

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BAZI KARIŞIM NEMATİK SIVI KRİSTALLERDE ELEKTROOPTİK  
ÖZELLİKLERİN FAZ SICAKLIĞINDA İNCELENMESİ**

**Süleyman ÖZAYDIN**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2007**

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BAZI KARIŞIM NEMATİK SIVI KRİSTALLERDE ELEKTROOPTİK  
ÖZELLİKLERİN FAZ SICAKLIĞINDA İNCELENMESİ**

**Süleyman ÖZAYDIN**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2007**

Doç. Dr. Süleyman YILMAZ danışmanlığında, Süleyman ÖZAYDIN'ın hazırladığı “Bazı Karışım Nematik Sıvı Kristallerde Elektrooptik Özelliklerin Faz Sıcaklığında İncelenmesi” konulu çalışma 18/06/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Süleyman YILMAZ

Üye : Prof. Dr. Emirullah MEHMETOV

Üye : Doç. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ

**Bu Tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**

**Prof. Dr. İbrahim BOLAT**  
Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: 717**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirimlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sıvı Kristaller.....	1
1.1.1. Sıvı kristallerin genel özellikleri.....	4
1.1.2. Sıvı kristallerin sınıflandırılması.....	5
1.1.3. Termotropik sıvı kristaller.....	5
1.1.3.1. Nematik sıvı kristaller.....	6
1.1.3.2. Smektik sıvı kristaller.....	11
1.1.3.3. Kolesterik-nematik sıvı kristal.....	12
1.1.4. Faz geçişleri.....	13
1.2. Elektrooptik Etkiler.....	13
1.2.1. Sıvı kristallerde elektrooptik etkiler.....	13
1.2.2. Nematik ve burkulmuş nematik kristallerde elektro-optik özellikler.....	15
1.2.2.1. Burkulmuş nematik sıvı kristaller.....	15
1.2.2.2. Dağıtıcı polimer nematik kristaller.....	16
1.2.3. Nematiklerde elektro hidrodinamik kararsızlık.....	17
1.3. Sıvı Kristallerde Esnek Şekil Değişimleri.....	19
1.4. Sıvı Kristallerde Akışkanlık Hareketleri.....	24
1.5. Karışımlar.....	26
1.5.1. Karışımlar ve bileşimler.....	26
1.5.2. Karışımlar.....	27
1.6. Polarizasyon.....	28
1.6.1. Çizgisel polarizasyon.....	30
1.6.2. Dairesel polarizasyon.....	31
1.6.3. Eliptik polarizasyon.....	32
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	34
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	38
3.1. Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	38
3.1.1. Polarizasyon mikroskobu.....	38
3.1.2. Lazer.....	38
3.1.3. Mekanik modülatör.....	38
3.1.4. Polarizör ve analizör.....	39
3.1.5. Numune tutucu.....	39
3.1.6. Foto-algılayıcı.....	40
3.1.7. Termostat.....	40
3.1.8. Güç kaynağı.....	40
3.1.9. Deney düzeneği.....	41
3.1.10. Lock-in amplifier.....	42
3.2. Numunelerin Hazırlanması.....	43
3.2.1. İTO lameller.....	43
3.2.2. Sıvı kristal numunelerin hazırlanması.....	43
3.2.3. Deneyde kullanılan saf sıvı kristaller.....	44
3.3. Kullanılan Yöntem.....	46
3.3.1. Polarize ışığın Jones tanımlaması.....	46

	<b>Sayfa No</b>
3.3.2. Jones matris hesabı.....	47
3.3.3. Polarizörün sistemdeki işlevi.....	49
3.3.4. Geçen ışığın şiddeti.....	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	52
4.1. Optik Geçirgenlik Ölçümleri.....	53
4.1.1. S1 numunesi.....	53
4.1.2. S2 numunesi.....	58
4.1.3. M1 karışımı.....	60
4.1.4. M2 karışımı.....	66
4.1.5. M3 karışım.....	69
4.1.6. M4 karışımı.....	71
4.2. Sabit Elektrik Alanda (DC) Elektrooptik Etki.....	74
4.2.1. S1 numunesi.....	74
4.2.2. S2 numunesi.....	75
4.2.3. M1 karışımı.....	75
4.2.4. M2 karışımı.....	76
4.2.5. M3 karışım.....	77
4.2.6. M4 karışımı.....	77
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	82
ÖZET.....	83
SUMMARY.....	84

**ÖZ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**BAZI KARIŞIM NEMATİK SIVI KRİSTALLERDE ELEKTROOPTİK ÖZELLİKLERİN  
FAZ SICAKLIĞINDA İNCELENMESİ**

**Süleyman ÖZAYDIN**

**Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı**

**Danışman : Doç. Dr. Süleyman YILMAZ  
Yıl : 2007, Sayfa : 84**

Bu çalışmada, karışım halindeki nematik sıvı kristallerin elektrooptik etkileri, belli sıcaklık aralığında ve sabit elektrik alanlarda incelendi. Belli oranlarda hazırlanan karışımların moleküler anizotropisini ilgilendiren optik geçirgenliği karışımın faz geçiş bölgesinde ölçüldü. Ölçümler, sıcaklık kontrol ünitesi ve elektrik alan ünitesi yardımıyla optik geçirgenlik ölçüm ünitesinde elde edildi. Sıcaklık kontrol ünitesiyle karışımın tüm fazlarını içeren düzenli bir sıcaklık artışı, elektrik alan ünitesiyle moleküler yapıyı ve yönlendirmeyi etkileyen sabit alanlar sağlandı. Moleküler yönelim ve anizotropiyi belirlemek için polarizör açısı saat yönünde ve tersinde değiştirildi. Ölçümler sonucunda; optik geçirgenliğin nematik faz aralığında düşük seviyede iken, nematik-izotropik faz geçişiyle en üst seviyelere yükseldiği gözlemlendi. Karışımla elde edilen yapıların, saf kristal yapıya göre daha geniş faz geçiş sahasına sahip olduğu ve faz geçiş sıcaklığının değiştiği gözlemlendi.

**ANAHTAR KELİMELER:** Nematik sıvı kristal, Optik geçirgenlik, Elektrooptik etki, Faz geçişleri

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

### **INVESTIGATION OF ELECTROOPTICAL PROPERTIES OF SOME MIXED NEMATIC LIQUID CRYSTALS AT PHASE TEMPERATURE**

**Süleyman ÖZAYDIN**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Süleyman YILMAZ  
Year: 2007, Page : 84**

In this presented study, the electrooptical effects of the mixed nematic liquid crystals were investigated in a specific temperature range and in constant dc electric fields. By the prepared at certain proportions, the optical transmittance of the mixed structures is measured in its phase transition region as contained molecular anisotropy. Regular temperature increments are provided by the temperature control unit to include all of the phases for the samples. Structure and constant dc electric fields are provided by the electric field unit to affect the molecular structure and orientations. For determining the molecular orientation and anisotropy, the angle of polarizer is changed in direction with the clockwise and the counterclockwise. In the results of measurements, while the optical transmittance is in low level in the nematic phase, the optical transmittances are observed in the highest levels by the nematic-isotropic phase transition. It was observed that, phase transition region of the mixed structures has broader range than by the pure crystalline structure and its phase transition temperature is changed by the molecular anisotropy.

**KEYWORDS:** nematic liquid crystal, optical transmittance, electro-optic effect, phase transitions

## TEŐEKKÖR

Yüksek lisans çalıőmalarımnda yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danıőmanım Doç. Dr. Süleyman YILMAZ Beye, deneysel çalıőmalarımnda teknik yardımını gördüğüm Adil Tolga ÖZEN'e, çalıőmalarım boyunca sıkıntılarıma ortak olan eőime ve desteklerini gördüğüm aileme teşekkür ederim.



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 1.1. Nematik sıvı kristalin şematik gösterimi.....	8
Çizelge 1.2. Sıcaklığın değişimine göre faz durumları .....	13
Çizelge 4.1. Kullanılan numunelerin karışım oranları .....	52
Çizelge 4.2. Ölçülen numunelerin sıvı kristalik faz aralığı.....	73

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Sıvı kristal faz geçişleri.....	2
Şekil 1.2. Çeşitli fazların moleküler yönelimleri ve yerleşimleri.....	4
Şekil 1.3. Çeşitli fazlarda sıvı kristal moleküllerin dizilişi .....	6
Şekil 1.4. P-azoksinaadol (PAA) bileşiği .....	7
Şekil 1.5. a) Nematik Yapıdaki moleküllerin dizilişi. b) ve c) Nematik yapıdaki moleküllerin çeşitli yönlerden görünüşü ve optik eksenleri.....	7
Şekil 1.6. Moleküler yöneliminin elektrik alana göre; a) paralel b) dik olma durumu...	9
Şekil 1.7. Sıvı kristal ortamdaki bir molekülün herhangi bir andaki konumu .....	10
Şekil 1.8. Düzen parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi .....	11
Şekil 1.9. Smektik sıvı kristallerde moleküler dizilişin şematik gösterimi.....	12
Şekil 1.10. Kolesterik-nematik sıvı kristalin gösterimi .....	12
Şekil 1.11. İndiyum tin oksit ile numune ile slayt hazırlaması.....	15
Şekil 1.12. Elektrik alan uygulanmasına göre ışığın geçişi ve polarizasyonu.....	16
Şekil 1.13. Dağıtıcı polimer ortama göre ışığın geçişi .....	17
Şekil 1.14. Geçirgenlik durumundaki elektrohidrodinamik kararsızlıkta Williams-Kapustin bölgeleri.....	18
Şekil 1.15. Sıvı kristal bir ortamda ortaya çıkabilecek esnek şekil değişimleri.....	21
Şekil 1.16. Sıvı kristal bir ortamdaki esnek şekil değişimlerinin xyz koordinat sisteminde bileşenleri.....	21
Şekil 1.17. İkili ötektik karışımın faz diyagramı.....	27
Şekil 1.18. Optikel alanın enine kutuplanmış olarak ilerlemesi .....	28
Şekil 1.19. Elektromanyetik dalganın elektrik alanının dikey bileşenleri .....	29
Şekil 1.20. Çizgisel polarizasyon durumunda elektrik alanın xy- düzleminde titreşimi....	31
Şekil 1.21. Dairesel polarizasyonda elektrik alan vektörünün, xy-düzleminde bir daireyi tanımlaması.....	32
Şekil 1.22. Eliptik polarizasyonda eksenler arasında faz farkının gösterimi .....	33
Şekil 3.1. Numune tutucunun kapalı durumda şematik görüntüsü .....	39
Şekil 3.2. Numune tutucunun açık durumda şematik görüntüsü.....	40
Şekil 3.3. Deney düzeneğinin devre şeması.....	41
Şekil 3.4. Deney düzeneğinin fotoğrafı.....	41
Şekil 3.5. LabVIEW programı başlama sayfası.....	42
Şekil 3.6. Sıvı kristal numune ve elektrik alanın örneğe uygulanmasının şematik gösterimi.....	44
Şekil 3.7. 4'-(Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile.....	45
Şekil 3.8. 4'-(Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile sıvı kristalinin faz geçiş sıcaklıkları....	45
Şekil 3.9. 4-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate.....	45
Şekil 3.10. 4-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate sıvı numunenin faz geçiş sıcaklıkları.....	45
Şekil 3.11. Seçilen polarizasyon durumlarının Jones vektörleri.....	47
Şekil 3.12. Eğiklik açısıyla geciktirici levhanın, sabitlenmiş xy-koordinat sistemiyle sf-koordinat sisteminde birbirine göre durumları.....	48
Şekil.3.13. Algılanan kesişme açısı.....	50
Şekil 4.1. S1 numunesinin kristal halde CCD kamera ile çekilmiş görüntüsü.....	53
Şekil 4.2. S1 numunesinin nematik halde CCD kamera ile çekilmiş görüntüsü.....	54
Şekil 4.3. S1 sıvı kristal numunenin 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri.....	55
Şekil 4.4. S1 sıvı kristal numune için polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri.....	56
Şekil 4.5. Optik geçirgenliğin, 342 K; 346 K ve 350 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri.....	56
Şekil 4.6. S1 sıvı kristal numunenin, 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında, optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi.....	57
Şekil 4.7. S1 sıvı kristal numunenin 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında, farklı açılarda (polarizör ve analizör arasındaki açıyı değiştirirken saat yönüne ters seçildi) optik geçirgenlik eğrileri.....	57

