiksel incelemeler sonucunda mavimsi fonun optiksel etkin olduğu görülmüştür. Bu özellik kolesterik sıvı kristaller için tipiktir. Örgü şeklindeki oluşumların büyük kısmı, yağlı şeritler (oily streaks) olarak adlandırılan oluşumlardır. Yağlı şeritler çok küçük olan konfokal oluşumlardan oluşmuştur. Gözlenen tekstür çok hassas olduğundan küçük bir dokunma veya sıcaklığın az miktarda değişmesinden hemen etkilenecek şekilde değişim göstermiştir. Zaman içinde bu tekstür dönüşüme uğrayarak, kolesterik sıvı kristallere has olan başka tekstüre dönüşmüştür (Şekil 4.1b). Bu tekstür yağlı şeritlerin birleşmesi ve iç içe geçmesi sonucu meydana gelmiştir. Şekil 4.1b’de görüldüğü gibi, bu tekstürde yelpaze tür oluşumlar gözlenmiştir. Oluşumların renklerinin farklı olması AEP sıvı kristalin kırılma indisinin modülasyonuna bağlıdır.

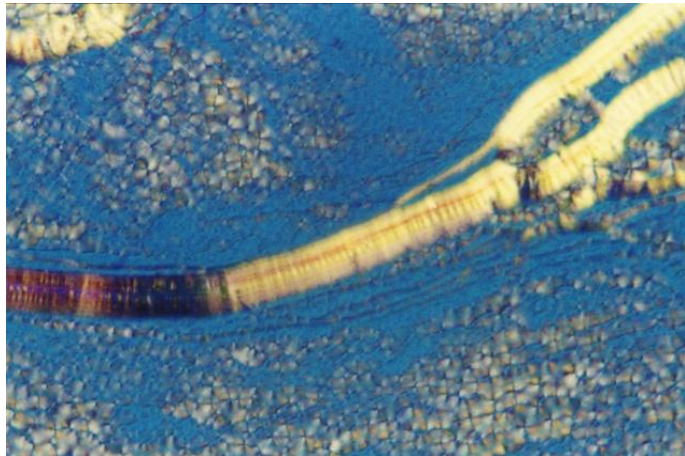
Şekil 4.1b’de gözlenen tekstür de zaman içinde değişmeye uğramıştır ve 18 saat sonra Şekil 4.1c’de gösterilen tekstür gözlenmiştir. Bu tekstürde optiksel etkin olan fonda boyutları büyük (çapları $\approx 15 \div 20 \mu m$) olan yağlı şeritler gözlenmiştir. AEP sıvı kristalde kendi kendiliğine zaman içinde tekstür dönüşümleri, sandwich hücrenin referans yüzeyi ile sıvı kristal moleküllerinin etkileşmesine bağlıdır.



a



b

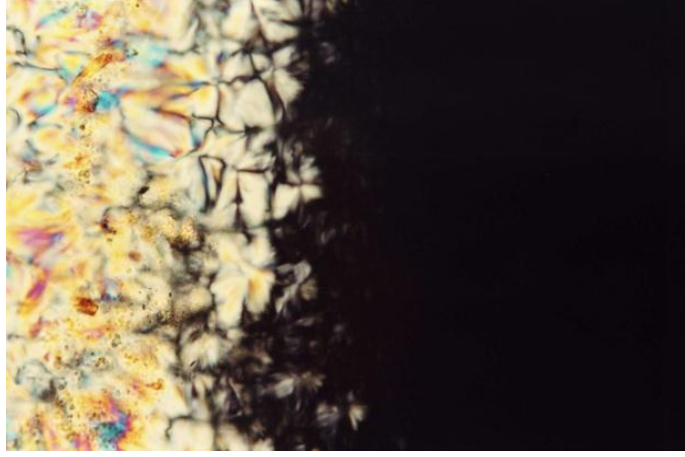


c

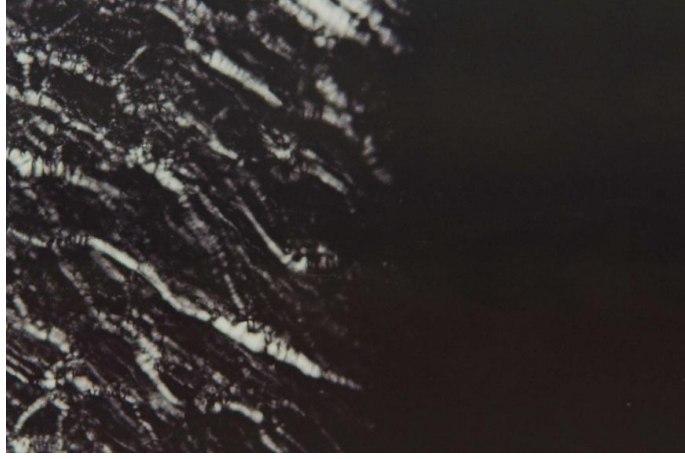
Şekil 4.1. AEP sıvı kristalde tekstür dönüşümleri. Çapraz polarizörler. Büyütme x200. Sıcaklık 297 K

AEP sıvı kristal ısıtıldığı zaman belirgin sıcaklıkta (Çizelge 4.1) Ch – I faz geçişi gözlenmiştir. Şekil 4.2a’da AEP sıvı kristalin söz konusu faz geçişindeki heterofaz alanı gösterilmiştir. Şekil 4.2a’dan görüldüğü gibi, sıvı kristalik hal ile izotropik sıvı hal arasındaki sınır bölgesi kesin değildir. Yani, heterofaz alanında belirgin sıcaklıkta hem kristalik mezofaz hem de izotropik sıvı yer almıştır. Şekil 4.3’te gözlenen heterofaz alanının şematik görünüşü gösterilmiştir. Heterofaz alanı iki adet limit sıcaklıkla karakterize edilmektedir. Landau – de Gennes teorisi uyarınca bu sıcaklıklar T_{ChI}^* ve T_{ChI}^{**} ’dır. T_{ChI}^* sıcaklığında düşük sıcaklıklı faz (kolesterik sıvı kristalik mezofaz) kararlıdır, fakat yüksek sıcaklıklı faz (izotropik sıvı fazı) kararsızdır. T_{ChI}^{**} sıcaklığında düşük sıcaklıklı faz (kolesterik sıvı kristalik mezofaz) kararsızdır, fakat yüksek sıcaklıklı faz (izotropik sıvı fazı) kararlıdır. Sıvı kristallerde $T_{ChI}^{**} - T_{ChI}^*$ sıcaklık aralığının var olması, 1.dereceli faz geçişin göstergesidir. Ters olan I – Ch faz geçişinde de heterofaz alanı gözlenmiştir (Şekil 4.2b).

İncelemeler göstermiştir ki, AEP sıvı kristalde termik histerezis gözlenmiştir. Yani, düz Ch – I faz geçişinin sıcaklığı ve ters I – Ch faz geçişinin sıcaklığı farklıdır (Çizelge 4.1). Öyle ki, ısıtma sırasında izotropik sıvı ile kolesterik mezofazı arasındaki faz geçişi düşük sıcaklıklara kaymıştır. Deneysel olarak gözlediğimiz bu durum, Landau – de Gennes faz geçiş teorisinde ön görülmüştür ve 1. dereceli faz geçişler için tipiktir. Bu tür histerezis çeşitli araştırmacılar tarafından farklı sıvı kristallerde 1. dereceli *sıvı kristalik mezofaz* $\leftrightarrow$ *izotropik sıvı* geçişler için gözlenmiştir (Anisimov, 1988; Anisimov, 1991; Singh, 2000; Mukherjee, 2005; Mukherjee vd., 2005; Nesrullajev, 2010; Nesrullajev vd., 2011).

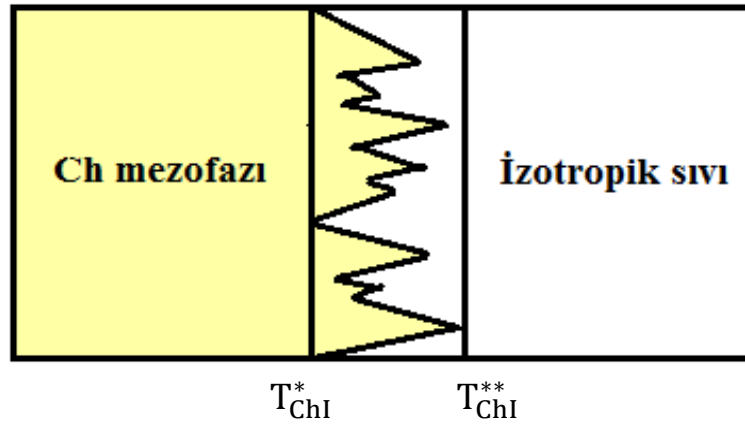


a



b

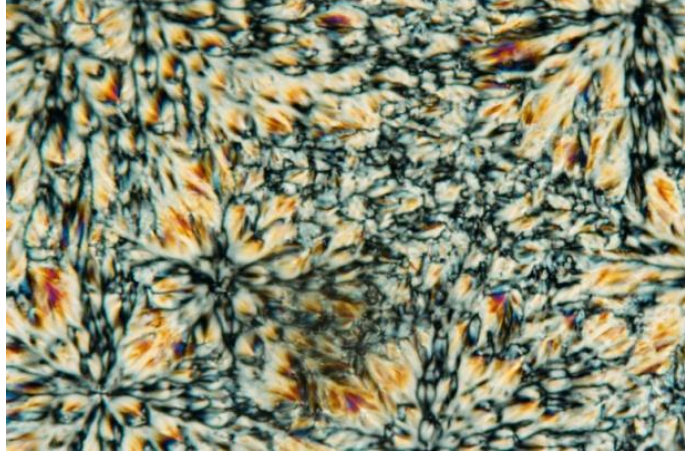
Şekil 4.2. Kolesterik mezofazı ile isotropik sıvı arasındaki faz geçişi. Ch – I (a) ve I – Ch (b) faz geçişlerin heterofaz alanları. Çapraz polarizörler. Büyütme x200



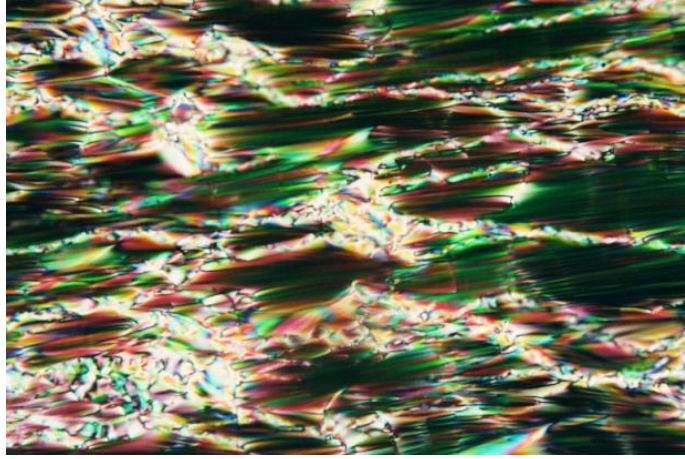
Şekil 4.3. Kolesterik mezofazı ile isotropik sıvı arasındaki heterofaz alanın şematik görünüşü

COC sıvı kristali için yapılan incelemeler göstermiştir ki, COC sıvı kristaldeki tekstürler, AEP sıvı kristalin tekstürleri gibi, sıcaklığa ve deformasyonlara çok duyarlıdır. Bu özellik, kolesterik sıvı kristallerin katmanlı yapısından ve kiral yapıya sahip olmasından kaynaklanmıştır. Ayrıca, COC sıvı kristalin tekstürleri, AEP sıvı kristalin tekstürleri gibi zaman içinde dönüşüm göstermiştir.