Şekil 4.8. S1 sıvı kristal numune için 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında saat tersi yönde polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri.....	58
Şekil 4.9. S1 numunesinin optik geçirgenliğinin; 342K, 346 K ve 352 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri.....	58
Şekil 4.10. S2 numunesinin kristal halde CCD kamera ile çekilmiş görüntüsü.....	59
Şekil 4.11. S2 numunesinin nematik halde CCD kamera ile çekilmiş görüntüsü.....	59
Şekil 4.12. S2 sıvı kristal numunenin 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri.....	60
Şekil 4.13. S2 sıvı kristal numune için 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri.....	61
Şekil 4.14. Optik geçirgenliğin; 335 K, 348 K ve 362 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri.....	62
Şekil 4.15. 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi.....	63
Şekil 4.16. M1 sıvı kristal numunenin 345 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri.....	63
Şekil 4.17. M1 sıvı kristal numunesinin 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri.....	64
Şekil 4.18. Optik geçirgenliğin; 348 K, 352 K ve 356 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri.....	64
Şekil 4.19. 345 K ile 360 K sıcaklık aralığında, optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi.....	65
Şekil 4.20. M1 sıvı kristal numunenin 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, saat tersi yönünde farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri.....	65
Şekil 4.21. M1 sıvı kristal numune için 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri.....	66
Şekil 4.22. Optik geçirgenliğin; 348 K, 353 K ve 357 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri.....	66
Şekil 4.23. M2 sıvı kristal numunenin 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri.....	67
Şekil 4.24. M2 sıvı kristal numune için 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri.....	68
Şekil 4.25. Optik geçirgenliğin; 340 K, 347 K ve 352 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri.....	68
Şekil 4.26. 335 K ile 355 K sıcaklık aralığında, optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi.....	69
Şekil 4.27. M3 sıvı kristal numunenin 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri.....	70
Şekil 4.28. M3 sıvı kristal numune için 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik durumda optik geçirgenlik eğrileri.....	70
Şekil 4.29. Optik geçirgenliğin; 335 K, 348 K ve 362 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri.....	71
Şekil 4.30. 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi.....	71
Şekil 4.31. M4 sıvı kristal numunenin 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri.....	72
Şekil 4.32. M4 sıvı kristal numune için 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik durumda optik geçirgenlik eğrileri.....	73
Şekil 4.33. Optik geçirgenliğin; 342 K, 346 K ve 355 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri.....	73
Şekil 4.34. 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi.....	74

Şekil 4.35. S1 sıvı kristal numunenin 330 K sıcaklık değerinde, sabit, dış elektrik alanının 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri.....	75
Şekil 4.36. S2 sıvı kristal numunenin 337 K sıcaklık değerinde, sabit, dış elektrik alanının 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri.....	76
Şekil 4.37. M1 sıvı kristal numunenin 330 K sıcaklık değerinde, sabit, dış elektrik alanının 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri.....	76
Şekil 4.38. M2 sıvı kristal numunenin 333 K sıcaklık değerinde, sabit, dış elektrik alanının 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri.....	77
Şekil 4.39. M3 sıvı kristal numunenin 327 K sıcaklık değerinde, sabit, dış elektrik alanının 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri.....	78
Şekil 4.40. M4 sıvı kristal numunenin 327 K sıcaklık değerinde, sabit, dış elektrik alanının 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri.....	78

## SİMGELER DİZİNİ

$r$	Yarıçap
$L$	Uzunluk
$S$	Düzen parametresi
$\Delta n$	Çift kırılma
$\epsilon$	Dielektrik sabiti
$E$	Elektrik alan
$E_S$	Sınır elektrik alan
$E_X$	Uygulanan elektrik alanın x bileşeni
$E_Y$	Uygulanan elektrik alanın y bileşeni
$F_k$	Kritik frekans
$F$	Uygulanan kuvvet
$I$	Optik geçirgenlik
$I_0$	Örnekten geçen ışığın şiddeti
$I'$	Örneğe düşen ışığın şiddeti
$\lambda$	Işığın dalga boyu
$\hat{n}$	Direktör
$n_0, n_{\perp}$	Olağan ışık ışınının kırılma indisi
$n_e, n_{//}$	Olağandıışı ışık ışınının kırılma indisi
$\theta$	Direktör ( $\hat{n}$ ) ile moleküllerin yönelimi arasındaki açı
$\tau$	Durulma zamanı
$T$	Sıcaklık
$V$	Gerilim
$V_S$	Sınır gerilimi
$J$	Jones vektörü

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Sıvı Kristaller

Bilim adamları uzun yıllar maddenin doğadaki halleri için genellikle sınır hallerini göz önüne almışlardır. Bunlar atomların periyodik bir örgü içinde üç boyutlu bir yerleşim gösterdiği kristal yapı katılar ve diğer taraftan atom ve moleküllerin tümüyle düzensiz bir yerleşim gösterdiği akışkanlardır. Kristal yapı katılardaki konumsal düzenden dolayı anizotropik bir davranış sergilerken, akışkanda herhangi bir düzenin olmaması nedeniyle izotrop bir karakter mevcuttur. Yani; madde her doğrultuda aynı özelliğe sahiptir. Katı fazda madde belirli bir yapıya sahip olup maddeyi oluşturan moleküller arasındaki bağ enerjileri oldukça büyüktür. Bir katının molekülleri üç boyutta düzenli tekrarlanıyorsa kristal, molekülleri arasında uzun mesafe düzeni yoksa amorf (şekilsiz) katı olarak bilinirler. Demir, bakır, altın gibi metaller kristallere; cam, kağıt, odun gibi katılar amorf katılara örnektir. Sıvıların ise belirli bir şekli yoktur, ancak buldukları kabın şeklini alırlar. Molekülleri çubuksudur ve aralarındaki bağ enerjisi küçük olduğundan kolay buharlaşabilir. Üzerine etkiyen basıncı aynen iletir ve sıkıştırılmazlar. Bazı organik bileşiklerin katı (kristal) halden izotropik sıvı hale geçişleri esnasında, tek basamaklı (doğrudan) bir geçiş yerine, her birinde maddenin yeni ve alışılmadık dışında bazı özellikler sergilediği "basamaklı" bir geçiş gösterdikleri uzun süredir bilinmektedir.

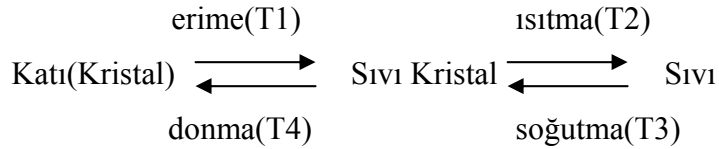
Kristal özelliklerine sahip olduğu kadar, sıvı özelliklerini de taşıyan maddeler *Sıvı Kristal* olarak adlandırılmıştır. Sıvı kristaller için ilk kez Friedel tarafından kullanılan ve *arafaz* anlamına gelen *mezofaz* terimine literatürde sıkça rastlanmaktadır.

Bir sıvı kristal ortam, sıvıların tüm özelliklerini bünyesinde taşır. Buna karşın, örneğin kırılma indisi, dielektrik sabiti ve manyetik duygunluk gibi bazı

fiziksel parametreleri, belirlenen doğrultulara bağlı olarak değiştiğinden anizotropik karakterdedir. Ortaya çıkışı çok öncelere dayanan sıvı kristal maddelerin, gelişen laboratuvar olanaklarına paralel olarak son yıllarda önem kazandığı görülmüştür.

Sıvı kristaller, anizotropik kristal yapıları ve izotropik sıvıların özelliklerini taşımanın yanısıra, onlardan farklı olarak katı ve sıvılarda gözlenemeyen bazı özelliklere de sahiptirler. Böyle bir ortamdaki moleküler düzen, küçük bir elektrik veya manyetik alan etkisi ile kolayca bozulabilir. Elektrik alan uygulanması ile moleküler düzende meydana gelen değişimler cihaz amaçlı çeşitli uygulamaların gelişimine neden olmuştur. Moleküllerin ortalama yöneliminin bölgeye göre değişimi, maddenin o bölgedeki özelliklerini değiştirerek, bölgede karanlık ve aydınlık alanlar oluşturur. Böylece bu özelliklerden yararlanılarak çeşitli endüstriyel cihazlar yapılmaktadır

Sıvı kristal fazların birisinden diğerine geçişte kullanılan yöntemlere göre ara fazların özellikleri değişmektedir. Faz dönüşümleri sıcaklığa bağlı olarak, tersinden düşünüldüğünde değişim göstermektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Katı-sıvı kristal-sıvı arasındaki faz geçişleri

Kristal fazdan sıvı kristal faza geçerken ve sıvı kristal fazdan kristal faza geçerken, T1 ve T4 (erime ve donma) noktası ile belirtilen sıcaklıklar tam olarak aynı değillerdir. Bu noktalar arasındaki fark sıvı kristaller için genellikle 0,5°C ile 3°C arasındadır. T1 ile T2 ve T3 ile T4 sıcaklıkları arasında oluşan fazlara göre değişik moleküler yönelimler gerçekleşir.

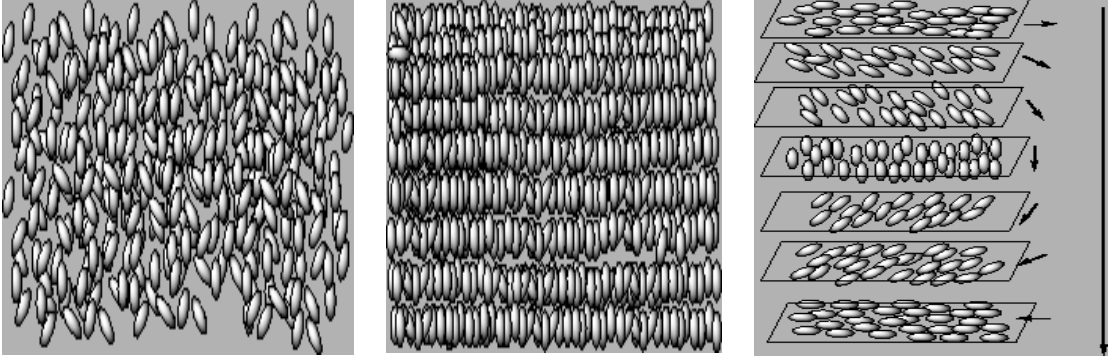
Sıvı kristallerin bu ilginç davranışını incelemek için bir kristalin erime noktasında ortaya çıkan fiziksel olayı yeniden gözden geçirelim. Kristallerde, moleküllerin kütle merkezleri üç boyutlu periyodik örgü içinde düzenli olarak

yerleşir. Bu konumsal düzenin bir sonucu olarak, bu tür yapılardan X-ışını kırınım desenleri elde edilir. Bu kristal yapı eridiğinde, uzun-menzilli konumsal düzenin ortadan kalkması ile yalnızca moleküller arası kısa-menzilli düzene karşılık gelen dağınık yansımalar gösteren X-ışını kırınım desenleri elde edilir. Bu tür bir orta ölçülebilir fiziksel niceliklerin her doğrultuda aynı değere sahip olması nedeniyle izotropik karakterdedir (Epik, 1996).

Şimdi, aynı kristal örgünün ince-uzun (çubuksu) biçimli moleküllerden oluştuğunu varsayalım. Bu kristal yapıda konumsal düzenin yanısıra moleküllerin yönelimlerinden ileri gelen uzun-menzilli bir yönelimsel düzende söz konusudur. Bu tür bir kristalin erime noktasında konumsal düzenin ortadan kalkmasına rağmen, moleküllerin yönelimsel düzeni mevcut kalabilmektedir. İşte bu düzenden dolayı, ortam akışkan niteliğinde olmakla birlikte anizotropik özellik taşımaktadır. Biraz daha ısıtmayla, her türlü simetri ve yönelim düzeninin ortadan kalkması sonucu madde tümü ile normal sıvı karaktere ulaşmış olur. Bundan dolayıdır ki, sıvı kristal faz gösteren bir madde ısıtıldığında, erime noktasında kristal yapısı bozularak bulanık bir sıvıya dönüşmektedir. Çapraz polarizörler arasında incelendiğinde, bu akışkanın kuvvetli çiftkırıcı bir özellik taşıdığı gözlenir. Sıcaklığın daha da artırılması halinde ikinci bir faz geçiş noktasına ulaşılır ki bu geçiş noktası saydamlaşma sıcaklığı olarak adlandırılır bu noktada akışkan berrak görünümlü bir sıvı kimliği kazanır (Şekil 1.2). Erime ve saydamlaşma sıcaklıkları, sıvı kristal fazın termodinamik olarak kararlı olduğu sıcaklık bölgesini tanımlar (Chandraker, 1977).

Sıvı kristaller, hem sıvı hem de kristal özelliklerini bir arada göstermelerine rağmen bazı spesifik özellikleri itibariyle sıvı ve kristallerden farklılık gösterir. Bunlar optikçe aktiflik ve renk değişikliğiyle sonuçlanan sıcaklığa duyarlılık olarak özetlenebilir.





a) Nematik

b) Simektik

c) Kolesterik

Şekil 1.2. Çeşitli fazların moleküler yönelimleri ve yerleşimleri

### 1.1.1. Sıvı kristallerin genel özellikleri

Sıvı kristaller; vizkoz, jelatimsi materyaller olup, sıcaklığı arttırılırken saydam hale dönüşerek sıvılara benzerler. İlk olarak, 1888'de Avusturyalı Botanikçi Friedrich Reinitzer tarafından keşfedilmişlerdir. Reinitzer, Cholesteryl-Benzoate incelemesinde iki farklı erime noktası gözlemlemiş ( $145^{\circ}\text{C}$ 'de kristal fazdan sıvı kristal hale ve  $178^{\circ}\text{C}$ 'de sıvı kristal halden izotropik sıvı hale geçer) ve iki yıl sonra Gatterman, P-azoxyanisole ve P-azoxyphenetole maddelerinde aynı davranışı gözlemlemiştir. Genel olarak sıvı kristal halden izotropik sıvı hale geçiş  $-30^{\circ}\text{C}$  ile  $100^{\circ}\text{C}$  aralığını kapsar (Bilen, 1994).

Diğer yandan, sıvı kristallerde katı kristallere benzer bir yönelim düzeni vardır ve bu yüzden ışığın kırılmasına ve yansımaya neden olur. Bu özelliklerinden dolayı ise kristallere benzerler. Ayrıca sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ışığın özel bir dalga boyunu kırması seçici yansıma özelliğine sahip olduğunu gösterir. En genel karakteristikleri arasında; çubuk-benzeri moleküler yapıda olmaları, uzun eksenlerinin kararlılığı, kuvvetli dipollere sahip olması veya kolay polarize olabilir özellikte olması sayılabilir.

Polarize ışıkta çift kırılma özelliğine sahip olup, girişim renkleri verebilir. Üzerine düşen ışığa göre spektrumdaki renkleri sırasıyla sergiler. Soğutmada gösterdiği renkler tersinirdir. Karakteristik yönelim düzeni, genel olarak, düzenli yapıdaki kristaller ile düzensiz yapıdaki sıvılar arasındadır. Buna mezojenik faz denir. Bu fazda moleküller sıralı düzene sahip olmasına rağmen hareketlidirler.

Sıvı kristalin özellikleri, ölçülen yönelime bağlıdır. Moleküler yönelimin genel eksenini *direktör* olarak isimlendirilir ve  $n$  ile gösterilir. Geometrik olarak anizotropiktirler. Yani sıvı kristaller optik özellikleri moleküllerin ışık kaynağına göre yönelimlerine bağlıdır.

### 1.1.2. Sıvı kristallerin sınıflandırılması

Sıvı kristaller oluşum nedenlerine bağlı olarak iki ana gruba ayrılırlar. Termotropikler ve Liyotropikler. Termotropik sıvı kristaller ince-uzun (çubuksu) yapıda veya disıvı kristal biçimindeki moleküllerden oluşan ve farklı alt gruplar içeren sistemlerdir. Liyotropik sıvı kristaller ise bir kısım amfibilik nitelikteki uzun zincirli moleküller olup, insan vücudu gibi canlı sistemlerdeki rolü oldukça önemlidir. Termotropik sıvı kristaller, ortamdaki sıcaklık değişimine bağlı olarak bazı arafazlar gösterir. Sıvı kristaller bir ortamdaki ince-uzun (çubuksu) yapıdaki moleküller, konumsal veya yönelimsel düzenlenmeler sergiler. Bu sıvı kristal grubunda simetik, nematik ve kolesterik mezofazlar yer almaktadır. Liyotrop sıvı kristallerde mezomorfik özellikler belirli sıcaklık ve konsantrasyon aralığında ortaya çıkar. Bu tür sıvı kristaller, iki veya çok bileşimli olarak malzemelerin polar veya polar olmayan sıvılardaki çözeltisinden meydana gelmektedir. (Nesrullazade ve ark., 2001).

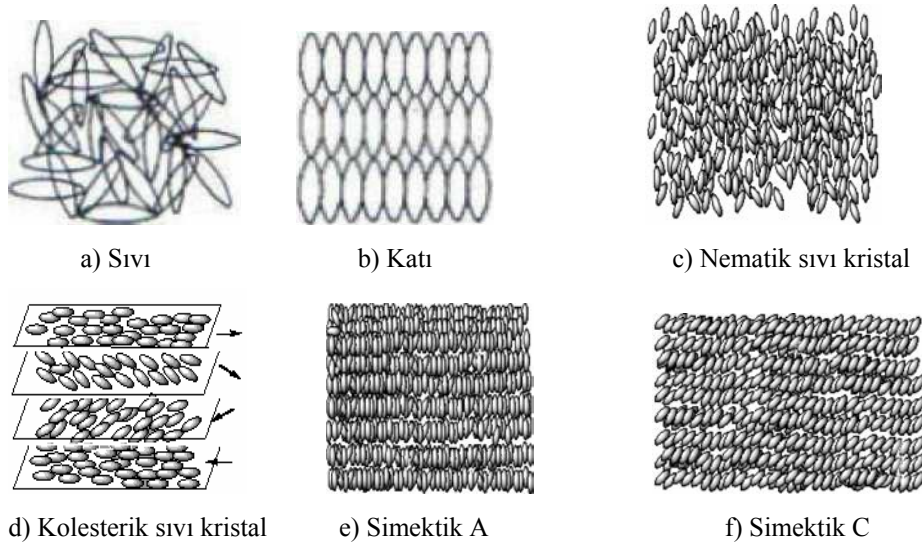
### 1.1.3. Termotropik sıvı kristaller

Termotropik sıvı kristaller bazı materyallerin katı kristallerinin kısmen erimesiyle elde edilir. Bu sistemler tekil bileşenlerden ibarettirler ve en çok bilinen maddeler organik bileşenlerdir.

Bu materyaller daha yüksek sıcaklıklarda izotropik sıvı ve daha düşük sıcaklıklarda kristal halindedir. Sıvı kristal faz, izotropik sıvıdan bulanık görünüşüyle ve kristalden de akıcı özellikleriyle ayırtd edilir. Bir kristal yapıda konumsal düzenin yanı sıra moleküllerin yönelimlerinden ileri gelen uzun menzilli bir yönelimsel düzen de söz konusudur.

Bu tür bir kristalin erime noktasında konumsal düzenin ortadan kalkmasına rağmen, moleküllerin yönelimsel düzeni mevcut kalabilmektedir. İşte bu düzenden dolayı ortam akışkan niteliğinde olmakla birlikte anizotropik özellikler taşımaktadır. Biraz daha ısıtmayla, her türlü simetri ve yönelim düzeninin ortadan kalkması ile madde tümüyle normal sıvı karaktere ulaşmış olur. Malzemenin mezomorfik özelliklerine sahip olması için iki koşul gerçekleşmelidir; moleküller çubuk biçimli ve geometrik anizotrop olmalıdır. Bu moleküllerin merkezinde veya merkez yakınında çoğu kez yüksek, kenarlar tarafında daha düşük dipol momentleri vardır. Dipoller arasındaki çekici kuvvetler moleküllerin birbirine yakın ve paralel olarak düzenlenmesine neden olur ve bu kuvvetler hidrojen bağlarıyla ve dağılım kuvvetleriyle birlikte sıvı kristal yapının oluşmasına yol açar, (Nesrullazade ve ark., 2001).

Termotropik sıvı kristaller; simektikler, nematikler ve kolesterikler olmak üzere üç guruba ayrılırlar. Şekil 1.3'de normal sıvı, katı ve termotropik sıvı kristal yapıların molekülleri görülmektedir (Özgan ve Yazıcı, 2003).



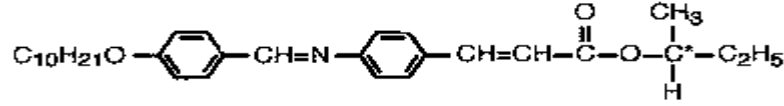
Şekil 1.3. Çeşitli fazlarda sıvı kristal moleküllerin dizilişi

### 1.1.3.1. Nematik sıvı kristaller

a) **Nematik yapı:** Nematik adı, bu tür yapıların polarize bir mikroskop

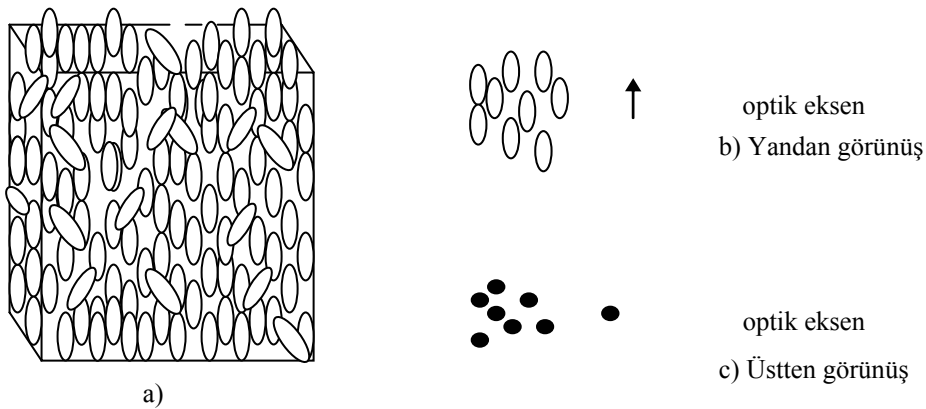
altında gösterdikleri iplikli görünümünden dolayı, iplik anlamına gelen Grekçe bir sözcükten türetilmiştir. Nematik sıvı kristal faz, hiçbir yerleşim düzenine sahip olmayan fakat aynı istikamette (direktör boyunca) yönelmeye meyilli moleküller tarafından karakterize edilmiştir (Şekil 1.3c).

Nematik sıvı kristallerin en belirgin özelliği, ortam içinde uzun-menzilli bir yönelim düzeninin mevcut olmasıdır. Moleküllerin uzun eksenleri ortaklaşa olarak bir n yön vektörü (direktörü) boyunca dizilirler. Sıvı kristaller sıvılardan farklı olarak anizotrop özellik sergilerler. Örneğin; p-azoksinadol (PAA) bileşiği 117 °C-137 °C arasında nematik sıvı kristal faz gösterir (Şekil 1.4). Nematik sıvı kristaller sıvılardan farklı olarak anizotrop özellikler de sergiler. Örneğin, PAA için optik eksene paralel ve dik doğrultuda ölçülen optik kırılma indisleri arasındaki fark 117°C ta 0,268'dir (Nesrullazade ve ark., 2001).



Şekil 1.4. P-azoksinadol (PAA) bileşiği

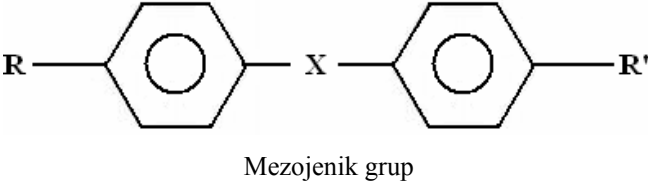
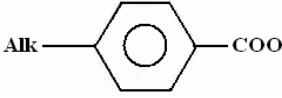
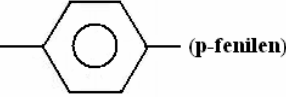
Nematik sıvı kristal fazda, moleküller genel olarak belirli bir yön boyunca dizilirler, moleküller aynı yönelime sahiptirler ve uzun eksenleri doğrultusunda birbirine paraleldirler ve kutu içindeki kibrit çöplerine benzetilebilirler (Şekil 1.5). Molekülleri uzun eksenleri yönünde dönebilir ve her yönde hareket edebilirler. Şekil 1.5'te çeşitli yönlerden molekül düzeni ve optik eksenleri gösterilmiştir.



Şekil 1.5. a) Nematik Yapıdaki moleküllerin dizilişi. b) ve c) Nematik yapıdaki moleküllerin çeşitli yönlerden görünüşü ve optik eksenleri

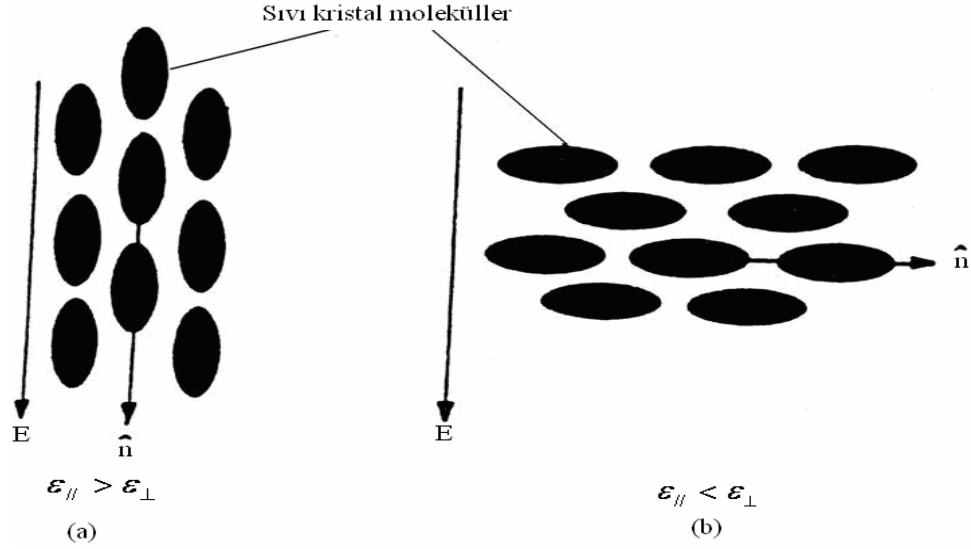
Nematik fazlar, yüksek sıcaklıkta mezofaz oluşturan termotropik sıvı kristallerdir. Daha yüksek sıcaklıklara ısıtmakla izotropik sıvı elde edilebilir. Herhangi bir maddenin nematik sıvı kristal olabilmesi için genel olarak yapısında bir ana gurup, iki de terminal gurup olması gerekir (Çizelge 1.1) (Değirmenci, 1996).