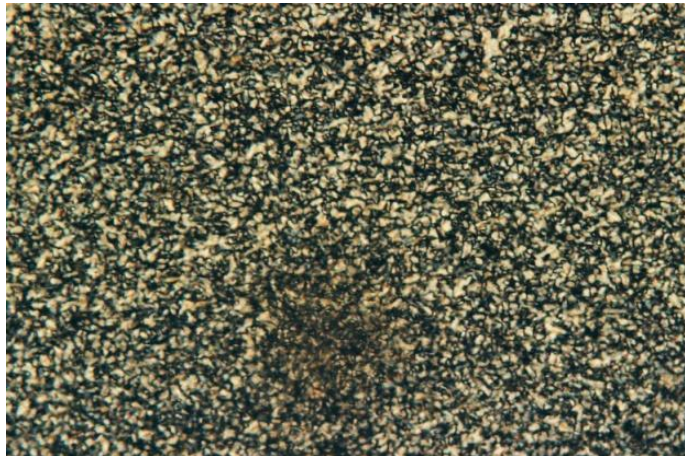
Şekil 4.4a'da sandwich hücre hemen doldurulduktan sonra gözlenen tekstür gösterilmiştir. Bu tekstürde şemsiye biçiminde düzenlenmiş yelpaze oluşumlar yer almıştır. Bu tür tekstür sıvı kristaller için tipiktir ve temel kaynaklarda gösterilmiştir (Demus vd., 1980 ; Dierking, 2003). Bu tekstür zaman içinde dönüşümlere uğrayarak, 8 saat sonra Şekil 4.4b'de gösterilen tekstüre dönüşmüştür. Bu tekstürde, Şekil 4.4a'da gözlenen şemsiye biçimindeki oluşumların bozulması ile meydana gelen uzamsı yelpaze ve konfokal oluşumlar gözlenmiştir. Tekstürde gözlenen farklı renkli oluşumlar, yön vektörü farklı şekilde yönelmiş olan monokristalite oluşumlardır. Bu tekstür de zaman içinde değişerek, 18 saat sonra Şekil 4.4c'de gösterilen tekstüre dönüşmüştür. Bu tekstür, schlieren tür tekstürdür. Bu tür tekstürler nematik sıvı kristallerde de gözlenmektedir. Fakat nematik sıvı kristallerde schlieren oluşumlar pseudo-izotropik fon üzerinde oluşturulur, ancak kolesterik sıvı kristallerde söz konusu oluşumlar optiksel etkin fon üzerinde oluşmuştur.



a



b



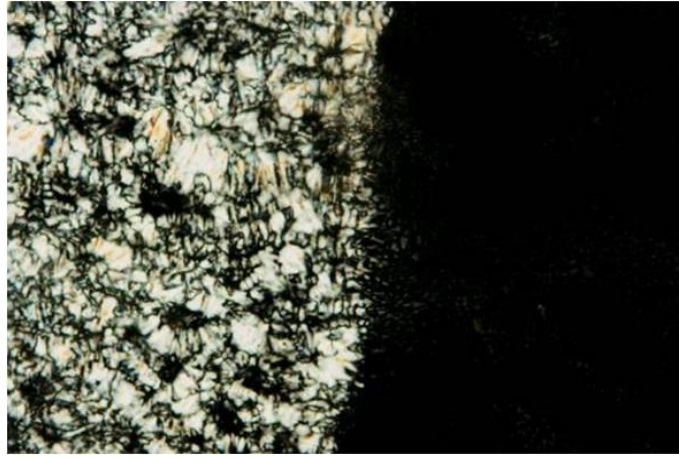
c

Şekil 4.4. COC sıvı kristalde tekstür dönüşümleri. Çapraz polarizörler. Büyütme x200. Sıcaklık 297 K

COC sıvı kristal ısıtıldığı zaman belirgin sıcaklıkta Ch – I faz geçişi gözlenmiştir (Çizelge 4.1). Şekil 4.5a’da COC sıvı kristalin söz konusu faz geçişindeki heterofaz alanı gösterilmiştir. Şekil 4.5a’dan aynen Şekil 4.2a’dan da görüldüğü gibi, sıvı kristalik hal ile izotropik sıvı hal arasındaki sınır bölgesi kesin değildir. Yani, COC sıvı kristalde de heterofaz alanında belirgin sıcaklıkta hem kristalik mezofaz hem de izotropik sıvı yer almıştır. Bu tür geçişlerin heterofaz alanının şematik görünüşü Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Heterofaz alanı iki adet limit sıcaklıklarla karakterize edilmektedir. Landau – de Gennes teorisi uyarınca bu sıcaklıklar T_{ChI}^* ve T_{ChI}^{**} ’dır. T_{ChI}^* sıcaklığında düşük sıcaklıklı faz (kolesterik sıvı kristalik mezofaz) kararlıdır, fakat yüksek sıcaklıklı faz (izotropik sıvı fazı) kararsızdır. T_{ChI}^{**} sıcaklığında ise düşük sıcaklıklı faz (kolesterik sıvı kristalik mezofaz) kararsızdır, fakat yüksek sıcaklıklı faz (izotropik sıvı fazı) kararlıdır. Sıvı kristallerde $\Delta T = T_{ChI}^{**} - T_{ChI}^*$ sıcaklık aralığının varolması, 1.dereceli faz geçişin göstergesidir. Ters olan I – Ch – I faz geçişinde de heterofaz alanı gözlenmiştir (Şekil 4.5b). Yukarıda bahsedildiği gibi, deneysel olarak gözlediğimiz bu durum, Landau – de Gennes faz geçiş teorisinde ön görülmüştür ve 1. dereceli faz geçişler için tipiktir.



a



b

Şekil 4.5. Kolesterik mezofazı ile isotropik sıvı arasındaki faz geçişi. Ch – I (a) ve I – Ch (b) faz geçişlerin heterofaz alanları. Çapraz polarizörler. Büyütme x200

4.2. Kırılma İndisi ve Çift Kırılmanın İncelenmesi, Sonuç ve Tartışmalar

Kolesterik sıvı kristallerin optik özellikleri (CHLC) optiksel aktiflik derecesi β , kırılma indisi, olağan kırılma indisi n_o , olağanüstü kırılma indisi n_e ve çift kırılma Δn içermektedir. β , optik olarak hem izotropik sıvı ve hem de sıvı kristal (CHLC ve kiral smektik C^* mezofaz) için gerçekleşmektedir. Optiksel olarak aktif bir izotropik sıvıda dönme açısı $\sim 10^{-3}$ derece $\cdot \mu m^{-1}$ gibi olup, ancak bu CHLC açısı $\sim 10 \div 10^2$ derece $\cdot \mu m^{-1}$ olduğu gibidir.

CHLC'in optiksel aktivitesinin yeterince yüksek değeri, kolesterik moleküllerin özellikleri içinde değildir, çünkü bu özellik kolesterik mezofazın izotropik olduğu durumunda gerçekleşmemektedir.

CHLC'in optiksel aktifliği, kiral yapısı ile fiziksel anizotropik ortamda yayılan ışık dalgalarının özelliklerini yansıtmaktadır. n_o , n_e ve Δn fiziksel anizotropik ortamın optiksel özellikleridir ve Δn , n_o ve n_e ile şu şekilde bağlıdır:

$$\Delta n = n_e - n_o \quad (4.1)$$

Ortam $n_e > n_o$ olduğunda optiksel pozitif, $n_e < n_o$ olduğu durumda ise optiksel olarak negatiftir. Optiksel tek eksenli CHLC, $n_e < n_o$ ile karakterize edilir ve negatif optiksel çift kırılmaya sahiptir. Optiksel olarak izotropik olan ortam için $n_e = n_o$ ve $\Delta n = 0$ 'dır. n hem izotropik hem de anizotropik ortam için geçerli olan bir parametredir.

Optiksel izotropik ortamda $n = n_e = n_o$ geçerlidir ve CHLC'de n , n_o ve n_e 'ye şu şekilde bağlıdır (Chandrasekhar vd., 1969; Vuks, 1966);

$$n^2 = \frac{n_e^2 + 2n_o^2}{3} \quad (4.2)$$

Ayrıca, n_o ve n_e CHLC için $\bar{n}$ ve Δn 'in bir fonksiyonu olarak elde edilebilir (Soorya vd., 2006; Zakerhamidi vd., 2010);

$$n_e = n - \frac{1}{2} \Delta n \quad (4.3)$$

$$n_o = n + \frac{2}{3} \Delta n \quad (4.4)$$

Δn sıvı kristallerin düzen parametresinin belirlenmesi için önemli bir parametredir. Δn 'in sıcaklık ile bağlılık karakteri, makroskopik düzen parametresi S 'nin sıcaklık dönüşüm karakterine karşılık gelir (Adomenas vd., 1979; Toledano vd., 1987; Zakerhamidi vd., 2010).

Buna ek olarak, yönelmiş olan nematik ve kolesterik mezofazların içinde Δn karakteri ve düzen parametresi $Q = S(T)$ 'nin sıcaklık ile bağılılığının karakteri, teorik olarak tahmin edilen ile iyi bir uyum içindedir (Adomenas vd., 1979; Anisimov 1988; Toledano vd., 1987; Zakerhamidi vd., 2010). Buna ek olarak, Δn 'in belirli bir yerel alan uygulanarak sıvı kristal malzemenin düzen parametresinin tespiti için kullanılabileceği bilinmektedir. (de Jeu, 1980).

Bir sıvı kristal malzeme uygulanan yerel alan göz önüne alınmadan Δn verilerinden düzen parametresi S 'nin belirlenmesi için prosedür sunulmuştur (Zywicki, 2001). S düzen parametresi Δn ile şu şekilde bağlıdır (Zywicki, 2001);

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta n_0} \quad (4.5)$$

Burada Δn_0 katı kristal halindeki sıvı kristal malzemenin çift kırılmasıdır ($T = 0$ 'da). Δn_0 'ın her bir sıvı kristal malzeme için sabit bir değer olması sebebiyle $S \sim \Delta n$ gerçekleşir. Böylece, Δn 'in sıcaklık ile bağımlılık karakteri, S parametresinin sıcaklık ile bağımlılığına karşılık gelir. S düzen parametresi şu şekilde de ifade edilebilir (Manohar vd., 2004; Ramakrishna vd., 2010);

$$S = \frac{\alpha_e - \alpha_o}{\alpha_{||} - \alpha_{\perp}} \quad (4.6)$$

Burada α_e ve α_o sıvı kristal mezofazdaki başlıca polarizebilitedir; $\alpha_{||}$ ve $\alpha_{\perp}$ temel moleküler polarizebiliteler ve $(\alpha_{||} - \alpha_{\perp})$ değeri moleküler anizotropidir. $(\alpha_{||} - \alpha_{\perp})$ değeri, ekstrapolasyon $(\alpha_e - \alpha_o)$, vs., $T = 0^\circ C$ sıcaklıkta $(T - T_c)$ bağımlılığı elde edilebilir (Hanson vd., 1976; Manohar vd., 2004). n_e ve n_o 'dan α_e ve α_o 'yu tespit etmek için, iç alanın doğasını, özellikle de anizotropisini bilmek gereklidir. Vuks, (1966) tarafından sunulan modelde, kristallerde yerel alanın her yöne aynı olduğu kabul edilmektedir yani, bu alan izotropiktir.

Eşitlik (4.7) ve Eşitlik (4.8) 'den yararlanılarak düzen parametresi S , Eşitlik (4.6) 'daki şekilde yazılır.

Optik eksenine paralel ve dik elektrik vektöre karşılık gelen olağanüstü (α_e) ve olağan (α_o) polarizebilitesi şu şekilde verilmiştir:

$$\alpha_e = \bar{\alpha} + 2(\alpha_{||} - \alpha_{\perp}) \frac{S}{3} \quad (4.7)$$

$$\alpha_o = \bar{\alpha} + (\alpha_{||} - \alpha_{\perp}) \frac{S}{3} \quad (4.8)$$

Düzen parametresinin S olduğu yerde LC molekülünün uzun moleküler eksenine dik ve paralel molekülün polarizebilitesi sırasıyla, $\alpha_{||}$ ve $\alpha_{\perp}$ 'tir.

$$\bar{\alpha} = \frac{(\alpha_e + 2\alpha_o)}{3} = \frac{(\alpha_{||} + 2\alpha_{\perp})}{3} \quad (4.9)$$

LC moleküllerinin moleküler polarizebilitesinin tahmini için, bir molekülün yerel alanının izotropik olduğu düşünüldüğünde Vuks modeli ve yerel alan anizotropik olarak kabul edildiğinde ise Neugebauer modeli dikkate alınır. Moleküler polarizebilitenin hesaplanması için bu iki model ile ilgili denklemler aşağıda verilmiştir.