Çizelge 1.1. Nematik sıvı kristalin şematik gösterimi

 Mezojenik grup		
R	X	R'
Alkil	-CH=N-(imino)	Alkil
Alkoksi	-N=N-(Azo)	CN
Alk-COO	-COO-(Ester)	Br
----	-CH=CH-(Transvinilen)	NO <sub>2</sub>
		----

Nematik sıvı kristal ortam çiftkırıcı bir özellikte olup, optik eksen doğrultusu ( $\hat{n}$  direktörü) ve buna dik doğrultuda ölçülen kırılma indisleri arasında belirgin bir fark ortaya çıkmaktadır. Madde, sıvılara ait tüm akışkanlık davranışlarını göstermekle beraber, elektrik, manyetik ve optik özelliklerinde belirgin bir anizotropi sergiler. Nematik sıvı kristallerin optik özellikleri, elektrik ve manyetik alan gibi dış etkilere karşı son derece duyarlıdır. Bu tür ortamlardaki moleküler yönelimin bir elektrik alan tarafından değişebilmesi maddenin optik özelliklerindeki sözünü ettiğimiz anizotropiden ileri gelmektedir, genel olarak sürekli veya indüklemeli elektrikselsel dipol momente sahip moleküller, hangi fazda olurlarsa olsunlar uygulanan bir alan boyunca yönelmek eğilimindedirler. Sıvılarda moleküllerin düzensiz hareketleri alan boyunca yönelme şansını ortadan kaldırırken, katılarda moleküller arası bağ kuvvetlerinin güçlü olması nedeniyle istenilen türde bir yönelim engellenebilir. Oysa nematik sıvı kristal ortamdaki moleküller, yönelimlerinde serbest olmakla beraber moleküller arasında ortaklaşa bir yönelim düzeninin olması uygulanan bir elektrik alana karşı bir tepki göstermelerine neden olur.

Dielektrik sabiti, uygulanan alan ile sıvı kristal madde arasındaki etkileşimin ölçüsüdür.  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{//} - \varepsilon_{\perp}$  ortamın dielektrik anizotropisidir. Burada  $\varepsilon_{//}$  ve  $\varepsilon_{\perp}$  elektrik alana paralel ve dik doğrultularda ölçülen dielektrik sabitlerdir.  $\Delta\varepsilon > 0$  ise direktör elektrik alana paralel  $\Delta\varepsilon < 0$  ise alana dik yönelir (Şekil 1.6).

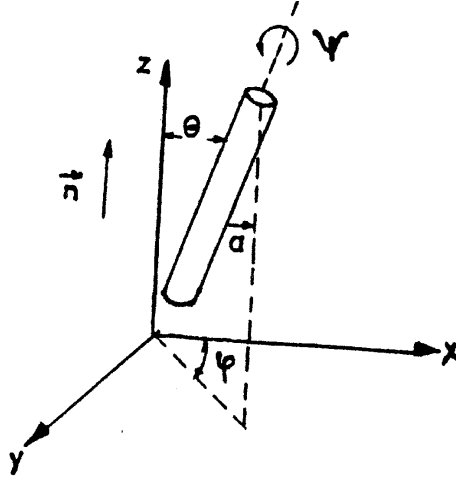


Şekil 1.6. Moleküler yöneliminin uygulanan elektrik alana göre;  
a) paralel b) dik olma durumu

Nematik sıvı kristal üzerine bir dış elektrik alan uygulandığında, ortamdaki esneklik kuvvetleri moleküllerin önceki konumunu almaya zorlar. Böyle bir değişim için, uygulanan elektrik alanın bir eşik değeri söz konusudur. Nematik sıvı kristaller günümüzde elektro-optik olaya dayanan birçok cihazda yaygın olarak kullanılmaktadır. Nematik sıvı kristal ortamdaki elektro-optik olayın temel ilkesi, yönelmiş ince sıvı kristal tabakası elde etmek ve daha sonra bir elektrik alan uygulayarak bu yönelimi dolayısıyla optik özellikleri değiştirmeye dayanmaktadır. Günümüzde en çok bilinen sıvı kristal türü *bükümlü nematik* (twisted nematic) olayına dayanmaktadır. Bunun için yüzey etkinlik işlemi uygulanmış iki cam levha arasına sıvı kristal madde konulduğunda, moleküller cam levha yüzeylerinde birbirlerine 90-derecelik bir bükülme açısı ile yönelirler. Şeffaf iletken kaplama yapılan cam levhalar, iki polarizör arasına yerleştirilir. Oluşan sandwich tipi bükümlü nematik yapı, üzerine gelen ışığın polarizasyon doğrultusunu çevirir ve moleküllerin yönelim eksenini izleyen ışık hücreden geçer, ortam şeffaf görünür.

Sıvı kristal hücreye bir elektrik alanı uygulandığında, moleküllerin alan doğrultusunu almaları sonucu, gelen ışığın polarizasyonu değişmez ve ortam karanlık görünür. Böylece, uygun tasarımı yapılan bir sayısal cihaz elde edilir.

**b) Yönelimsel Düzen:** Nematik sıvı kristaller genellikle rijid çubuklar olarak kabul edilen moleküllerden oluşmaktadır. Söz konusu moleküller, uzun eksenlerinin birbirine paralel olduğu bir doğrultu boyunca yönelme eğilimi gösterirler. Bir nematik sıvı kristali kristal yapı katıdan veya izotropik bir sıvıdan ayırt edebilmek için, ortamdaki moleküllerin bu uzun menzilli düzenlenmelerini S gibi bir düzen parametresi ile tanımlamak mümkündür. Böylece tam düzenli bir sistem için (kristal)  $S = 1$ , tam düzensiz bir sistem için (sıvı),  $S = 0$  olmak üzere, S ortamdaki sıcaklık değişimlerine bağlı olarak, bu değerler arasında değişmektedir. Çubuksu yapı moleküllerin bu uzun menzilli düzenlenme derecelerini tanımlayan S niceliğini bir bağıntı ile verebilmek için, Şekil 1.7'deki gibi tek bir molekülün durumunu göz önüne alabiliriz.



Şekil 1.7. Sıvı kristal ortamdaki bir molekülün herhangi bir andaki konumu

Şekilde a molekülün uzun eksenini,  $\theta$  bu eksen ile direktör arasındaki açıyı ve  $\varphi$  moleküllerin dönme hareketlerine karşı gelen açıyı temsil etmektedir. Böylece,

$$a_x = a \sin \theta \cos \varphi \quad (1.1)$$

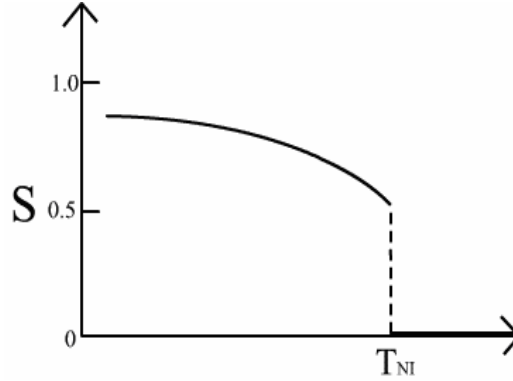
$$a_y = a \sin \theta \sin \varphi \quad (1.2)$$

$$a_z = a \cos \theta \quad (1.3)$$

yazılabilir. Nematik faz gösteren bazı moleküllerin sürekli elektrik dipolleri taşıması nedeniyle, tek bir molekül için  $n$  ve  $-n$  doğrultuları eşit alınırsa  $S$  düzen parametresi

$$S = \int \frac{1}{2} (3 \cos^2 \phi - 1) f(\phi) d\Omega = \frac{1}{2} \langle (3 \cos^2 \phi - 1) \rangle \quad (1.4)$$

bağıntısı ile verilir. Bağıntıdaki köşeli parantezler istatistik ortalamayı belirtmektedir. Sıvı kristal ortamdaki moleküller gerek termal dalgalanma hareketlerinin, gerekse dış kuvvet veya alanların etkisi nedeniyle ideal bir yönelim düzeni gösteremezler. Yine de simektik sıvı kristallerde moleküllerin tümüyle aynı doğruda yönelmeleri nedeniyle  $S = 1$  kabul edilir. Nematik fazda ise,  $S$ 'nin sıcaklık değişimine bağlı olarak 0.8-0.3 arasında değiştiği görülür. Düzen parametresi moleküllerin kinetik hareketlerinin bir sonucu olarak ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir (Şekil 1.8).

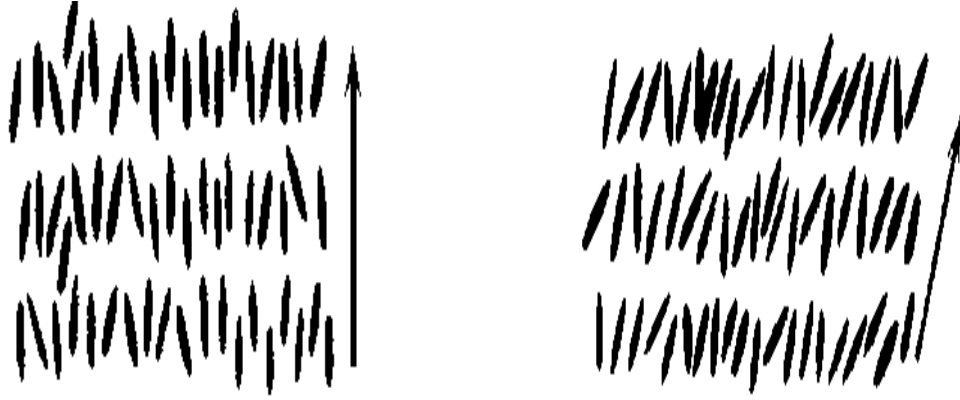


Şekil 1.8. Düzen parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi

### 1.1.3.2. Simektik sıvı kristaller

Simektğin ( $S$ ) anlamı yağ gibi veya kaygan bir balçık anlamına gelir. Bu yapıdaki moleküller, moleküllerin uzun eksenlerinin birinin diğerine paralel olduğu katmanlar halinde dizilmişlerdir (Şekil 1.9). Moleküller, katmanlar içinde hareket ederler, fakat katmanlar arası edemezler. Moleküller, yüzeye dik durumda dizilmiş ise, oluşan yapı simektik A fazıdır ve  $S_A$  ile gösterilir. Eğer moleküller yüzeye belli bir açı ile dizilmişlerse, C türünde bir simektik yapı oluşur ve  $S_C$  ile gösterilir.





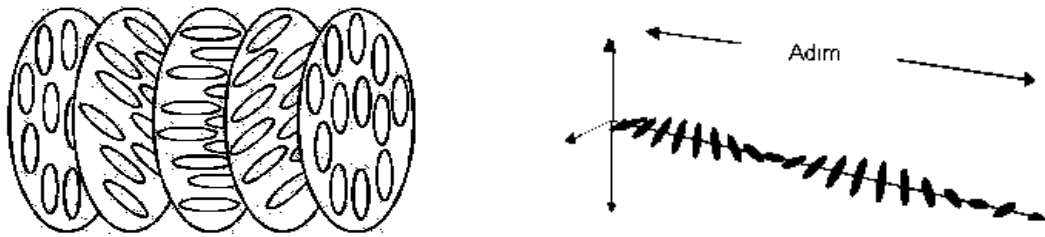
a) Simektik A düzeni

b) Simektik C düzeni

Şekil 1.9. Simektik sıvı kristallerde moleküler dizilişin şematik gösterimi

### 1.1.3.3. Kolesterik-nematik sıvı kristal

Bu yapı nematik (N) yapıya benzediğinden kolesterik (K) -nematik sıvı kristaller denmiştir. Bu yapıdaki sıvı kristal özellik ilk olarak kolesteril esterinde görülmüştür. Bu yapıda her bir tabakadaki moleküllerin yönelimi, alt ve üst tabakadakilerden farklıdır. Kolesterik-nematik yapılı sıvı kristaller ya doğrudan optikçe aktif organik bileşiklerden ya da bileşiklerle nematik sıvı kristallerin karışımlarından oluşur. Bu karışımlar burularak üst üste eklenmiş nematik plakalar şeklinde olup, heliks şeklindeki bu yapının ana taşlarına *helikal boy* denilmektedir (Şekil 1.10).



a) Şematik Gösterim

b) Eksen Gösterimi


Şekil 1.10. Kolesterik-nematik sıvı kristalin gösterimi

Kolesterik ile nematiklerin termodinamik özellikleri benzerdir. Isıtılan bir maddenin S-N veya S-K faz geçişleri görülmüştür. Ancak N-K faz geçişleri görülmemiştir. İkisi de spiral yapıya sahiptir. Kolesterik yapıda spiral eksene dik bir elektrik veya manyetik alan uygulanırsa kritik bir değerden sonra spiral yapı bozulur ve nematik yapıya dönüşür.