Vuks metodu olarak adlandırılan birinci model, ilk olarak anizotropik kristalde bile iç alanın izotropik olduğu varsayılarak Chandrasekhar ve ark. tarafından (1969) LC moleküllerine uygulanmıştır. Vuks yaklaşımı olarak adlandırılan bu modelde bu varsayımlar aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Ramakrishna, 2010; Vuks, 1966).

$$\alpha_e = \frac{3}{4\pi N} \frac{n_e^2 - 1}{n^2 + 2} \quad (4.10)$$

$$\alpha_o = \frac{3}{4\pi N} \frac{n_o^2 - 1}{n^2 + 2} \quad (4.11)$$

Burada $N \text{ cm}^3$ başına düşen sıvı kristal moleküllerinin sayısıdır. Böylece n_e , n_o ve n değerleri kullanılarak $N\alpha_e$ ve $N\alpha_o$ belirlenebilir. $N = \frac{N_A \rho}{M}$ olmak üzere burada N_A Avogadro sayısı, ρ yoğunluk ve M molekül ağırlığıdır.

Neugebauer metodu olarak adlandırılan ikinci model ise yerel alanın anizotropik olması durumunda kullanılmaktadır (Manohar vd., 2004; Neugebauer vd., 1954). Bu durumda;

$$n_e^2 - 1 = \frac{4\pi N\alpha_e}{1 - N\alpha_e\gamma_e} \quad (4.12)$$

$$n_o^2 - 1 = \frac{4\pi N\alpha_o}{1 - N\alpha_o\gamma_o} \quad (4.13)$$

Burada γ_e ve γ_o iç alan faktörleridir. γ_e ve γ_o faktörleri arasında $\gamma_e + 2\gamma_o = 4\pi$ bağlantısı gerçekleşir. Sıvı kristallerde düzen parametresinin sıcaklığa bağlı olması nedeniyle γ_e ve γ_o faktörleri de sıcaklığa bağımlı olmalıdır.

Bu nedenle, Eşitlik (4.12) ve (4.13), şu şekilde yazılabilir (Manohar vd., 2004):

$$A = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{2}{\alpha_o} = \frac{4\pi N}{3} \left(\frac{n_e^2 + 2}{n_e^2 - 1} + 2 \frac{n_o^2 + 2}{n_o^2 - 1} \right) \quad (4.14)$$

Ayrıca, n , α_o ve α_e arasında aşağıdaki bağlantı gerçekleşir (Kumari vd., 2012; Ramakrishna vd., 2010)

$$B = \alpha_e + 2\alpha_o = \frac{9}{4\pi N} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) \quad (4.15)$$

Saupe (1961) ve Maier, Subramanyam ve ark. (1973) LC molekülü için bu yöntemi uygulamışlardır. Bu yöntemle göre, moleküler polarizabilite şu şekilde bulunur.

$$\alpha_e = (AB - 3 \pm \sqrt{(AB - 3)^2 - 4AB / 2A}) \quad (4.16)$$

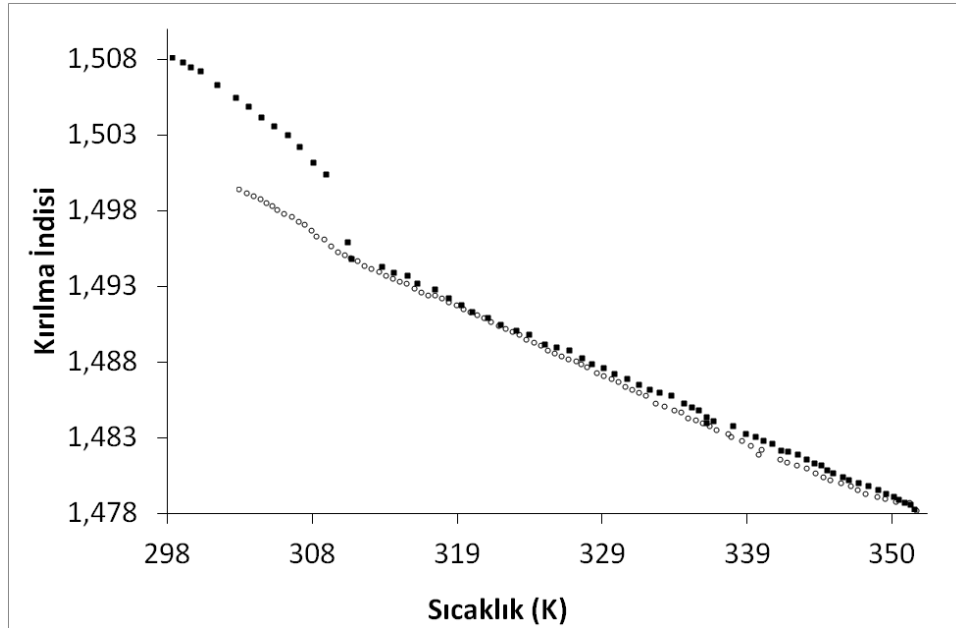
$$\alpha_o = (AB + 3 \pm \sqrt{(AB + 3)^2 - 4AB}) / 4A \quad (4.17)$$

Bu nedenle, n , n_e ve n_o değerlerinin bilinmesiyle α_e ve α_o değerleri ve polarize anizotropi ($\alpha_e - \alpha_o$) tespit edilebilir.

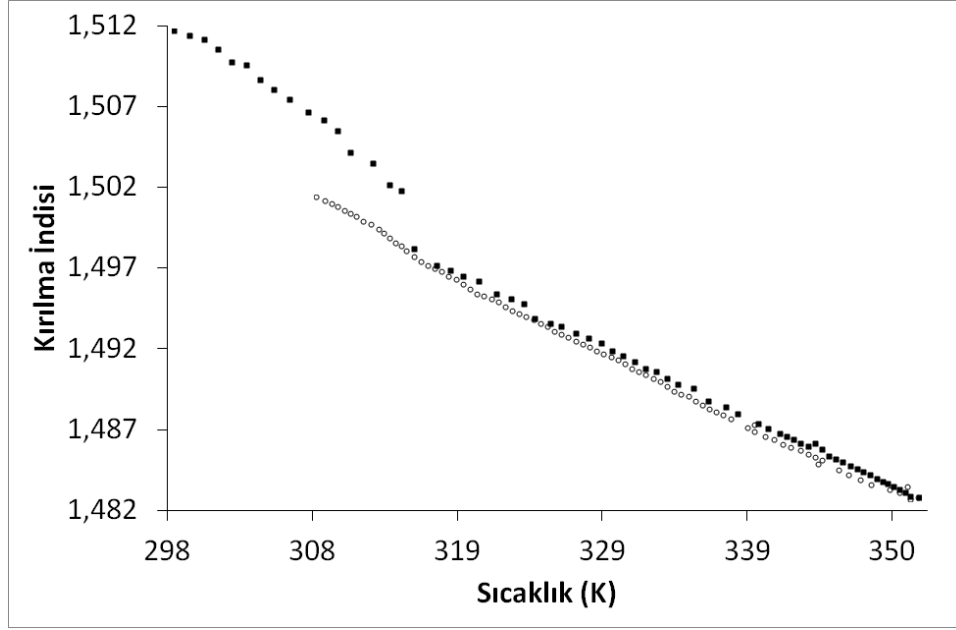
Ve son olarak, sıvı kristal malzemeler için S , α_e , α_o ve ($\alpha_e - \alpha_o$)'in sıcaklığa bağılılığı incelenir (Neugebauer, 1954; Zywicki, 2001).

Vuks modeli ve Neugebauer modelinden elde edilen veriler birbirine çok yakındır ve aralarındaki fark hata mertebesinde. Sıvı kristallerin optiksel incelemeleri yapılırken Vuks modelinin kullanılması daha uygundur. Bu çalışmada da Vuks modelinden yararlanılarak değerler elde edilmiş ve grafikleri çizilmiştir.

Bu çalışmada sıcaklığın bir fonksiyonu olan, n , n_e , n_o ve Δn 'in sıcaklık ile bağımlılıkları araştırılmıştır. Şekil 4.6'de COC ve Şekil 4.7'de AEP için n 'in sıcaklık ile değişimi sunulmuştur.



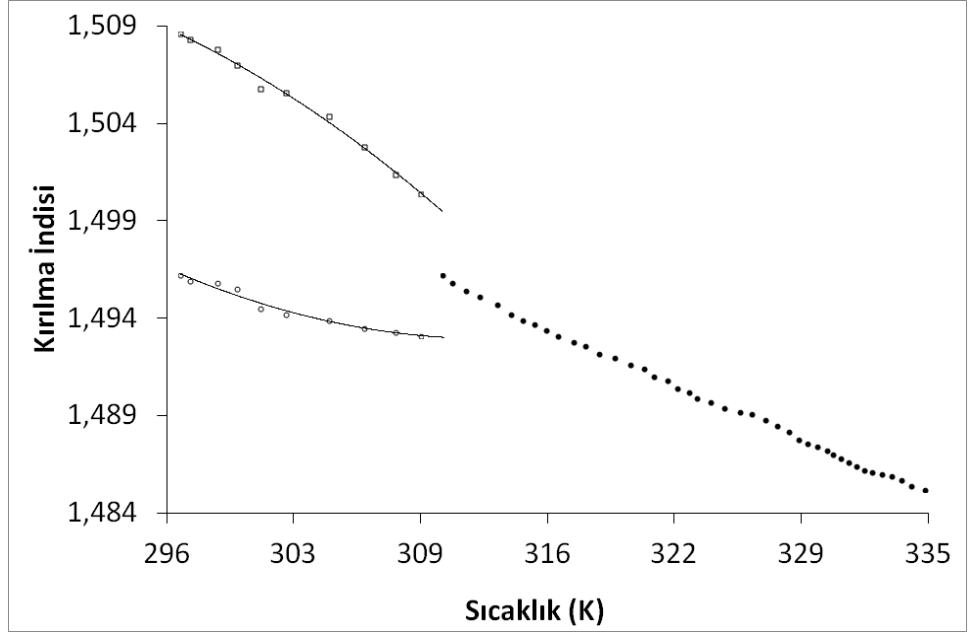
Şekil 4.6. COC için n 'in sıcaklık ile değişimi



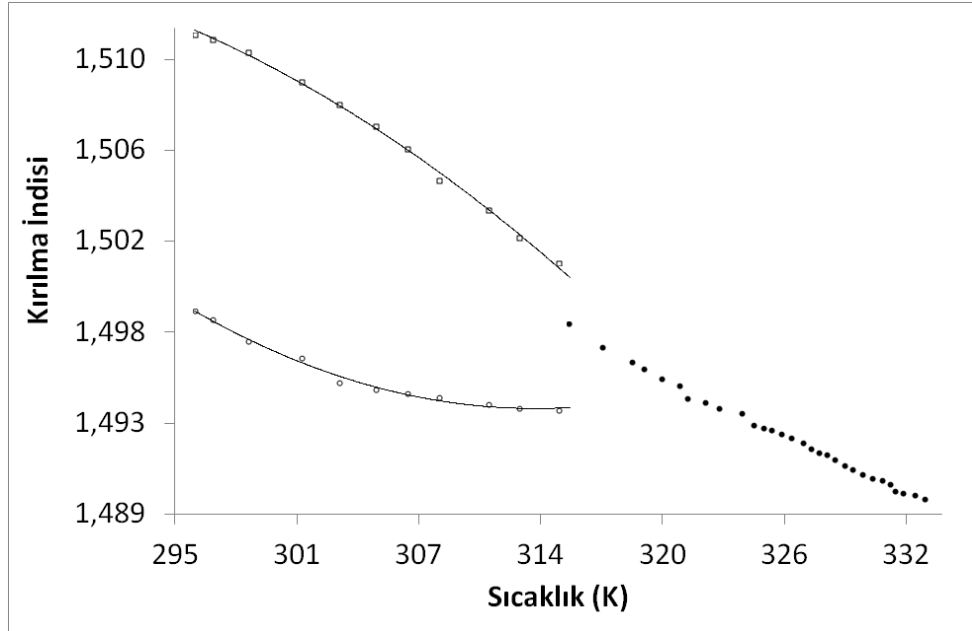
Şekil 4.7. AEP için n 'in sıcaklık ile değişimi

Bu şekilde görüldüğü gibi, CHLC için n 'in bu davranışı ilginçtir. Şöyle ki, COC ve AEP'de n 'in atlaması gözlenmiştir. Araştırmalar göstermiştir ki, COC ve AEP için n 'de meydana gelen atlama *kolesterik mezofaz - izotropik sıvı* faz geçiş bölgesinde (Ch-I) gerçekleşmiştir. Bu bölgede n 'in monoton azalma karakteri aniden değişmiştir. Bu ilginç bir sonuçtur, çünkü faz geçiş bölgesinde n 'in ani değişikliği oldukça nadir sıvı kristallerde görülmektedir. İncelenen sıvı kristallerde mutlak kırılma indisi değişiklikleri oldukça küçüktür, yani COC ve AEP için ~ 0.030 'dur.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da n_o ve n_e 'nin sıcaklık ile bağımlılıkları sunulmuştur. COC ve AEP durumu $n_o > n_e$ de gerçekleşmiştir. Anizotropik kırılma indislerinin bu özelliğinden dolayı, tek eksenli kristaller olan bu sıvı kristaller, negatif bir optiksel anizotropi özelliği göstermiştir (de Jeu, 1980).