### 1.1.4. Faz geçişleri

Termal sıcaklığın düşürülmesine bağlı olarak, izotropik fazdan nematik faza geçiş gözlenir. Moleküler simetrinin gereği olarak izotropik fazdan nematik faza geçişte *birinci dereceden geçiş* gözlenir. Bunun nedeni ise izotropik ile nematik geçiş sırasında entalpinin yüksek, entropinin düşük olmasıdır. İzotropik sıvı ile simektik A fazı arasındaki geçişler yine *birinci dereceden geçişler*dir. Nematik fazdan simektik-A fazına geçişte hem *birinci dereceden* hem de *ikinci dereceden* geçişler vardır (Özgan, 2003). Bu geçişler özellikle nematik fazın genişliğine, yönelim düzeni (orientational order) ve yerleşim düzenine (positional order) bağlı geçişlerdir. Sıcaklığın düşürülmesine bağlı olarak simektik fazdan hegzatik faza, hegzatik fazdan da sıvı kristallerin sahip olmuş olduğu en kararlı faz olan kristal fazlara geçişler gözlenir (Pershan, 1988) (çizelge 1.2.).

Çizelge 1.2. Sıcaklığın değişimine göre faz durumları

Sıcaklık	Faz	Düzen tipi	Sembol
Yüksek sıcaklık  Düşük sıcaklık	İzotropik	–	I
	Nematik	Yönelim düzeni	N
	Smektik A	Yerleşim düzeni	SmA
	Hegzatik B	Düzlemde uzun erimli (zincir)	He gB
	Kristal B	Düzlemde kısa erimli	KrB
	Kristal E	Düzlemde uzun erimli	KrE

Bu diyagramda; fazların aşağıdan yukarıya çıktıkça simetrisi yükselir düzeni azalır, yukarıdan aşağı inildikçe simetrisi azalır düzeni yükselir.

## 1.2. Elektrooptik Etkiler

### 1.2.1. Sıvı kristallerde elektrooptik etkiler

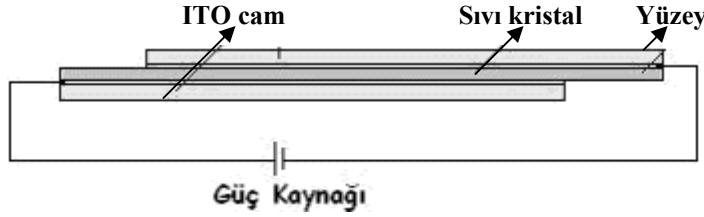
Elektrik alanının uygulanması ile optik özelliklerinin değişmesi olayına elektrooptik etki denir. Elektrooptik özellikler ilk kez 1971 yılında Schadt ve Helfrich tarafından uygulanmıştır. Sıvı kristal malzemelerin elektro-optik özellikleri geniş ölçüde, endüstriyel bir etki olan düz gösterge teknolojilerinin gelişmesine

katkıda bulunarak diğer orijinal uygulamalarla ortaya çıkar. Sürekli elektriksel çift kutupluluğa sahip bir sıvı kristal molekülüne bir elektrik alan uygulama, dipol (iki kutuplu molekül)ü elektriksel alanla aynı yönde uzanmaya sevk eder. Eğer molekül orijinal olarak bir dipole sahip değilse, elektriksel alan uygulandığı zaman aynı şekilde davranmaya ikna edilir. Bu durumların her ikisi de sonuçta sıvı kristal direktörünü, uygulanmış olan elektriksel alanla aynı yöne getirme etkisine sahip olur. Kristal içinde bunu yerine getirmek için sadece çok zayıf bir elektriksel alana ihtiyaç duyulur. Katılarda, bir elektriksel alan uygulama çok az bir etki meydana getirir. Çünkü moleküller diğer moleküllerle olan bağları tarafından yerlerinde tutulur. Sıvılarda, molekülün yüksek kinetik enerjisi, basitçe bir elektriksel alan uygulayarak onların yönlendirilmesini imkansız kılar.

Sıvı kristal moleküllerine dik elektriksel dipol, molekülün genişlik ve uzunluğu boyunca derece derece değiştiği için, direktörü yönlendirmek amacıyla bazı tür sıvı kristaller daha düşük elektriksel alan gerektirirken, bazıları çok daha büyük elektriksel alan gerektirir. Alan şiddetine karşı birim kristal hacmi başına elektriksel dipol oranına *Elektriksel duyarlılık* adı verilir ve materyali elektriksel olarak polarize etmenin ne miktar kolay olduğunun bir ölçüsünü sağlar. Sıvı kristallerin çift kırılma (birefringence) özelliğine sahiptir. Bunun anlamı, farklı iki kırılma indisine sahip olmasıdır. İndisin biri sıvı kristal direktörü boyunca polarize olan ışığa uygun düşer. Diğeri ise direktöre dik olarak polarize olan ışık içindir. Belli bir yönde yayılan ışık, bu yöne dik elektriksel ve manyetik alan bileşenlerine sahiptir. Direktörün ışığının yayılma yönüne dik uzandığını varsayarsak, biz her bir bileşeni biri kristal direktörüne paralel, diğeri kristal direktörüne dik iki bileşenden teşekkül etmiş gibi düşünebiliriz. İster elektriksel, ister manyetik alanın bu iki bileşeni sıvı kristal içinde farklı hızlarda yayılacaklardır, dolayısıyla onlar kristalden çıktıkları zaman faz dışında olmuş olacaklardır. Eğer biz ışığı sıvı kristale girmeden önce lineer olarak polarize edersek, bu şu anlama gelir: ışığın elektriksel ve manyetik bileşenlerinin sadece bir yönde salınımda bulunmasına izin vermiş oluruz. Daha sonra ışık sıvı kristali terk ettiği zaman lineer olarak polarize olmayacaktır (Kristal direktörüyle polarizasyon yönü arasındaki açı  $0^\circ$  veya  $90^\circ$  olmamak şartıyla). Bu durum, ışığın direktöre dik bileşeninin direktöre paralel bileşeninden ileri olması

nedeniyedir. Fazdan ne kadar uzak olduklarına bağlı olarak bu iki dalga, dışarı çıktığı zaman (ki bu kristalin kalınlığına bağlıdır) yeniden lineer olarak polarize olabilen ışık veya daha muhtemelen eliptik şekilde polarize (ışığın polarizasyonunun herhangi bir şekilde yayılma yönü çevresinde döndüğü durum) olacak ışık şeklinde sonuçlanırlar.

Elektro-optik etkiler elektrik alan etkisi altında sıvı kristal moleküllerin yönelimlerinin değişmesi sonucu ortaya çıkar. Bu etkilerin incelenmesinde, hazır olarak iletken kaplanmış İndium Tin Oxydeler (ITO) kullanılabileceği gibi, dışardan düzgün bir elektrik alan oluşturulabilir. İndiyum kalay oksitler ile hazırlanan slayt arasına incelemek istediğimiz numuneyi yerleştirip, kaplanmış yüzeye kontak yapmak suretiyle elektrik alan ortamı oluşturmak mümkündür (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. İndiyum tin oksit ile numune slayt hazırlanması

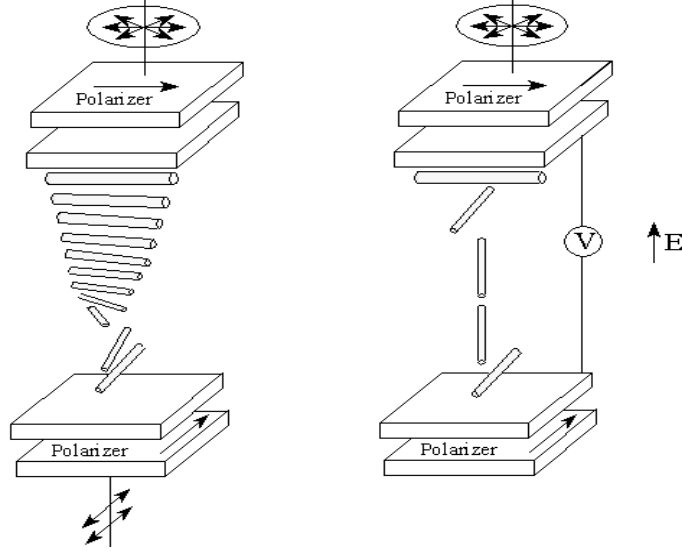
Dış elektrik alanla moleküler yönlendirme yapmak mümkündür. Oluşturulan düzgün elektrik alan özellikle faz bölgesinde materyalin anizotropisini değiştirecektir. Bu da optik malzemelerin işleminde önemli bir etkidir.

## 1.2.2. Nematik ve burkulmuş nematik kristallerde elektro-optik özellikler

### 1.2.2.1. Burkulmuş nematik sıvı kristaller

Burkulmuş nematik ve nematik sıvı kristal moleküllerin elektro-optik özellikleri incelenirken sıvı kristaller birbirlerine dik açılarda yönlendirici ve analizörden oluşan tabakanın arasında yerleştirilir. Moleküller, başlangıçta kıvrılmış yapıya sahiptir. Işık şekilde gösterilen yol boyunca moleküllerin kıvrılan yönünü izler. Çapraz yönlendiricinin arasında bir kristal yerleştirdiğimiz zaman bu iletimi

gözleyebiliriz. Çünkü ışık, artık tamamen çapraz yönlendiriciler ile engellenmediği için kırılır ve yönlenir. Eğer kristale bir elektrik alan uygulanırsa, sıvı kristal molekülleri, malzeme boyunca uygulanan alana paralel sıralamaya başlar. Moleküller artık, ışığı yönlendiremez. Bu olayda çapraz yönlendiriciler etkili olarak, ışık geçişine engel olur ve analizör siyah renkli gözükür (Thamoas ve ark., 1995) (Şekil.1.12).



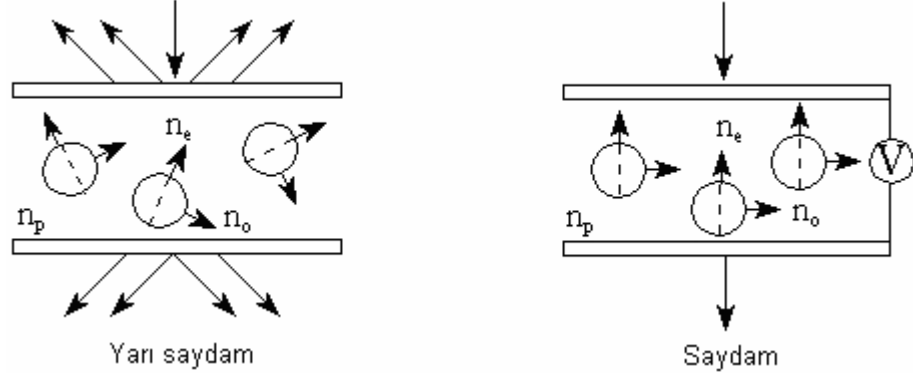
(a) Elektrik alan yokken (b) Elektrik alan uygulandığında  
Şekil 1.12. Elektrik alan uygulanmasına göre ışığın geçişi ve polarizasyonu

### 1.2.2.2. Dağıtıcı polimer nematik kristaller

Sıvı kristal göstergelerin diğer tipi, *dağıtıcı polimer nematik kristaller*'dir. Göstergenin bu tipi, çift kırılma özelliğinin kullanımından kaynaklanır. Bir dağıtıcı polimer nematik kristalle bu özelliği göstermek için, sıvı kristal malzemesi ile bir polimer karıştırılır ve iletken iki cam lamel arasında yerleştirilir. Polimer ve sıvı kristal karışımı ilk olarak berrak bir renkte gözükür, fakat karışım zamanla matlaşır. Çünkü polimerin uzun zincirleri ile sıvı kristal molekülleri birbirinden ayrılmaya başlar. Sıvı kristal molekülleri, küçük damlacıklar oluşturur, bu ise polimer molekülleriyle birleşmesine engel olur. Karışımın mat görünüşü, sıvı kristalin ve polimerin kırılmanın iki farklı indisi olduğu gerçeğine dayanır.

Yayılan ışık, malzeme boyunca dağıtılır. Bu olgu, malzemelere bulutsu veya mat bir görünüş verir. Eğer bir elektrik alanı, aşağıdaki diyagramda olduğu gibi

uygulanırsa (Şekil.1.13) sıvı kristal damlacıkları, alana paralel yönelir. Sonuç olarak, sıvı kristalin kırıcı indisi polimere daha yakındır ve gösterge, saydam olur çünkü çift kırınımın etkisi kaybolur (Collings,1990).



Şekil.1.13. Dağıtıcı polimer ortama göre ışığın geçişi

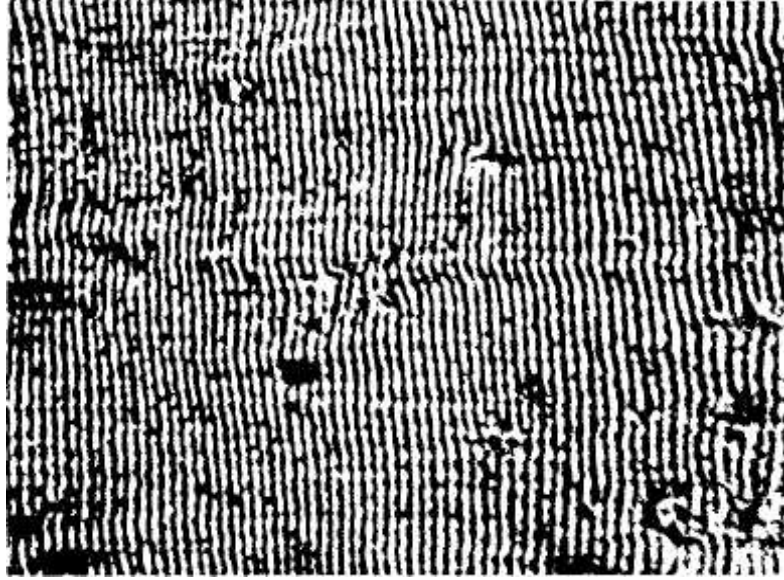
### 1.2.3. Nematiklerde elektro hidrodinamik kararsızlık

Elektro hidrodinamik kararsızlıkta sıvı kristal tabakasından geçen akım ve hacim içinde düzgün dağılmamış yük önemli rol oynar. Elektrik alan etkisi altında bulunan sıvı kristale hidrodinamik hücreler büyümeye başlar. Bu arada, elektro hidrodinamik kararsızlığının oluşmasında iki mekanizmayı bilmek gerekir. Bunlardan birisi, sıvı kristalin anizotrop özelliklerine bağlı olan geçirgenliği veya Carl-Helfrich mekanizması, ikinci ise, değişen alandaki dielektrik özellikler ve sabit alandaki Felici mekanizmasıdır.

Çoğu kararsızlık durumunda optik davranışlarda birbirlerine benzerlik vardır. Öyle ki, dielektrik özelliklerde sınır alanının  $E_s$  belli büyüklüğü varken geçirgenlik durumunda sınır gerilimi  $V_s$  vardır.  $V > V_s$  ve  $E > E_s$  değerlerinde sıvının harekette olmasından dolayı sıvı kristal yapıda durağan ve periyodik bozulmalar meydana gelir. Söz konusu bozulmaların sonucunda bölgelerin (domen) meydana geldiği gözlenir. Gerilim arttıkça, sıvıdaki katmanlı yönelimler yerini düzensiz yönelimlere terk eder ve bölgelerin oluşumu, sıvının kaynaması şeklinde gözlenir. Elektro hidrodinamik kararsızlığına ve ışığın dinamik saçılma etkisine daha ayrıntılı bakıldığında;  $\Delta\epsilon < 0$  durumunda ve nematiklerde düzlemsel desene değişken elektrik

alan uygulandığında iki tür elektro hidrodinamik kararsızlığı oluştuğu görülür. Bu kararsızlıklar kritik frekans  $f_k$  ( $\sim 1/\tau$ ) ile orantılıdır (Nesrullazade ve ark, 2001).

$F_k$ 'nın büyüklüğü materyalin iletkenliğine bağlıdır. Yeterince düşük frekanslarda ( $f < f_k$ ) yükler, alanın değişimine ulaştığında aynı zamanda sabit alanda Williams-Kapustin bölgeleri gözlenir (Şekil 1.14). Bu şerit türü bölgeler,  $n$  yön vektörünün önceki yönelimine dik yönde ortaya çıkarlar ve polarizasyon yüzeyi yön vektörü yönü ile aynı olan polarize ışıkta iyice görünürler. Işığın polarizasyonu yüzeyin yönelimi değiştiğinde, bölgeler görünmeyecektir. Böylece, ışıklı ve koyu şeritlerin sıralanmasının nedeni, olağan dışı ışığın kırılma indisinin modülasyonudur. Söz konusu modülasyon, aynı yüzeylerde yön vektörünün periyodik değişimine bağlıdır. Williams-Kapustin bölgelerinin oluşması için kritik gerilimin büyüklüğü birkaç voltur ve bu gerilim materyalin frekansına bağlıdır (Nesrullazade ve ark, 2001).



Şekil 1.14. Geçirgenlik durumundaki elektro hidrodinamik kararsızlıkta Williams –Kapustin bölgeleri

Nematiklerin elektrik alandaki bulunma tarzına etki eden önemli faktör, elektrik iletkenlik anizotropisidir. Sıvı kristallerdeki elektrik iletkenliği iyon karakterli olup her zaman direktör vektörü yönündeki iletkenlik dik yöndeki iletkenlikten büyüktür ve yönelimler nematik moleküllerinin yönelimine etki eder.

Öte yandan, nematik tabakasında değişik nedenlerle, uzaysal yük gelişir. Bu yük, direktör vektörünün önceki yönünde ek alan oluşturur. Böylece, söz konusu bölgede uygulanan alanın ve uzaysal yükün oluşturduğu alanların toplamı ortaya çıkar. Bu toplam alan nematik moleküllerin toplam alanının şiddet vektörüne dik yönde dizilmesine neden olur. Böylece nematik moleküllerden meydana gelen deformasyon ve artırıcı yönde dizilmesine zorlayan dipol momentleri oluşur. Bundan dolayı, alan yönelim etkilerinin ve hidrodinamik hücrelere bağlı olan yönelim etkilerinin arasında etkileşim ortaya çıkar. Böylece Williams-Kapustin bölgeleri ortaya çıkacaktır. Işığın dinamik saçılması optiksel yeni bir haldir ve bu halde nematik moleküllerin uzun erimli dizilimleri tümüyle bozulur. Bu, optiksel olarak, önce şeffaf olan yassı tabletteki sıvı kristal sınır geriliminden itibaren yüksek gerilim uygulandığında saçıcı hale dönüşür. Örneğin dinamik saçılma bulunması için ışığın polarize olmasına gerek yoktur. Dinamik saçılma etkinin yanıt zamanı gerilimin artması ile  $\tau \sim V^{-2}$  yasasına göre hızlı azalmaktadır. Reaksiyon zamanı ise gerilimden bağımsız veya çok az olarak gerilime bağlıdır.

### 1.3. Sıvı Kristallerde Esnek Şekil Değişimleri

Nematik sıvı kristaller yönelimsel düzen, eş-eksenli (silindirik) bir simetriye sahip olup, simetri ekseni direktöre paraleldir. Şimdi çok sayıda molekülden oluşan nematik sıvı kristal bir ortam içinde yine çok küçük bir uzay bölgesini göz önüne alalım. Öyle ki, uzun menzilli yönelimsel düzen yine bu bölge içinde mevcut olsun. Böyle bir uzay bölgesi içinde, moleküller yönelimsel simetrisinin lokal ekseni boyunca dizilmişlerdir.

Eğer, tüm makroskobik ortamı bu tür küçük bölgelere ayırırsak, herbir bölge için bir yönelimsel doğrultu tanımlama gereği ortaya çıkar. Bu anlamda, makroskobik ortamdaki yönelimsel düzeni bir  $(\hat{r})$  direktör alanı ile temsil edebiliriz. İlk olarak direktör alanındaki bir deformasyona karşı gelen serbest enerji ifadesini incelemeye çalışalım. Süreklilik teorisinde, ilk önce sıvı kristal ortamının denge halinde olduğu kabul edilir. Nematik sıvı kristal ortamdaki bütün bölgesel yönelim



doğrultularının birbirlerine paralel olarak dizilimleri, denge halini yani minimum serbest enerji halini temsil etmektedir. Bununla birlikte, bir dış alanın uygulanması, sıvı kristal maddenin içinde bulunduğu kabın duvarları ile etkileşimi veya termal etkiler nedeniyle, ortam içindeki söz konusu lokal doğrultular değişebilecektir.

Bunun niceliksel anlatımı  $\frac{dn_\alpha}{dx_\beta}$  denge hali için sıfır, ancak sistem bozulduğunda ise

sıfırdan farklı olmaktadır. Burada  $x$  uzaysal değişken;  $\alpha, \beta = 1, 2, 3$  alt indisleri ise Kartezyen koordinat sisteminde üç dik eksen boyunca olan bileşenlerin belirtmektedir. O halde  $dn_\alpha/dx_\beta$ 'yi bozulma parametreleri olarak düşünebiliriz. Bu durumda  $\frac{dn_\alpha}{dx_\beta} = 0$  hali, düzgün bir yönelimin olduğu denge halidir. Bozulmuş halin

serbest enerji yoğunluğu,

$$F_d = F_0 + \Delta F \quad (1.5)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $F_d$  ve  $F_0$  sırasıyla bozulmuş ve denge hallerine karşı gelen serbest enerji yoğunluğudur.  $\Delta F (>0)$  terimi,  $n_\alpha$  ve  $\frac{dn_\alpha}{dx_\beta}$  'nın fonksiyonu olup

denge halinde ortadan kalkmaktadır.  $F_d$  terimini ifade edebilmek amacıyla,  $\frac{dn_\alpha}{dx_\beta}$  'yı

serbest enerjinin minimum olduğu denge konumu civarında kuvvet serileri şeklinde yazdığımızda, sıfırdan farklı en küçük dereceden terimlerin  $\frac{dn_\alpha}{dx_\beta}$  'nın kuadratik

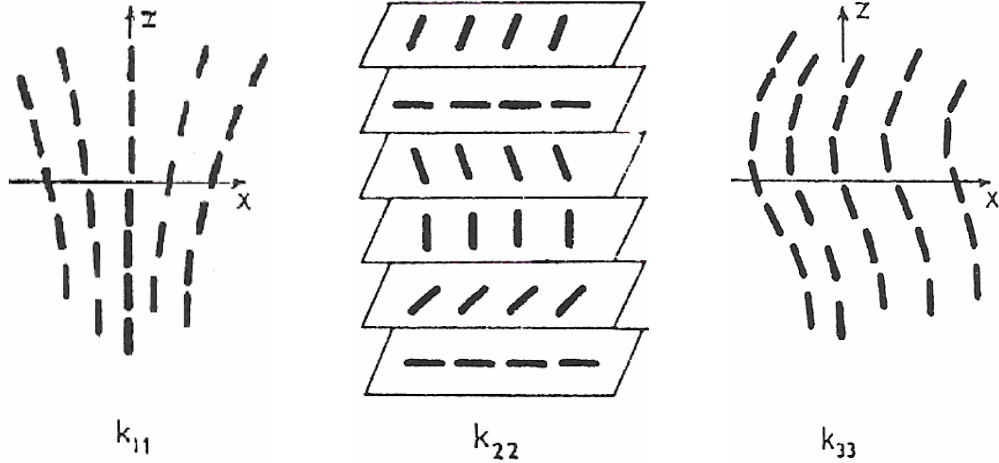
(ikinci dereceden) formuna sahip terimler olduğu görülür. Ayrıca, sıvı kristal bir ortam için  $n$  ve  $-n$  konumları fiziksel olarak eşdeğer olduğundan (yani direktörün başı ve kuyruğu aynı hali temsil ettiğinden)  $F_d$   $n_\alpha$ 'nın karesi ile orantılı olan sıvı kristaller nicelik olarak karşımıza çıkmaktadır.  $F_d$  teriminin,  $n(\vec{r})$  direktör alanındaki bozulmalarla ilişkisi olması nedeniyle, sıvı kristal bir ortamda meydana gelebilecek başlıca esnek şekil değişimlerinin tanımlanması gerekmektedir. Sıvı kristal nematik bir ortamda gözlenebilen esnek şekil değişimleri, ilk kez Frank tarafından yapılan orijinal adlandırmaya uygun olarak, *açılma* (splay), *burulma* (twist) ve *eğilme* (bend) türü şekil değişimleri olup (Şekil 1.15);  $n/z$  olmak üzere,  $xyz$  kartezyen koordinat

sistemindeki bileşenleri  $\frac{dn_\alpha}{dx_\beta}$  aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\text{açılma (splay)} \quad s_1 = \delta n_x / \delta x \quad s_2 = \delta n_y / \delta y \quad (1.6)$$

$$\text{burulma (twist)} \quad t_1 = -\delta n_y / \delta x \quad t_2 = \delta n_x / \delta x \quad (1.7)$$

$$\text{eğilme (bend)} \quad b_1 = \delta n_x / \delta z \quad b_2 = \delta n_y / \delta z \quad (1.8)$$