Şekil 4.8. COC için n_e ve n_o 'nun sıcaklık ile değişimi

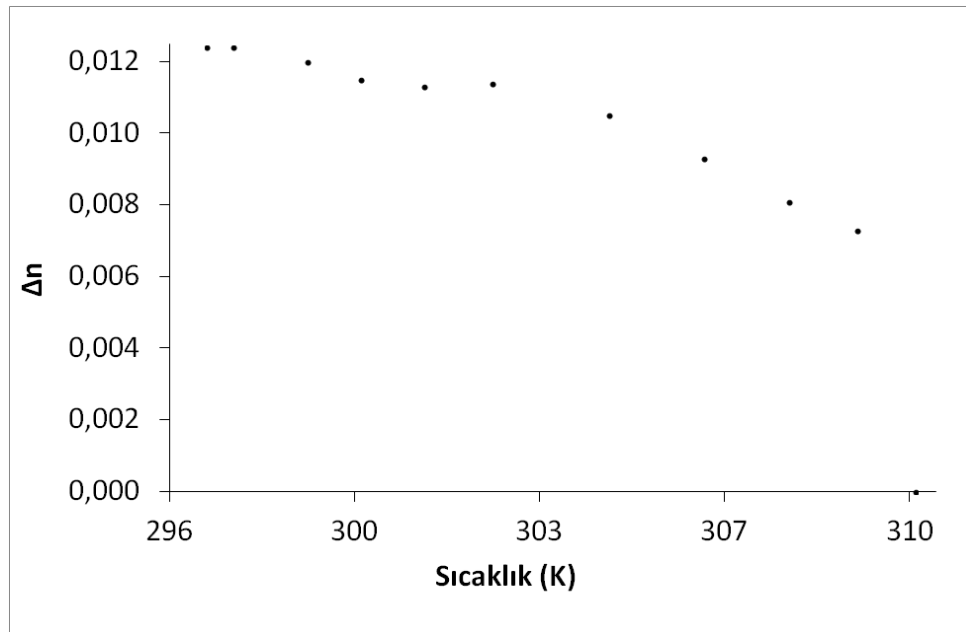


Şekil 4.9. AEP için n_e ve n_o 'nun sıcaklık ile değişimi

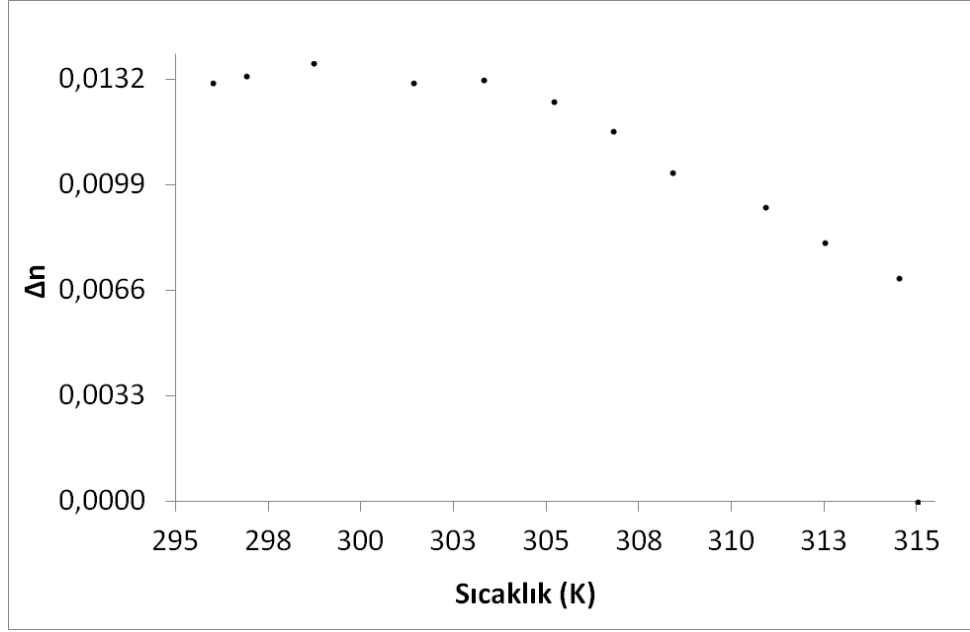
Bu şekillerde görüldüğü gibi, COC ve AEP için sıcaklık ile n_e artışı ve n_o azalması vs. görülmüştür; bunun yanı sıra sıcaklık arttıkça n_e 'nin hafifçe arttığı, n_o 'nun ise, hızla azaldığı görülmüştür.

n_o ve n_e 'nin bu tür değişiklikleri sıcaklık artışı ile kristal moleküllerinin yöneliminin azalmasıyla bağlantılı olan, COC ve AEP'nin optiksel anizotropisinin azalmasından kaynaklanmıştır. $n_e(T)$ ve $n_o(T)$ 'nin karakteri inceleme altındaki sıvı kristaller için kolesterik mezofaz bölgesinde $\frac{dn_o}{dT} < 0$ ve $\frac{dn_e}{dT} > 0$ olduğunu göstermiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da, optiksel anizotropinin kaybolması ve sadece kırılma indisi n 'in görülmesi Ch-I faz geçiş bölgesinde gerçekleşmiştir. n_e , n_o ve n 'in bu tür bir davranışı çeşitli CHLC için aynı zamanda (Manohar vd., 2006; Roberts vd., 2004) 'de gözlenmiştir. Ayrıca belirtmek gerekir ki, n_o , n_e ve n 'e benzer bir davranış, nematik sıvı kristaller için de gözlenmektedir (Bhowmick vd., 2003; Kumar, 2013; Kumari vd., 2012; Ramakrishna vd., 2010; Sastry vd., 2011; Subramhanyam vd., 1974; Zakerhamidi vd., 2010;). Bu durum kolesterik ve nematik mezofaz arasındaki bağlantıyı göstermektedir.

COC ve AEP için Δn 'in sıcaklık ile bağımlılıkları Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi, Δn değerleri kolesterik mezofaz bölgesinde sıcaklık ~ 0.013 'den ~ 0.008 'e kadar kademeli olarak azalmıştır. POM kullanılarak yapılan çalışmalar göstermiştir ki; kolesterik mezofaz aralığında yer alan Δn 'in bazı dalgalanmaları, bu aralıktaki tekstür dönüşümleri ile bağlantılıdır.



Şekil 4.10. COC için Δn 'in sıcaklık ile değişimi



Şekil 4.11. AEP için Δn 'in sıcaklık ile değişimi

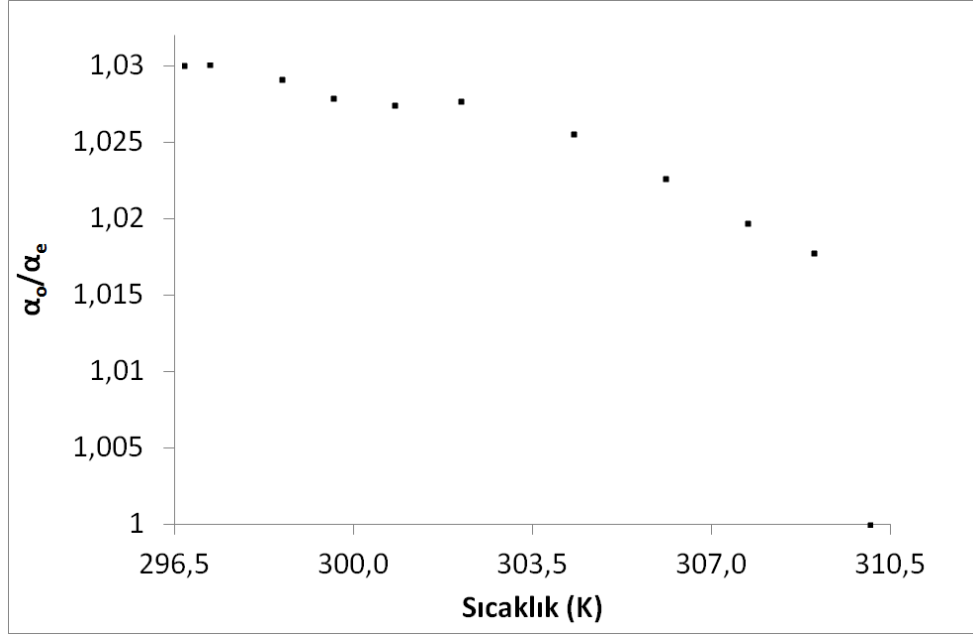
Tahminler göstermiştir ki, n_e , n_o , n ve Δn arasındaki bağlantı Eşitlik (4.2), Eşitlik (4.3) ve Eşitlik (4.4) ile tam bir uyum içindedir. Eşitlik (4.5)'te görüldüğü gibi, $\Delta n \sim S$, Δn 'in sıcaklığa bağımlılığının karakteri, S parametresinin sıcaklığa bağımlılıklarına karşılık gelmiştir.

Bu nedenle açıktır ki, Δn sıcaklığın artmasıyla azalmıştır yani, incelemeler altındaki optiksel anizotropik kolesterik sıvı kristallerin çift kırılmasının azalması, kolesterik moleküllerin yöneliminin azalmasına, diğer bir deyişle, düzen parametresi S 'nin azalmasına karşılık gelmiştir. Δn 'in ve dolayısıyla S 'nin benzer davranışı, birinci dereceden *sıvı kristal mezofaz - izotropik sıvı* faz geçişleri için monotropik smectogenes ve nematogenes gözlenmiştir (Chahine vd., 2010; Kumar, 2013; Prasad vd., 2009; Skarabot vd., 1998).

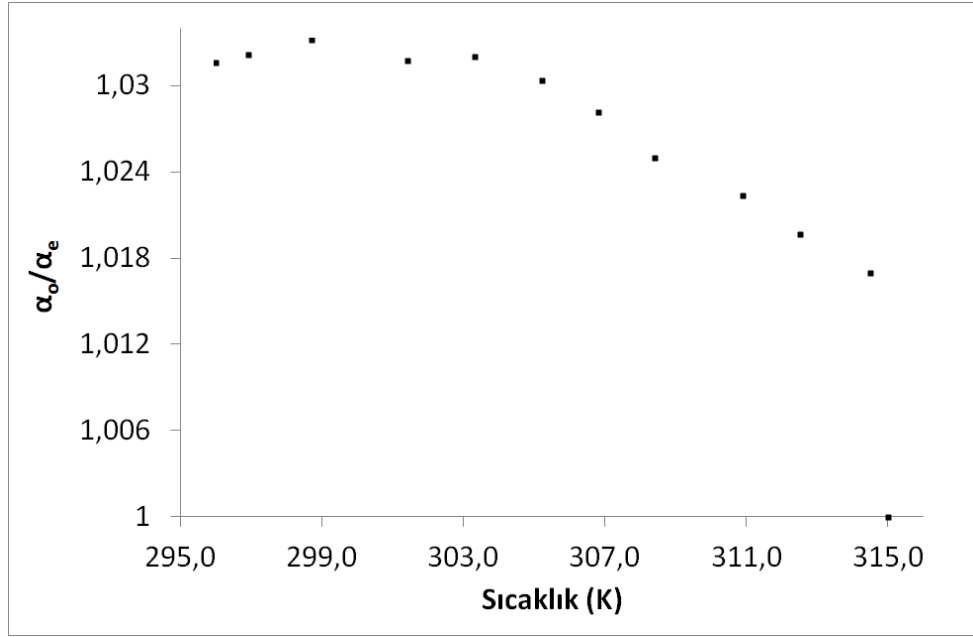
Vuks yaklaşımı ile uygun olarak ve Eşitlik (4.7) ve Eşitlik (4.8) kullanılarak $N\alpha_e$ ve

$N\alpha_o$ ve buradan da $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranı belirlenmiştir. COC ve AEP için $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ 'nin sıcaklık ile

değişimi, Şekil 4.12'de gösterilmiştir. İki temel polarizebilite oranı değeri genellikle sıcaklık artışı ile azalmaktadır.