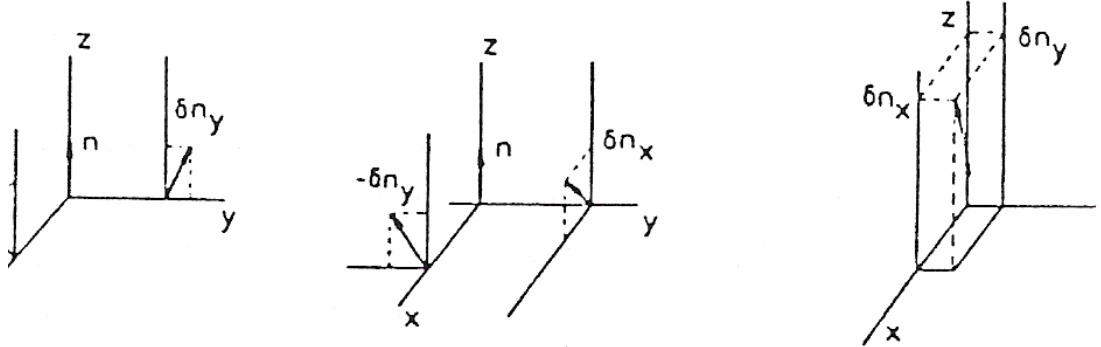


a) açılma

b) burulma

c) eğilme

Şekil 1.15. Sıvı kristal bir ortamda ortaya çıkabilecek esnek şekil değişimleri



a) açılma

b) burulma

c) eğilme

Şekil 1.16. Sıvı kristal ortamdaki esnek şekil değişimlerinin xyz koordinat sistemindeki bileşenleri

Nematik sıvı kristal bir ortam için serbest enerji ifadesini ortam içindeki esnek şekil değişimlerini

$$F_d = \left[ k_{11} (\text{div}n)^2 + k_{22} (n \cdot \text{rot}n)^2 + k_{33} (n \times \text{rot}n)^2 \right] \quad (1.9)$$

biçiminde ifade edilebiliriz. Burada ilk terim *açılma*, ikinci terim *burulma* ve son terim *eğilme* türü direktör şekil değişimlerini temsil etmektedir.  $k_{ii}$  ( $i=1,2,3$ ) sırasıyla *açılma*, *burulma* ve *eğilme* esneklik sabitleri olup, topluca Frank esneklik sabitleri olarak adlandırılmaktadır. (1.9) bağıntısı, esnek bir cisim, örneğin bir yay esneklik sınırının aşılmasını koşuluyla, sıkıştırmak veya germek için yapılan işe yani esneklik potansiyel enerjisi ifadesine benzerlik göstermektedir. Süreklilik teorisinin temel fikri esneklik teorisi ve Hooke yasası ile yapılan benzeşime dayanmaktadır.  $k_{ii}$  esneklik sabitlerinin birimi ve büyüklük mertebesi için boyut analizinden yararlanabiliriz.  $F_d$  enerjisi pozitif olduğundan  $k_{ii}$  pozitif olmalıdır. Yine  $F_d$  birim hacimdeki serbest enerji olarak verildiğinden ve  $n$  boyutsuz olduğundan,  $k_{ii}$  esneklik sabitleri (enerji/uzunluk) yani kuvvet boyutunda olmalıdır.  $k_{ii}$  sabitlerinin mertebesini hesaplamak için, karakteristik enerji ve uzunluğu göz önüne almalıyız. Bir nematik sıvı kristaldeki moleküler düzenlenme için gerekli moleküller arası etkileşme enerjisi, söz konusu maddenin nematik-izotropik faz geçişi gizli ısısından tahmin edilebilir.

Nematik-izotropik faz geçişinin ikinci dereceden olmasından dolayı, faz geçişi öncesi ortaya çıkan bazı bölgesel simetrik gruplaşmaların  $k_{ij}$  indis sabitleri üzerindeki etkisi vardır. Eğer nematik sıvı kristal bir manyetik veya elektrik alan etkisine bırakılırsa, bu durumda serbest enerji ifadesine bir katkı teriminin ekleneceği açıktır. Manyetik alandan ileri gelen katkıyı hesaplarken, sıvı kristal ortamı küçük bir bölgedeki birim hacim başına anizotropik diamanyetik duygunluğu göz önüne alınır.  $\Delta\lambda = \lambda_{//} - \lambda_{\perp}$  lokal anizotropinin bir ölçüsüdür. Burada  $\lambda_{//}$  ve  $\lambda_{\perp}$  sırasıyla  $n(\vec{r})$  ye paralel ve dik olan birim hacimdeki duygunluğu gösterir. Manyetik alanın çubuksu moleküllere etkimesiyle, moleküllerin alan doğrultusunda yönelmeleri için, birim hacim başına yapılan iş hesaplandığında manyetik alanın serbest enerjiye katkısı,

$$F_m = -\frac{\Delta\chi}{2} [H.n(r)]^2 \quad (1.10)$$

ile verilir. Burada  $H$  manyetik alan şiddetini göstermektedir. Benzer şekilde, elektrik

alandan ileri gelen katkı ise,

$$F_e = -\frac{\Delta\varepsilon}{8\pi}[E.n(r)]^2 \quad (1.11)$$

şeklindedir. Burada  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{//} - \varepsilon_{\perp}$  direktöre paralel ve dik olan dielektrik sabitleri arasındaki farktır. O halde dış alanlar etkisindeki sıvı kristal bir ortamın toplam serbest enerji yoğunluğu,

$$F = F_d + F_m + F_e \quad (1.12)$$

biçiminde yazılabilir. Son olarak, sıvı kristal bir ortama manyetik alan uygulanması ile ortaya çıkan önemli bir durumu ele alalım. Moleküllerin cam yüzeylerine paralel yöneldikleri sıvı kristal bir filme, moleküllerin uzun eksenlerine (direktöre) dik olacak şekilde bir manyetik alan uygulanması durumunda sıvı kristal ortamın optik özelliklerinde önemli bir değişim ortaya çıkmaktadır. İlk kez Fredericksz tarafından gözlenen bu olayda, söz konusu durum için manyetik alanın kritik bir değere ulaşması sonucunda, ortamdaki geçen ışık şiddetindeki ani değişim gözlenmekte ve bu olay sıvı kristal cihazlarında önemli bir uygulama alanı bulmaktadır. Uygulanan manyetik alanın şiddeti, filmin kalınlığına ve ortamın manyetik duygunluğuna bağlı olup, süreklilik teorisi kullanılarak yapılan hesaplama,

$$H_c = \left(\frac{K_{ii}}{\Delta\lambda}\right)^{1/2} \frac{\pi}{d} \quad (1.13)$$

bağıntısı ile gösterilebilir. Görüldüğü gibi, manyetik alan ( $H_c$ ), filmin kalınlığı ( $d$ ) ile ters orantılıdır. Uygulanan alan değerini tesbit ederek, sıvı kristal bir ortamın esneklik sabitlerini tayin etmek mümkün olmaktadır. Ancak, yöneltici etki olarak kullanılan manyetik alanın sıvı kristal ortam üzerinde bazı istenmeyen olası etkilerini de göz önünde bulundurmamak gerekmektedir. Benzer şekilde, bir elektrik alanının uygulanması durumunda, sıvı kristal ortamın optik özelliklerinden ortaya çıkan değişimlerden yararlanarak, sıvı kristal ortamdaki moleküllerin yönelim konumlarına bağlı olarak ilgili esneklik sabitlerini belirlemek olasıdır.

#### 1.4. Sıvı Kristallerde Akışkanlık Hareketleri

Sıvı kristal ortamlardaki akışkanlık hareketleri, ilk görünümü ile yaklaşık on kez daha büyük bir ortamda gerçekleşmenin dışında, diğer organik sıvılardan farklı değildir. Ancak, sıvı kristal ortam içindeki moleküllerin  $\hat{n}$  direktörü ile belirlenen bir doğrultu boyunca yönelmeleri sonucu ortaya çıkan anizotropik özellik nedeniyle, böyle bir ortamdaki akış hareketinin moleküllerin yönelme konumları üzerinde etkisi olabileceği gibi, moleküllerin yönelme hareketlerinin de akış düzeni üzerinde bir değişim meydana getirebileceğini göz önünde bulundurmak gerekir. Gerçekten, moleküllerin öteleme ve direktör boyunca olan yönelme hareketleri, akış düzeni için karşılıklı bir ilişki biçiminde gelişerek, böyle bir ortam için normal sıvılarda mevcut olmayan yeni bir akışkanlık türünün, diğer bir deyişle yeni bir hidrodinamik modun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sıvı kristal ortamlar, diğer sıvılar içinde gözlenebilen akışkanlık hareketlerine ek olarak, moleküllerin akış düzeninden etkilenmeleri ve bunun tersine, akış doğrultusu üzerinde meydana getirebilecekleri modifikasyonlar sonucu, direktör etrafında kendini gösteren bir tür salınım veya dalgalanma hareketlerine sahne olurlar.

Ortamın viskoz karakterinin belirlenebilmesi için, sözü edilen titreşim modlarının akış hızı  $v$  ve moleküllerin  $n$  vektörü ile verilen statik yönelim konumlarının daha önceden saptanması gerekmektedir. Böylece örneğin alçak frekanslı ve küçük genlikli bir etkinin, sıvı kristal ortam içinde oluşan akışkanlık olayını izotermik varsayarak belirli hidrodinamik sınır koşullarının sağlandığı düşünülürse, yalnızca direktör etrafında dönme veya salınım hareketlerine neden olacağı kabul edilebilir.

Sıvı kristal akışkanı sürekli bir ortam olarak göz önüne aldığımızda (yani akışkanın herhangi küçük bir hacim elemanının çok sayıda molekülden oluştuğunu varsayarak) akışkanın hareket halini, akışkan hızı  $v$ , basıncı  $p$ , yoğunluğu  $\sigma$ , ve direktörü  $\hat{n}$ , ile temsil edebiliriz. Bu durumda sıvı kristal ortamın yoğunluğunu her nokta için sabit kabul ederek ( $\sigma = \text{sabit}$ ) ve akışkanın sıkıştırılmaz olduğunu varsayarak, akışkanın hareket denklemi için genel olarak,

$$\sigma \left( \frac{dv_i}{dt} \right) = \left( \frac{\delta \sigma_{ij}}{\delta x_\beta} \right) \quad (1.14)$$

ifadesi yazılabilir. Burada  $\sigma_{ij}$  nematik sıvı kristal ortam içinde oluşturulan esnek şekil değişimlerini içeren bir gerilme tensörü olup,

$$\sigma_{ij} = -p\sigma_{ij} + \sigma_{ij}^o + \sigma_{ij}' \quad (1.15)$$

bağıntısı ile verilmektedir.  $\sigma_{ij}$  gerilme tensörünün ortamın serbest enerjisi ile ilgili direktör bozulmalarını içeren bir terimdir,  $\sigma_{ij}'$  terimi ise sıvı kristal ortamdaki viskoz etkileri belirtmekte ve Leslie tarafından,

$$\sigma_{ij}' = \alpha_1 n_k n_p A_{kp} n_i n_j + \alpha_2 n_i n_j + \alpha_3 n_j N_i + \alpha_4 A_{ij} + \alpha_5 n_i n_k A_{kj} + \alpha_6 n_j n_k A_{ki} \quad (1.16)$$

bağıntısıyla tanımlanmaktadır. Buradaki A hız gradyenti ise,

$$A_{ij} = \left( \frac{\delta v_i}{\delta x_j} + \frac{\delta v_j}{\delta x_i} \right)^{1/2} \quad (1.17)$$

şekilde verilir. N ise direktörün akışkan içindeki değişme miktarını (dönme hızını) belirtmektedir ve

$$N = \left( \frac{dn}{dt} \right) - \omega.n \quad (1.18)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada  $\omega = rotv/2$  akışkanın lokal dönme hızıdır, bağıntıdaki  $\alpha_i$  ( $i = 1...6$ ) ile gösterilen katsayılar viskozite boyutunda (g/cm.s) olan nicelikler olup, topluca *Leslie katsayıları* olarak adlandırılır. Bu bağımsız katsayıların sayısı Parodi tarafından verilen,

$$\alpha_6 = \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_5 \quad (1.19)$$

bağıntısı ile beşe indirgenir. Sıvı kristal ortamdaki moleküller üzerine etki eden bir dış kuvvet ortamdaki viskoz kuvvetler tarafından dengelenmek istenir. Birim hacim başına viskoz kuvvetlerin n direktörü üzerinde oluşturduğu döndürme momenti,

$$\Gamma_{vis} = -n(\gamma_1 N + \gamma_2 A.n) \quad (1.20)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $\gamma_1$  ve  $\gamma_2$  viskozite katsayıları ile ( $\gamma_1$  genellikle rotasyonel viskozite olarak adlandırılır), Leslie katsayıları,

$$\gamma_1 = \alpha_3 - \alpha_1 \quad (1.21)$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 + \alpha_3 = \alpha_5 + \alpha_6 \quad (1.22)$$

bağıntılarıyla ilişkilidir

## 1.5. Karışımlar

### 1.5.1. Karışımlar ve bileşimler

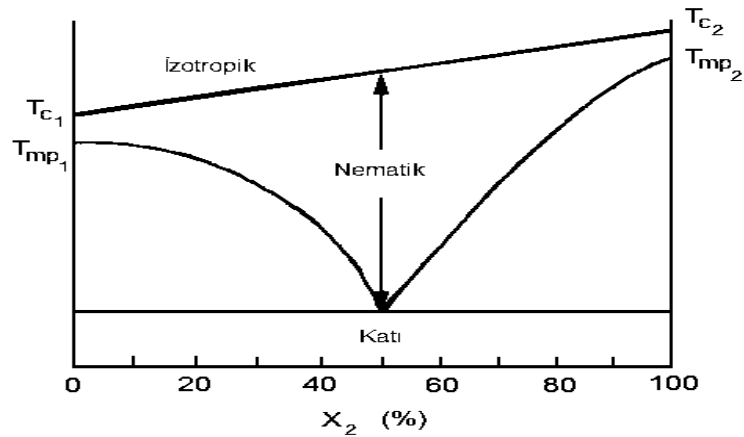
Genel olarak saf sıvı kristallerin farklı mezofazları için sıcaklık aralıkları oldukça sınırlıdır (Khoo, 1995). Bu ve diğer fiziksel sınırlamalar, bu malzemelerin pratik kullanımında zorluklar meydana getiriyor. Bunlara istinaden saf sıvı kristallerle esaslı çalışmalar yürütüldüğü zaman endüstriyel uygulamalarda çoğunlukla yapay, fiziksel ve optiksel özelliklere sahip karışımlar, bileşimler ve özel olarak boyanmış (dop edilmiş) sıvı kristaller kullanılır.