Şekil 4.12. COC için $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranının sıcaklık ile değişimi

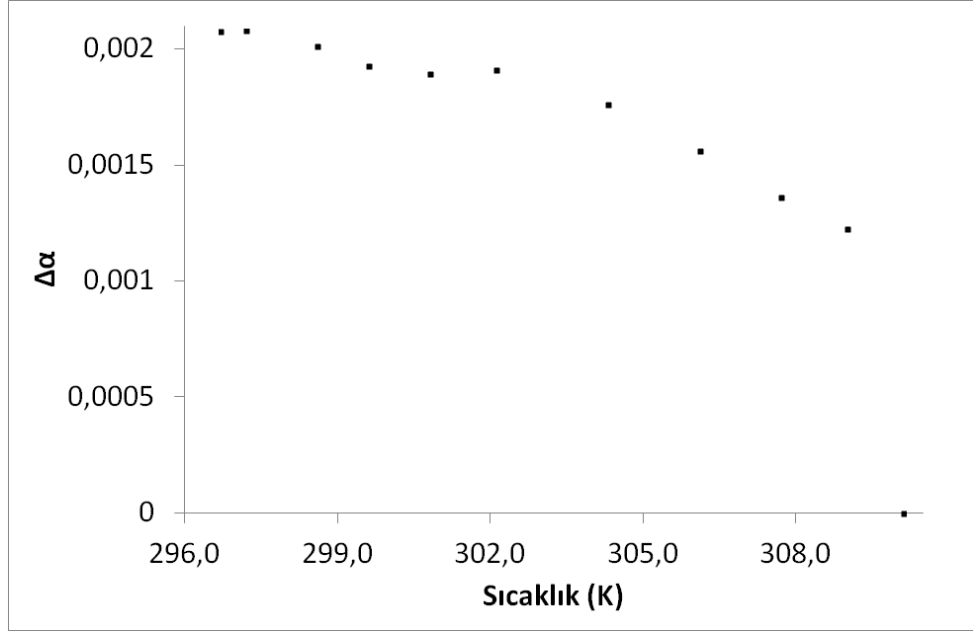


Şekil 4.13. AEP için $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranının sıcaklık ile değişimi

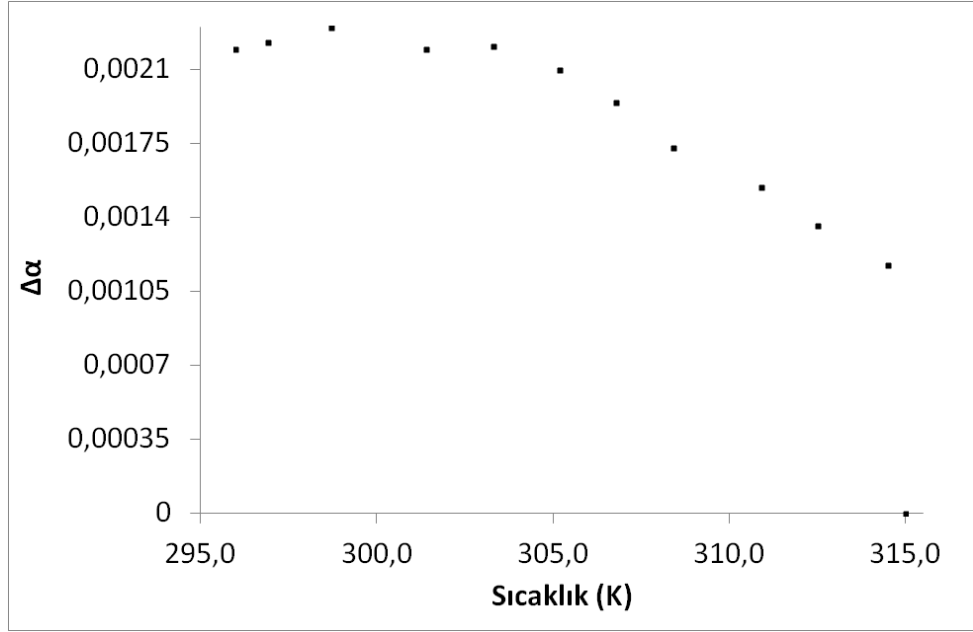
$\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ 'nin sıcaklıkla değişimi Δn ile aynı performansı göstermiştir. $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranının davranışı, Δn 'in davranışına benzer bir yol ile açıklanabilir. Çok açıktır ki, sıcaklık Ch - I faz geçiş sıcaklığı olduğunda, çift kırılma yok olmuştur yani, n_e ve n_o kırılma indisleri artık aynıdır. Bu nedenle, kolesterik sıvı kristaller için, $n_o > n_e$ eşitsizliği sebebiyle ve Eşitlik (4.10) ve (4.11)'e uygun olarak;

$$\frac{\alpha_o}{\alpha_e} = \frac{n_o^2 - 1}{n_e^2 - 1} \quad (4.18)$$

eşitliği yazılabilir. $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranı sıcaklık arttıkça azalmıştır ve $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ 'nin faz geçiş sıcaklığına yakın değeri bire gitmiştir. Bunun yanı sıra, bu oranın bu tür değişiklikleri yön vektörü ile ilgili olarak moleküllerin uzun ekseninin yönü ile ilgili olan düzen parametresinin değişiklikleri ile bağımlıdır. $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranının azalması sıvı kristal moleküllerinin alkil gruplarının sonunun bükülmesi ile bağlantılı olabilir (Manohar vd., 2004). Bu bükülme sıcaklığın azalması ile azalmakta ve dolayısıyla $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranı azalmaktadır.



Şekil 4.14. COC için $\Delta\alpha$ 'nın sıcaklık ile değişimi



Şekil 4.15. AEP için $\Delta\alpha$ 'nın sıcaklık ile değişimi

$\Delta\alpha$ 'nın sıcaklık ile değişimi Δn ve $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranının sıcaklık ile değişimine benzer bir

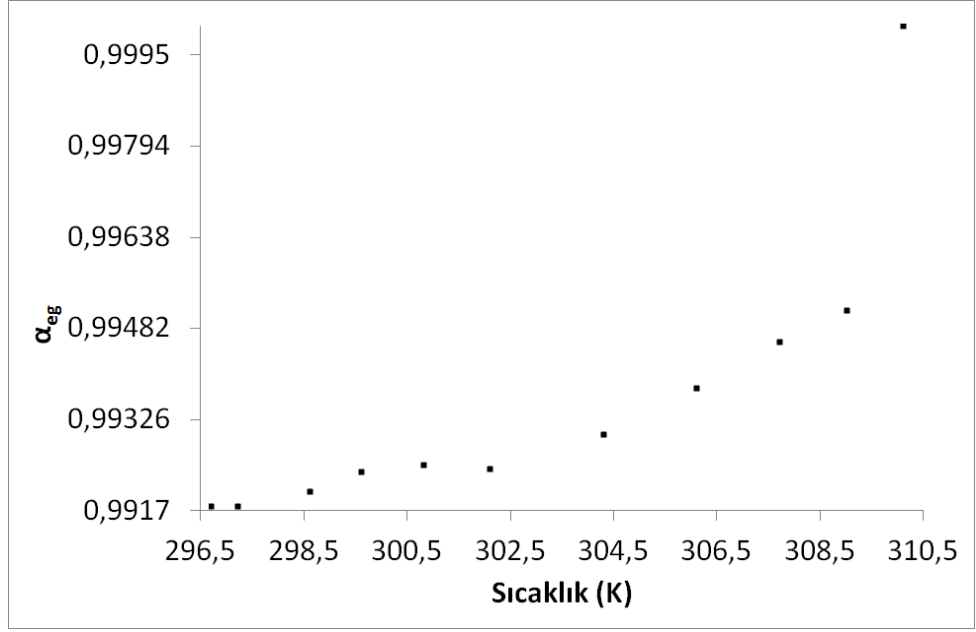
değişim göstermiştir. Çok açıktır ki, sıcaklık $Ch - I$ faz geçiş sıcaklığı olduğunda, $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranı 1'e eşit olduğundan, $\Delta\alpha = N\alpha_o - N\alpha_e = 0$ olmuştur. Bu nedenle,

kolesterik sıvı kristaller için, faz geçiş sıcaklığında $\Delta\alpha$, 0'a eşittir. COC ve AEP için $\Delta\alpha$ 'nın sıcaklık ile değişimleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi, $\Delta\alpha$ değerleri kolesterik mezofaz bölgesinde sıcaklık ~ 0.002 den ~ 0.0012 'ye kadar kademeli olarak azalmıştır. POM kullanılarak yapılan çalışmalar göstermiştir ki, kolesterik mezofaz aralığında yer alan $\Delta\alpha$ 'nın bazı dalgalanmaları, bu aralıktaki tekstür dönüşümleri ile bağlantılıdır.

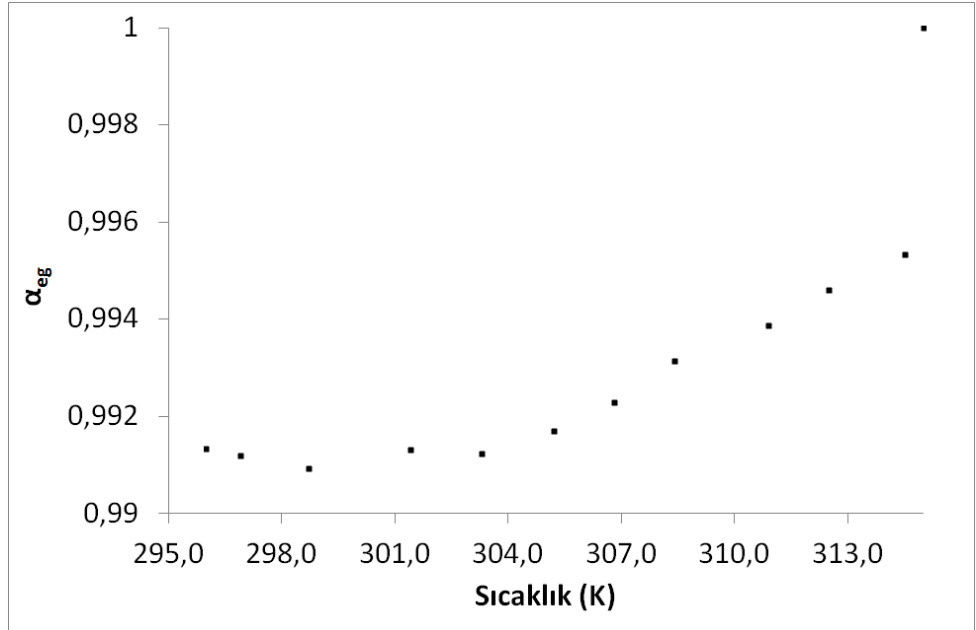
En önemli parametrelerinden biri, n_e ve n_o ile bağlantı olan, optiksel negatif kristallerde şu şekilde hesaplanan etkin geometri parametresi α_{eg} 'dir.

$$\alpha_{eg} = \frac{n_o}{n_e} \quad (4.19)$$

$n_e = \frac{c}{v_e}$ ve $n_o = \frac{c}{v_o}$ olması nedeniyle, optiksel negatif kristaller için $v_e < v_o$ gerçekleşir. Bu nedenle α_{eg} 'nin olağan ve olağanüstü kırışlar için dalga yüzeylerin yarıçapı ile bağlı olduğu açıktır. Bu noktadaki bakış ile, α_{eg} vs. 'nin sıcaklığa bağımlılıkları ve α_{eg} vs. 'nin Δn 'e bağımlılıkları yeterince ilginçtir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de COC ve AEP için α_{eg} 'nin sıcaklık ile değişimi gösterilmiştir. α_{eg} 'nin sıcaklığın artması ile arttığı ve çalışma sıcaklığı $Ch-I$ faz geçiş sıcaklığına ulaştığında bire ulaştığı görülmüştür.



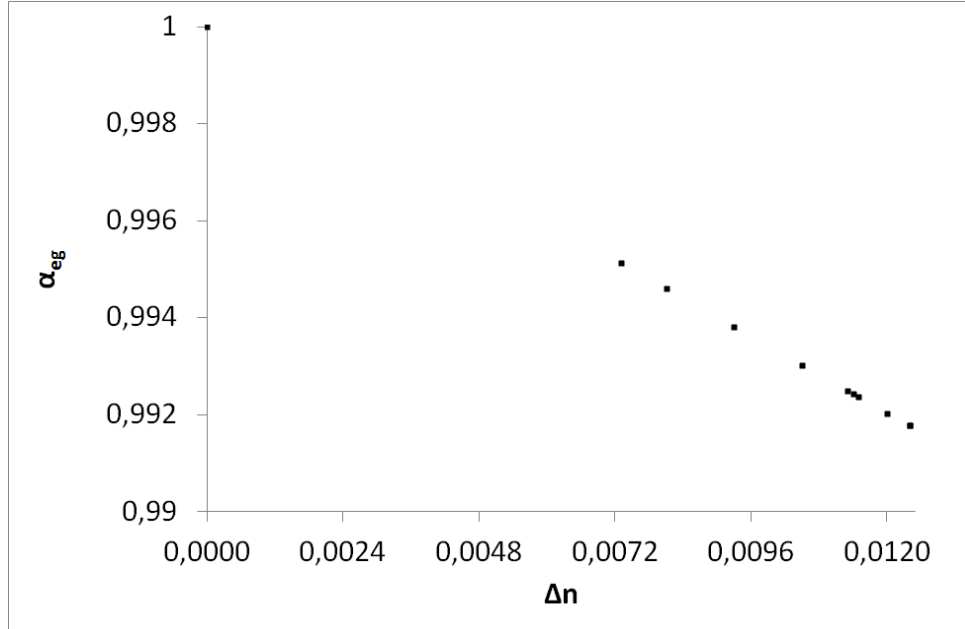
Şekil 4.16. COC için α_{eg} 'nin sıcaklık ile değişimi



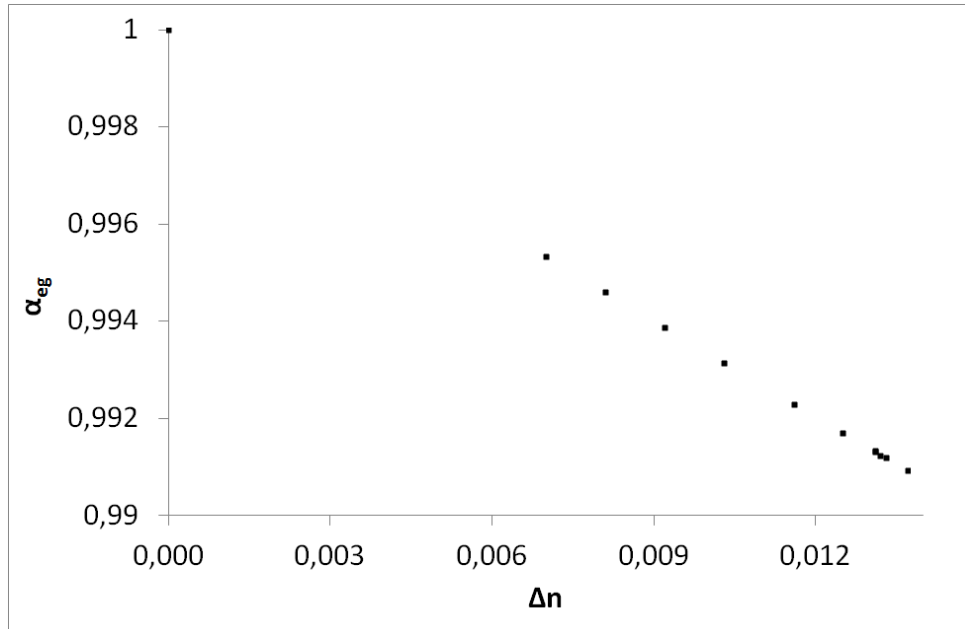
Şekil 4.17. AEP için α_{eg} 'nin sıcaklık ile değişimi

Nematik sıvı kristaller için α_{eg} 'nin sıcaklığa bağlılıkları da benzer şekilde değişmektedir (Kumar, 2013; Sastry vd., 2011; Satiro vd., 2006). Dikkat edilmelidir ki, optiksel pozitif sıvı kristaller olan nematik sıvı kristaller için α_{eg} , $\alpha_{eg} = \frac{n_o}{n_e}$

olarak belirlenir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de görüldüğü gibi, α_{eg} , Δn 'in artması ile ve buna bağlı olarak, sıvı kristaldeki düzenin ve düzen parametresinin artışı ile doğrusal olarak azalır.



Şekil 4.18. COC için α_{eg} 'nin Δn ile değişimi



Şekil 4.19. AEP için α_{eg} 'nin Δn ile değişimi

α_{eg} 'nin bire ulaştığı durumda, artık sıvı kristal bir düzene sahip değildir. Bu durum, izotropik sıvı durumuna karşılık gelmiştir. Bu durumda Δn sıfıra eşittir. COC ve AEP için α_{eg} 'nin değerleri 0,9955 ve 0,9910 bölgesinde değişmiştir.

4.3. Optiksel Geçirgenliğin İncelenmesi, Sonuç ve Tartışmalar

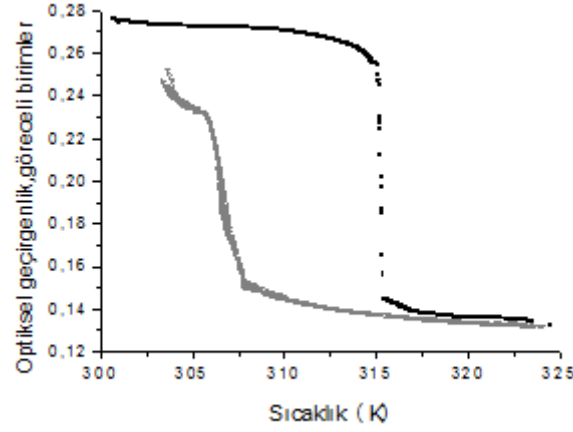
Moleküllerin düzen parametresi sıcaklıkla ters orantılı olduğundan sıvı kristal moleküllerin yönelimleri ve konumları sıcaklığın etkisi ile değişim göstermektedir. Bu yüzden, sıcaklığın değişmesi ile sıvı kristallerde tekstür dönüşümleri gözlenmektedir. Bu tür tekstür dönüşümleri sıvı kristallerin termo-optiksel özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla tekstür dönüşümlerine bağlı sıvı kristallerin optiksel geçirgenliğinin davranışı ve bu davranışın termo-morfolojik özellikler ile olan bağımlılığı dikkat çekicidir.

Bu çalışmada COC ve AEP sıvı kristaller için optiksel geçirgenliğin sıcaklığa göre davranışı incelenmiştir.

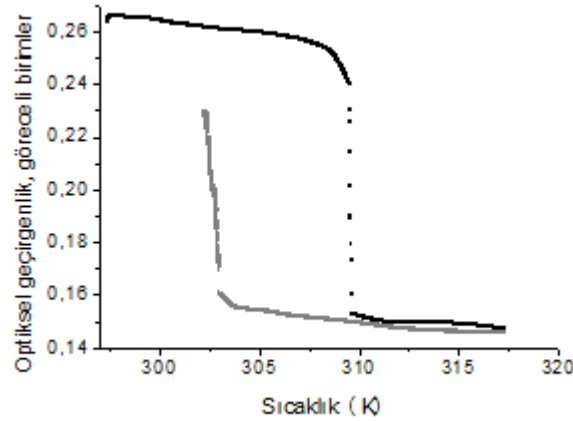
Sıvı kristal ile doldurulmuş sandviç hücreler çapraz konumdaki analizör ve polarizör arasında 45°'lik bir açıyla yerleştirilmiştir. Optiksel değişimler ile tekstür dönüşümleri arasındaki davranışların benzer özellik sergilendiği gözlemlenmiştir. Öyle ki, sıcaklığın artırılması ile optiksel geçirgenlikte belirli sıcaklık aralığında çok küçük dalgalanmalar meydana gelmiştir. Bu sıcaklık aralıkları, COC ve AEP'nin kolesterik mezofazına karşılık gelmektedir. Daha sonra, numunelerin ısıtılmasına devam edildiğinde dar bir sıcaklık aralığı içinde COC ve AEP'nin optiksel geçirgenliğinde beklenmedik ani değişimler ve dalgalanmalar gözlenmiştir. Bu sıcaklık aralıkları COC için 0,3 K ve AEP için ise 0,5 K olarak bulunmuştur (Şekil 4.20). Yani, optiksel geçirgenliğin minimum değerlerine kadar düşmesi sırasında gözlenen değişiklikler *kolesterik - izotropik faz geçişin* olduğu bölgede meydana gelmiştir. Optiksel geçirgenliğin minimum değerleri ise COC ve AEP'nin izotropik sıvı durumuna karşılık gelmektedir. Sıcaklığın artırılmasına devam edildiğinde ise malzemenin izotropik sıvı halinde bulunmasından dolayı optiksel geçirgenlikte çok küçük dalgalanmalar gerçekleşmiştir.

Minimum değerkli izotropik sıvı soğutulmaya bırakıldığında belirli bir sıcaklık aralığında optiksel geçirgenlikte ani bir şekilde artma gözlenmiştir. Bu sıcaklık aralığı *izotropik sıvı - kolesterik faz* bölgesine karşılık gelmektedir. Bu sıcaklık aralıkları COC için 1.4 K iken AEP için 3,0 K olarak bulunmuştur (Şekil 4.20).

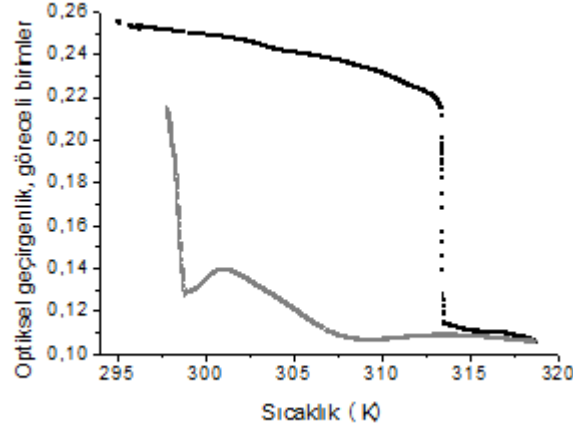
Daha sonra soğutma işlemine devam edildiğinde optiksel geçirgenlik minimum değerdan maksimum değere kadar değişim göstermiş ve daha sonra bu değerde sabit kalmıştır. Sabit değerkli sıcaklık bölgesi kolesterik sıvı kristal fazına karşılık gelmektedir.



Şekil 4.20. AEP için optiksel geçirgenliğin sıcaklık ile değişimi



Şekil 4.21. COC için optiksel geçirgenliğin sıcaklık ile değişimi



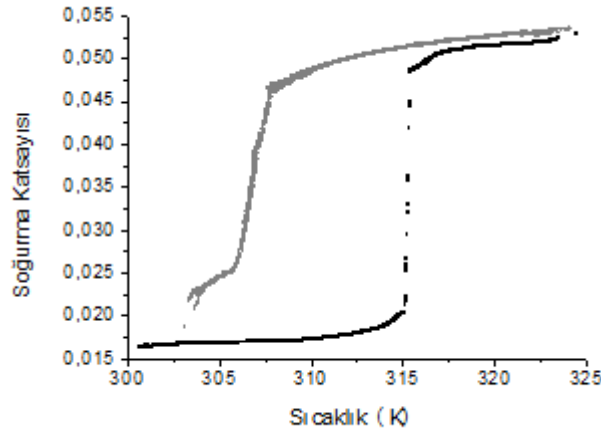
Şekil 4.22. AEP'nin homeotropik yönelimi için optiksel geçirgenliğin sıcaklık ile değişimi

Ayrıca AEP sıvı kristalin homeotropik yönelimli örneği için de optiksel geçirgenliği incelenmiştir. Burada da yönelmemiş örnekte olduğu gibi ısıtma işlemi başladığında optiksel geçirgenlikte küçük değişimler gözlenmiştir. Bu bölge kolesterik mezofaza karşılık gelmektedir. Isıtma işlemi devam ettiğinde, ani bir değişim olup optiksel geçirgenlik değeri minimum değere ulaşmıştır. Bu sıcaklık aralığı 0,4 K olarak belirlenmiştir ve ani sıçramanın olduğu bu bölge *kolesterik sıvı kristal – izotropik sıvı* faz geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. Isıtma işlemine devam edildiğinde, minimuma ulaşan optiksel geçirgenlik yaklaşık olarak sabitlenmiştir. Bu bölge malzemenin izotropik sıvı kristal fazında olduğu bölgedir. Isıtma işlemi burada sonlandırılıp soğuma sürecine geçilmiştir. Soğuma sürecinde yönelmemiş örnekten farklı olarak burada dalgalanmalar gözlenmiştir. Bu dalgalanmanın meydana gelmesinin sebebi ısıtma sırasında kaybolan homeotropik yönelimin, soğuma sürecinde tekrar meydana gelmesidir. *İzotropik sıvı – kolesterik faz* geçiş sıcaklığına ulaştığında ani bir sıçrama olmuş ve optiksel geçirgenlik minimum değerden maksimum değere ulaşmıştır. Değişimin gözlemlendiği bu bölgedeki sıcaklık aralığı 1,1K olarak belirlenmiştir.

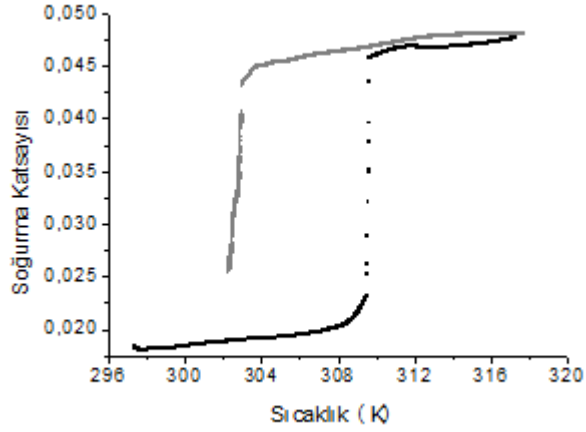
Bu çalışmada ayrıca optiksel geçirgenlik verilerinden yola çıkarak COC ve AEP kolesterik malzemeler için, soğurma katsayılarının sıcaklığa bağımlılığı da incelenmiştir. Bu sıvı kristalik malzemenin soğurma katsayıları (α), Eşitlik (2.26)'dan yararlanarak elde edilmiştir.

COC ve AEP kolesterik mezofazlar için ısıtma ve soğutma sürecindeki soğurma katsayıları hesaplanmıştır.

Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te görüldüğü gibi, ısıtma ve soğutma sırasında optiksel soğurma katsayıları kolesterik mezofaz aralığında küçük değişimler göstermiştir. Kolesterik fazda α soğurma katsayısı, minimum değere sahiptir. Ancak izotropik sıvıya dönüştüğünde α soğurma katsayısı, maksimum değere ulaşmış ve izotropik sıvıya karşılık gelen bölgede küçük değişimler gözlenmiştir. Isıtma işlemi sonlandırılıp soğuma sürecine geçildiğinde, izotropik sıvı fazındaki bölgede yine küçük dalgalanmalar gözlenmiştir. İzotropik fazda soğurma katsayısı maksimum değere sahiptir. Kolesterik sıvı kristal faza geçtiğinde ise yine minimum değerlere ulaşmıştır ve kolesterik mezofaza karşılık gelen bölgede küçük değişimler görülmektedir. Ancak, optiksel soğurma katsayıları *kolesterik mezofazı - izotropik sıvı* ve *izotropik sıvı - kolesterik mezofazı* düz ve ters faz geçişlerin heterofaz bölgelerinde doğrusal olmayan davranış sergilemiştir. Yani, faz geçiş bölgelerinde α soğurma katsayısı ani sıçrama yapmıştır.

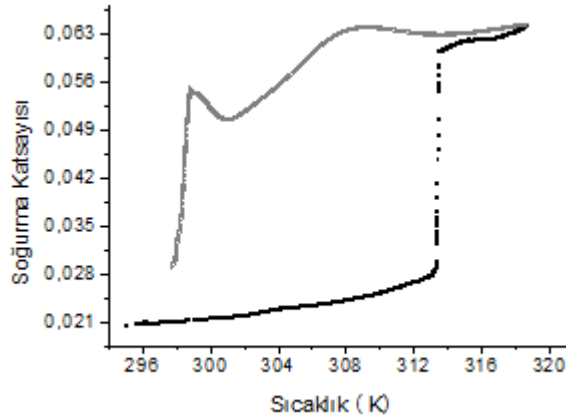


Şekil 4.23. AEP için soğurma katsayısının sıcaklık ile değişimi



Şekil 4.24. COC için soğurma katsayısının sıcaklık ile değişimi

Şekil 4.23 ve 4.24'te görüldüğü gibi, COC ve AEP sıvı kristallerin düz ve ters faz geçiş sıcaklıkları birbirinden farklıdır. Düz ve ters faz geçişler arasındaki sıcaklık farkları sırasıyla COC için 6,0 K ve AEP için ise 7,5 K'dir. Araştırmalar göstermiştir ki, *kolesterik - izotropik sıvı* faz geçiş sıcaklığının genişliği, *izotropik sıvı - kolesterik faz* geçiş sıcaklığının genişliğinden daha küçüktür. Sonuç olarak, numunelerin faz geçişlerinde termik histeresis meydana gelmiştir (Avcı, 2013).



Şekil 4.25. AEP'nin homeotropik yönelimi için soğurma katsayısının sıcaklık ile değişimi

AEP sıvı kristalin homeotropik yönelimli örneği için soğurma katsayısı incelendiğinde de yönelmemiş örneğe benzer bir değişim gözlenmiştir.

Isıtma sürecinde kolesterik fazdaki numune, ani bir sıçrama ile maksimum değere çıkarak izotropik sıvı faza geçmiş ve ısıtmaya devam edildiğinde izotropik sıvı fazındaki yönelmemiş örnekten farklı olarak burada, dalgalanmalar meydana gelmiştir. Bu dalgalanmalar, optiksel geçirgenlik değerlerinde meydana gelen dalgalanmalardan kaynaklanmıştır.

Soğuma sürecine geçildiğinde ise maksimum değere sahip olan soğurma katsayısı faz geçiş bölgesine kadar küçük değişimler göstermiş, faz geçiş sıcaklığına ulaştığında ise ani bir değişim göstermiş ve minimum değere ulaşmıştır. Minimum değere ulaştığı bu bölge izotropik sıvı faza karşılık gelmektedir. Soğuma işlemine devam edildiğinde soğurma katsayısı değerlerinde sadece küçük değişimler gözlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen buluşlar ve yeni bilimsel sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 1) COC ve AEP sıvı kristaller, deformasyonlara ve sıcaklığa duyarlı olan kolesterik mezofazın tipik tekstürlerini sergilemiştir. Tekstürlerin duyarlı olması, kolesterik spiral adımının deformasyonlara ve sıcaklıklara bağlı olmasından kaynaklanmıştır.
- 2) COC ve AEP sıvı kristallerin kırılma indisi sıcaklığın artması ile monoton şekilde azalmıştır. Kırılma indisi *kolesterik mezofazı-izotropik sıvı* faz geçişi bölgesinde atlamalı şekilde değişmiştir.
- 3) COC ve AEP sıvı kristaller optiksel negatif sıvı kristallerdir. Bu sıvı kristallerde kırılma indisleri arasında $n_o > n_e$ eşitsizliği sağlanmıştır. Kolesterik mezofazı sıcaklık aralığında n_o , sıcaklığın artması ile hızlı şekilde azalırken, n_e ise bu sıcaklık aralığında yavaş şekilde değişmiştir. *Kolesterik mezofazı-izotropik sıvı*, faz geçiş bölgesinde n_e ve n_o kırılma indisleri kaybolmuştur. n_e ve n_o nun kaybolması, söz konusu kristallerde optiksel anizotropinin kaybolmasından kaynaklanmıştır.
- 4) İncelenen sıvı kristallerde çiftkırılma Δn sıcaklığın artması ile geliş güzel şekilde azalmıştır. Δn 'in kolesterik mezofazı bölgesinde azalması, sıvı kristalin sıcaklığın artması ile düzenin azalmasından kaynaklanmıştır. Optiksel anizotropinin kaybolması ile *kolesterik mezofazı-izotropik sıvı* faz geçiş bölgesinde, $\Delta n = 0$ eşitliği sağlanmıştır. Δn 'in düzen parametresi S ile doğru orantılı olduğundan, Δn 'in sıcaklığa bağlılığı, düzen parametresinin sıcaklıkla değişimini göstermiştir. Δn 'in sıcaklıkla değişim karakteri, *kolesterik mezofazı-izotropik sıvı* arasındaki faz geçişin 1. dereceli geçiş olduğunu göstermiştir.
- 5) Vuks modelini kullanarak, COC ve AEP için $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ 'nin sıcaklıkla değişiminin

Δn 'in sıcaklıkla değişimine benzer bir değişim gösterdiği ve benzer bir yol ile açıklanabileceği görülmüştür.

$\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranı sıcaklık arttıkça azalmış ve $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ 'nin faz geçiş sıcaklığına yakın değeri bire gitmiştir. Bu oranın bu tür değişiklikleri, yön vektörü ile ilgili olarak, moleküllerin uzun ekseninin yönü ile ilgili olan düzen parametresinin değişikliklerinden kaynaklanmıştır.

COC ve AEP için $\Delta\alpha$ 'nın sıcaklıkla değişimi $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranının sıcaklıkla değişimine

benzer bir değişim göstermiştir. Sıcaklık $Ch - I$ faz geçiş sıcaklığı olduğunda, $\frac{\alpha_o}{\alpha_e}$ oranı 1'e gideceğinden $\Delta\alpha$ sıfıra eşit olmuştur.

COC ve AEP için α_{eg} sıcaklığın artması ile artmış ve çalışma sıcaklığı $Ch-I$ faz geçiş sıcaklığına ulaştığında bire ulaşmıştır.

COC ve AEP için α_{eg} , Δn 'in artması ile doğrusal olarak azalmış bu, sıvı kristaldeki düzenin ve düzen parametresinin artışı ile meydana gelmiştir. α_{eg} bire ulaştığında, sıvı kristal düzeni kaybolmuştur. Bu durum, izotropik sıvı durumuna karşılık gelmiştir. Bu termodinamik halde, α_{eg} 'nin değeri bire yaklaşırken Δn 'in değeri ise sıfıra eşit olmuştur.

6) Belirli sıcaklık aralığında sıcaklığın arttırılması ile optiksel geçirgenlikte değişim olmamıştır. COC ve AEP'nin bu sıcaklık aralıkları kolesterik mezofazına karşılık gelmektedir. Daha sonra, ısıtma işlemine devam edildiğinde dar bir sıcaklık aralığı içinde COC ve AEP'nin optiksel geçirgenliğinde beklenmedik ani değişimler ve dalgalanmalar oluşmuştur. Yani, optiksel geçirgenliğin minimum değerlerine kadar düştüğü değişim aralığı *kolesterik mezofazı-izotropik faz* geçişin olduğu bölgede meydana gelmiştir. Bu minimum değerler COC ve AEP'nin izotropik sıvı durumuna karşılık gelmektedir. Sıcaklığın arttırılmasına devam edildiğinde optiksel geçirgenlikte küçük değişimler gözlenmiştir. Minimum değerlikli izotropik sıvı soğutulmaya bırakıldığında, belirli bir sıcaklık aralığında, optiksel geçirgenlik ani bir şekilde artmıştır. Bu sıcaklık aralığı *izotropik sıvı-kolesterik mezofazı* bölgesine karşılık gelmektedir. Daha sonra soğuma sürecine devam edildiğinde optiksel geçirgenlik, minimum değerden maksimum değere ulaşmıştır ve daha sonra bu

değerde kalmıştır. Sadece küçük değişimlerin gözlemlendiği bu sıcaklık bölgesi kolesterik sıvı kristal faza karşılık gelmektedir.

7) COC ve AEP için optiksel geçirgenlik değerlerinden yararlanarak hesaplanan soğurma katsayısı değerlerinin sıcaklık ile değişimi, optiksel geçirgenliğin sıcaklık ile olan değişimin tam tersi bir davranış sergilemiştir. Optiksel geçirgenliğin maksimum değere sahip olduğu yerde, soğurma katsayısı minimum, optiksel geçirgenliğin minimum olduğu yerde ise soğurma katsayısı maksimum değere sahiptir.

Soğurma katsayısı, kolesterik mezofaza karşılık gelen bölgede, küçük değişimler göstermiştir. Ancak izotropik sıvıda α soğurma katsayı maksimum değere ulaşmıştır. Ve soğurma katsayısı bu bölgede değişmemiştir. Ancak optiksel soğurma katsayıları *kolesterik mezofazı-izotropik sıvı* ve *izotropik sıvı-kolesterik mezofazı* düz ve ters faz geçişlerin heterofaz bölgelerinde doğrusal olmayan davranış sergilemiştir. Yani, faz geçiş bölgelerinde α soğurma katsayısı ani sıçrama yapmıştır. COC ve AEP sıvı kristallerin düz ve ters faz geçiş sıcaklıkları aynı değildir. Araştırmalar göstermiştir ki, *kolesterik mezofazı-izotropik sıvı* faz geçiş bölgesinin genişliği, *izotropik sıvı-kolesterik mezofaz* geçiş bölgesinin genişliğinden daha küçüktür. Sonuç olarak, numunelerin faz geçişlerinde termik histerezis meydana gelmiştir. Histerezis hem yönelmiş hem de yönelmemiş örneklerde gözlenmiştir. Faz geçiş bölgelerinde histerezis (ısıtma ve soğutma esnasında sıcaklığın farklı olması ve faz geçiş bölgesinde heterofaz alanların oluşması) olması, Landau-de Gennes teorisinde 1. dereceli faz geçişler için öngörülmüştür. Bu teorik öngörü, deneysel olarak tarafımızdan gözlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen yeni bilimsel sonuçlar ve bulgular aşağıdaki kongrede sunulmuştur.

Özden, Ç., Nesrullazade A. (2013), Monomorfik Kolesterik Sıvı Kristalik Malzemelerin Termotropik ve Termo-Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, *Yoğun Madde Fiziği-İzmir Toplantısı*, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 5 Nisan 2013, İzmir

KAYNAKLAR

- Abbe Refraktometresi, (2012) <http://kimyasalmalzemeler.blogspot.com/2012/08/abbe-refraktometresi.html>, Ağustos.
- Adomenas P.V., Nesrullajev A.N., Ostrovski B.I., Rabinovich A.Z. ve Sonin A.S. (1979) The change of the character of smektik A-nematik phase transition in binary mixtures of liquid qyrstals, *Phys. Solid State*, 21: 2487-2492.
- Anisimov M.A. (1988) Critical phenomena in liquid crystals, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 162: 1-4.
- Anisimov M.A. (1991), *Critical Phenomena in Liquids and Liquid Crystals*, Gordon and Breach Publ., Amsterdam, 431s.
- Avcı N. (2007) *Nematik-izotropik sıvı izotropik sıvı- nematik faz geçişlerin termo-optiksel, termo-morfolojik ve termotropik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Muğla, 67s.
- Avcı N. (2013) *Çoklu faz geçişli kalamitik ve bent-core moleküllü sıvı kristallerin termotropik, termo-morfolojik, termo-optiksel, dielektrik ve vizkoelastik özelliklerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, 159s.
- Bhowmick K., Mukhopadhyay A. ve Mukherjee C.D. (2003) Texture and optical studies of the mesophases of cyanocyclohexyl cyclohexanes, *Phase Trans.*, 76: 671-679.
- Blinov, L.M. ve Chigrinov, V.G. (1994) *Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials*, Springer- Verlog, Newyork Inc., 471s.
- Blinov, L. M. (2011) *Structure and Properties of Liquid Crystals*, Springer, 494s.
- Chahine G., Kityk A.V., Knorr K., Lefort R., Guendouz M., Morineau D. ve Huber P. (2010) Criticality of an isotropic-to-smectic transition induced by anisotropic quenched disorder, *Phys. Rev. E.*, 81: 011706.

- Chandrasekhar S. ve Madhusudana N.V. (1969) Orientational order in p-azoxyanisole, p-azox-yphenetole and their mixtures in the nematic phase, *J. Phys.*, 30: C4-24-C4-27.
- Chandrasekhar S. (1992) *Liquid Crystals*, 2. Baskı, Cambridge University Press, 480s.
- Collings, P.J., and Hird, M. (2001) *Introductions to Liquid Crystals*, Taylor & Francais Ltd., London, 232s.
- de Gennes, P.G. (1974) *The Physics of Liquid Crystals*, Oxford University Pres, London, 595s.
- de Gennes, P.G. ve Prost, J. (1993) *The Physics of Liquid Crystals*, 2. Baskı, Oxford University Press, New York, 616s.
- de Jeu W.H. (1980) *Physical Properties of Liquid Crystalline Materials*, Gordon and Breach, New York – London – Paris, 130s.
- Demus D. ve Richter L. (1980) *Textures of Liquid Crystals*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 314s.
- Dierking, I. (2003) *Textures of Liquid Crystals*, Wiley-Vch, Weinheim, 230s.
- Donino, B., Guillion, D., Deschenaux ve Bruce, D. W. (2003) *Comprehensive Coordination Chemistry*, II Eds. McCleverty, J. A., Meyer, T. J., Pergamon, Oxford, 627s.
- Elston S., J.R. Sambles ve Roy S. (1998) *The Optics Of Thermotropic Liquid Crystals*, Taylor & Francis Ltd, 375s.
- Emek, M. (2007) *Faz Dönüşümlerinin Nematik Sıvı Kristallerin Elektrooptik Özelliklerine Etkisi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 33s.
- Eser M. (2006) *Karbon Nanotüp-Sıvı Kristal Karışımlarının Elektriksel Özellikleri*, Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze, 89s.

Fessenden, R. J., Fessenden, J. S. ve Logue, M. W. (2001) *Organik Kimya*, Günes Kitabevi, Ankara, 1170s.

Hanson E.G. ve Shen Y.R. (1976) Refractive indices and optical anisotropy of homologous liquid crystals, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 36: 193-207.

Jakli, A. (2012) *Sıvı Kristal Ders Notları*, Kent State Üniversitesi, Amerika, 481s.

Khoo, I.C. (1995) *Liquid Crystals: Physical Properties and Nonlinear Optical Phenomena*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 298s.

Kumar A. (2013) Determination of orientational order and effective geometry parameter from refractive indices of some nematics, *Liq. Cryst.*, 40: 503-510.

Kumari J.L., Prasad P.V.D., Latha D.M. ve Pisipati V.G.K.M. (2012) Orientational order parameter estimated from molecular polarizabilities-an optical study, *Phase Trans.*, 85: 52-61.

Lambert-beer yasası, (2012) http://www.wikidoc.org/index.php/Beer-Lambert_law, Haziran.

Lehmann O. (1889) *Über fließende Krystalle*, Zeitschrift für physikalische Chemie, 4, 462s.

Manohar R. and Shukla J.P. (2004), Refractive indices, order parameter and principal polarizability of cholesteric liquid crystals and their homogeneous mixtures, *J. Phys. Chem. Solids*, 65: 1638-1643.

Manohar, R., Tripathi, G., Singh, A.K., Srivastava, A.K., Shukla, J.P. ve Prajapati, A.K. (2006) Dielectric and optical properties of polymer-liquid crystal composite, *Journal Of Physics And Chemistry Of Solids*, 67: 2300-2304.

Mukherjee P.K. (2005) Anomalous heat capacity above the isotropic-chiral smectic C phase transition, *Phys. Rev. E*, 71: 061704.

Mukherjee P.K., Pleiner H. ve Brand H.R. (2005) A phenomenological theory of the isotropic to chiral smectic C phase transition, *Eur. Phys. J.*, 17: 501-509.

- Negi, A. S. ve Anand, S. C. (1985) *Textbook of Physical Chemistry*, New Age Publishers, New Dilhi, 961s.
- Nesrullajev, A., Salihoğlu, S., Yurtseven H., (1998) Study of phase transition in polymorphic liquid crystals, *Int. J. Mod. Phys.*, 12: 213-215.
- Nesrullazade, N. Yurtseven, H. ve Kazancı, N. (2000) *Sıvı Kristaller: Yapıları, Özellikleri, Uygulamaları*, 1. Baskı, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 305s.
- Nesrullajev, A., Yurtseven, H., Salihoğlu S. ve Kazancı, N. (2002) Investigations of thermo-morphologic, thermotropic and thermo-optical properties at nematic isotropic liquid and isotropic liquid nematic phase transitions, *Materials Research Bulletin*, 37: 2002-2021.
- Nesrullajev A. (2010) Changes of thermo-morfologic and thermotropic properties of nematik mesophas-isotropic liquid phase transition:surface-induced effect, *Phase Trans.*, 83: 326-836.
- Nesrullajev A. ve Avcı N. (2011) Oriented and Non-Oriented Textures of Nematic Liquid Crystals: Comparative Peculiarities of the Thermotropic Behaviour, *Materials chemistry and physics*,131: 455-461.
- Neugebauer H.E.J. (1954) Claussius-Mossotti equation for certain types of anisotropic crystals, *Can. J. Phys.*, 32: 1-8.
- Oswald P. and Pieranski P. (2005) *Nematic and cholesteric liquid crystals*, Taylor & Francis Group, 595s.
- Prasad P.V.D. ve Pisipati V.G.K.M. (2009) Simple accurate and low cost optical techniques fort he measurement of 1. Breffringence in liquid crystals and 2. Variation of the angle of the small angled prism with temperature, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 511: 102-111.
- Priestley,E. B., P. J. Wojtowicz ve P. Sheng (1975) *Introduction to liquid crystals*, Plenum Press, New York, 83s.
- Ramakrishna M., Rao N., Datta Prasad P.V. ve Prasad V.G.K.M. (2010) Orientational order parameter in alloxybenzoic acids-optical studies, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 528: 49-63.

- Roberts N.W., Guillou J.P.S., Gleeson H.F., Kirar I., Watson S.J. ve Arikainen E.O. (2004) Optical properties of cholesteric materials used in surface stabilised cholesteric texture devices, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 411: 52-57.
- Saito R., Dresselhaus G. ve Dresselhaus M.S. (1998) *Physical properties of Carbon Nanotubes*, Imperial College Press, London, 253s.
- Sastry S.S., Kumari T.V., Mallika K., Rao B.G.S., S.-T. Ha, Lakshminarayana S. (2011) Order parameter studies on EPAP alkanoate mesogens, *Liq. Cryst.*, 39: 290-295.
- Sastry S.S., Kumari T.V., Begum S.S. ve Rao V.V. (2011) Investigations into effective order geometry in a series of liquid crystals, *Liq. Cryst.*, 38: 277-285.
- Satiro C. ve Moraes F. (2006) Lensing effects in a nematic liquid crystal with topological defects, *Euro. Phys. J. E.*, 20: 173-178.
- Sıvı kristaller, (2012) <http://www.polimerler.com/sivi%20kristaller/sivi%20kristaller.htm>, Mayıs.
- Singh S. (2000) Phase Transitions in Liquid Crystals, *Physics Reports*, 234: 107-269.
- Singh, S. ve Dunmur, D. A. (2002) *Liquid Crystals: Fundamentals*, 1. Baskı, World Scientific, 551s.
- Skarabot M. (1998) Cepic M., Zeks B., Blinc R., Heppke G., Kityk A.V., Musevic I., Birefringence and tilt angle in the antiferroelectric, ferroelectric and intermediate phases of chiral smectic liquid crystals, *Phys. Rev. E*, 58: 575-584.
- Subramanyam H.S., Prabha C.S. ve Krishnamurti D. (1973) Optical anisotropy of nematic compounds, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 28: 201-215.
- Soorya T.N., Gupta S., Kumar A., Jain S., Arora V.P. ve Bahadur B. (2006) Temperature dependent optical property studies of nematic mixtures, *Ind. J. Pure Appl. Phys.*, 44: 524-531.

Toledano J.C. ve Toledano P. (1987) *The Landau Theory of Phase Transition*, World Scientific, Singapore, 472s.

Vuks M.F. (1966) Determination of the optical anisotropy of aromatic molecules from the double refraction of crystals, *Opt. Spectr.*, 20: 361-368.

Zakerhamidi M.S., Ebrahimi Z., Tajalli H., Ghanadzadeh A., Modhadam M. ve Ranjkesh A. (2010) Refractive indices and parameters of some tolane-based nematic liquid crystals, *J. Mol. Liq.*, 157: 119-121.

Zywicki B.J. ve Kuczynski W. (2001) IEEE Transactions on optical phenomena-the orientational order in nematic liquid crystals from birefringence measurements, *Dielectr. Electr. Insul.* 8: 512-515.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Çınar ÖZDEN
Uyruk : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi: 26/01/1988
Medeni Hali : Bekar
E-posta : cinar-ozden@hotmail.com

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Manavgat Anadolu Lisesi	2007
Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2011
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2013

Yabancı Dil(ler)

Dil (İngilizce, vs)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma		X	
Anlama		X	
Okuma		X	