Sıvı kristalin fiziksel özelliklerini değiştirmenin çok sayıda yolu vardır. En temel düzeyde kimyasal bağlar veya atomik gruplar sıvı kristallerin özel bir sınıfına yerleştirilebilir. Bunlara cyanobiphenyl homologus serileri, nCB (n=1,2,3,...) iyi bir örnektir. Sentezler yoluyla n arttıkça anizotropi, viskoziteler, moleküler büyüklükler ve çok sayıda diğer parametreler büyük ölçüde değişmektedir. Örneğin,  $n \leq 4$

olduğunda malzeme nematik faz sergilemez.  $n = 5,6,7$  olduğunda malzeme nematik faza sahiptir.  $n > 8$  olduğunda ise simektik faz gözlenmeye başlıyor (Khoo, 1995). Fiziksel özelliklerin bazıları yerine koyma yöntemi ile değiştirilebilir. Örneğin, phenyl zincirinin 2, 3, ve 4 konumlarındaki hidrojen florür (F) veya klor (Cl) grubu ile yer değiştirilebilir.

### 1.5.2. Karışımlar

Tek sıvı kristal malzemenin sıvı kristal sıcaklık aralığı genellikle sınırlıdır. 4-n-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB) sıvı kristali  $24^{\circ}\text{C}$ 'ta erime noktasına (kristal halden nematik hale geçiş noktası) ve  $35.2^{\circ}\text{C}$ 'ta ise aydınlanma noktasına (nematik halden izotropik hale geçiş noktası) sahiptir. Oysa pratik uygulamalar için geniş sıvı kristal aralık ( $-30^{\circ}\text{C}$ 'tan  $100^{\circ}\text{C}$ 'a kadar) arzu edilmektedir. Aygıtların donmaması için düşük erime noktası (melting point),  $T_{mp}$  ve işlem esnasında fiziksel özelliklerdeki dalgalanmayı azaltmak için yüksek aydınlanma noktası (clearing point),  $T_c$  gerekmektedir. Sıvı kristal aralığı genişletmenin kullanışlı bir yöntemi ötektik karışım (eutectic mixtures-maksimum erime yeteneği olan karışımlar) formüle etmektir (Khoo, 1993). Şekil 1.17, ikili karışımın faz diyagramını göstermektedir. 1 ve 2 bileşenlerinin nematik aralığı iki dikey sınır eksenleri üzerinde gösterilmiştir. Yatay eksen ikinci bileşenin molar yoğunluğunu ( $X_2$ ) ifade etmektedir. Uygun molar yoğunlukta, karışımın erime noktası minimum değerine ulaşmaktadır. Bunun yanı sıra karışımın aydınlanma noktası molar yoğunlukla lineer olarak orantılıdır.

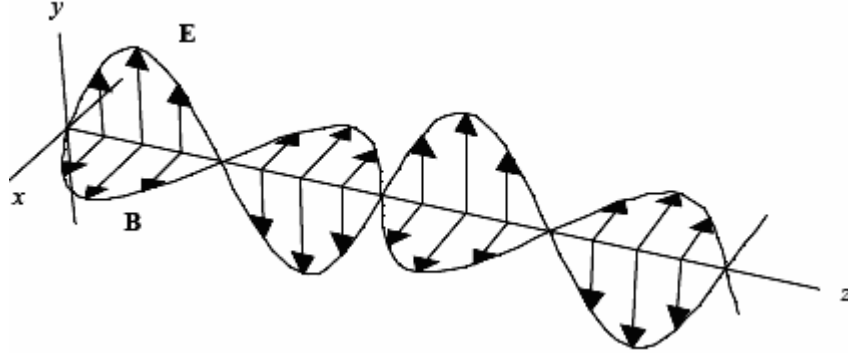


Şekil 1.17. İkili ötektik karışımın faz diyagramı



### 1.6. Polarizasyon

Işığın doğrusal yayılması enine bir elektromanyetik alan olarak tanımlanabilir. Işığın esas özellikleri şiddeti, dalgaboyu ve koharent olmasıdır. Polarize ışığın etkileşimi sıvı kristallerin elektrooptik uygulamalarında temel alınır ve sıvı kristal malzemenin optik anizotropisi sıvı kristalılık açısından en önemli özelliktir. Tek renkli düzlem dalganın açısal frekansı  $\omega$  ve dalga vektörünü  $k=k\hat{z}$  olduğunu ve sadece kartezyen sistemde  $z$  bileşeni yönünde yayıldığını düşünürsek bunun gösterimi Şekil 1.18 de verilmiştir.



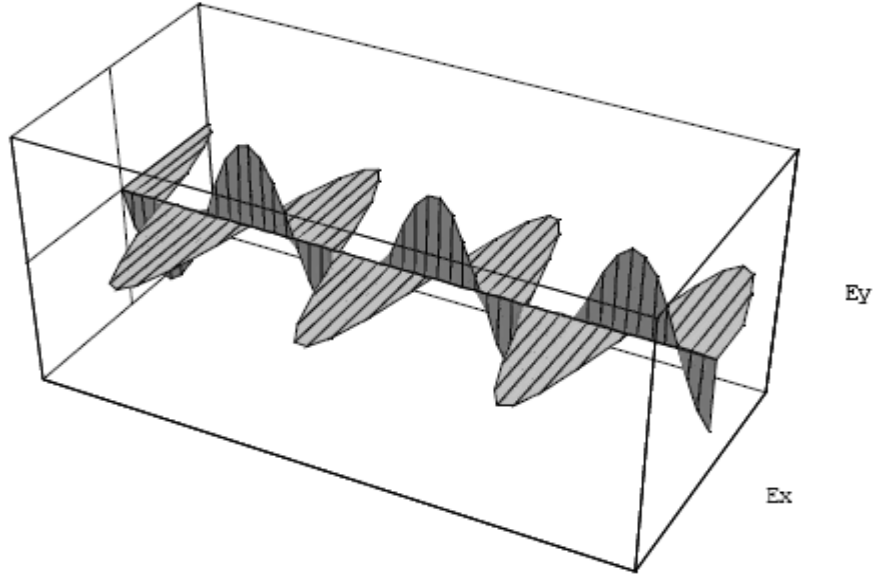
Şekil 1.18. Optiksel alanın enine kutuplanmış olarak ilerlemesi

Herhangi bir konum ve zamanda enine elektromanyetik alan dalgaya bağlanır ve zamanla değişen bu alan dalganın polarizasyon karakterini tanımlar. Dalganın elektrik alan vektörü bileşenleri  $xz$  ve  $yz$  yönündedir ve

$$E_x = A_x \cos(\omega t - kz + \delta_x) \quad (1.23)$$

$$E_y = A_y \cos(\omega t - kz + \delta_y) \quad (1.24)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada açısal frekansını  $\omega=2\pi f$  ve dalga vektörünü  $k=kn_0$ ,  $=n\omega/c$  kırıcılık indisini  $n$ , genlikleri  $A_x$  ve  $A_y$  keyfi faz durumlarını ise  $\delta_x$  ve  $\delta_y$  ifade eder (Şekil 1.19.).



Şekil 1.19. Elektromanyetik dalganın elektrik alanının dikey bileşenleri

Dalganın yayılması  $E_x(t,z)$  ve  $E_y(t,z)$  iki bileşeni sonucunda vektör oluşur. Bu vektörün ucu boşluktaki noktaları tanımlar. (1.23) ve (1.24) ü genişletirsek

$$\frac{E_x}{A_x} = \cos \tau \cos \delta_x - \sin \tau \sin \delta_x \quad (1.25)$$

$$\frac{E_y}{A_y} = \cos \tau \cos \delta_y - \sin \tau \sin \delta_y \quad (1.26)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada  $\tau$  yerine,  $\tau = \omega t - kz$  eşitliği yazılırsa

$$\frac{E_x}{A_x} \sin \delta_y - \frac{E_y}{A_y} \sin \delta_x = \cos \tau \sin(\delta_y - \delta_x) \quad (1.27)$$

$$\frac{E_x}{A_x} \cos \delta_y - \frac{E_y}{A_y} \cos \delta_x = \sin \tau \sin(\delta_y - \delta_x) \quad (1.28)$$

denklemleri elde edilir. (1.27) ve (1.28) denklemleri taraf tarafa çarpılırsa

$$\left(\frac{E_X}{A_X}\right)^2 + \left(\frac{E_Y}{A_Y}\right)^2 - 2\frac{E_X E_Y}{A_X A_Y} \cos \delta = \sin^2 \delta \quad (1.29)$$

eşitliği bulunur.  $\delta = \delta_x - \delta_y$  bağıl fazların limiti için  $-\pi < 0 < \pi$  bölgesindeki limiti alınır. Denklem (1.29) da tanımlanan noktaların geometrik durumunun bir elips olduğunu gösterir. Elektrik alan vektörü elips olarak tanımlanır ve oluşan polarizasyon eliptiktir. Bu en genel polarizasyon durumudur. Genliklerin ve bağıl fazların farklı değerleri için elipsel polarizasyon deforme olur.

### 1.6.1. Çizgisel polarizasyon

Elektrik alan xy düzleminde ve lineer bir vektörse çizgisel polarizasyon meydana gelir.  $\delta$ 'nin farklı faz durumlarında meydana gelir, (0 veya  $\pi$ 'ye eşit olduğunda) (1.29) denklemi indirgenirse,

$$\left(\frac{E_X}{A_X}\right)^2 + \left(\frac{E_Y}{A_Y}\right)^2 \pm 2\frac{E_X E_Y}{A_X A_Y} = 0 \quad (1.30)$$

$$\left(\frac{E_X}{A_X} \pm \frac{E_Y}{A_Y}\right)^2 = 0 \quad (1.31)$$

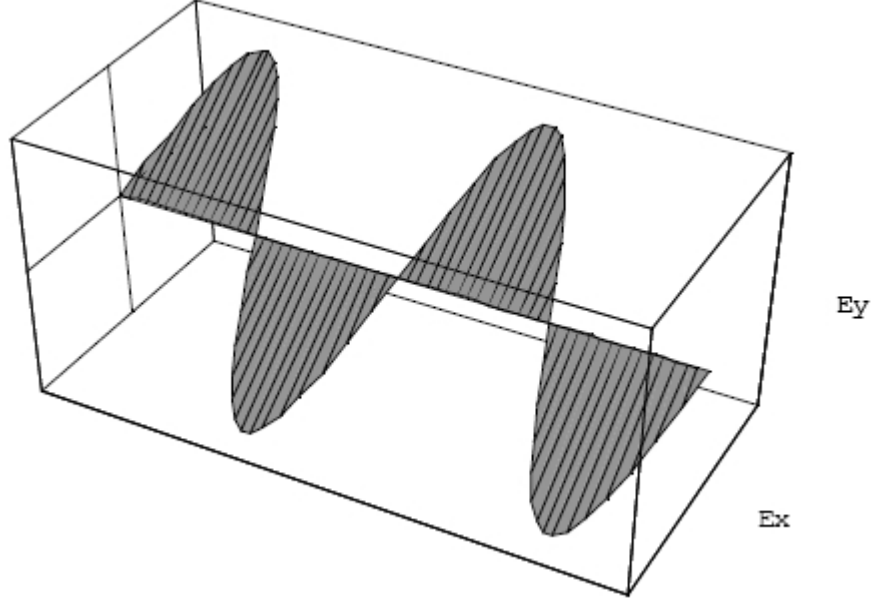
eşitlikleri veya

$$E_Y = \pm \frac{A_Y}{A_X} E_X \quad (1.32)$$

ifadesi yazılabilir. Denklem (1.32), çizgisel polarizasyonun denklemidir ve eğim,

$$\frac{A_Y}{A_X} \text{ veya } -\frac{A_Y}{A_X} \quad (1.33)$$

bağıntısına göre genliklerin oranı ile tanımlanır.  $\delta=0$  değerinde eğim pozitif ve  $\delta=\pi$  değerinde ise negatif olur (Şekil 1.20).



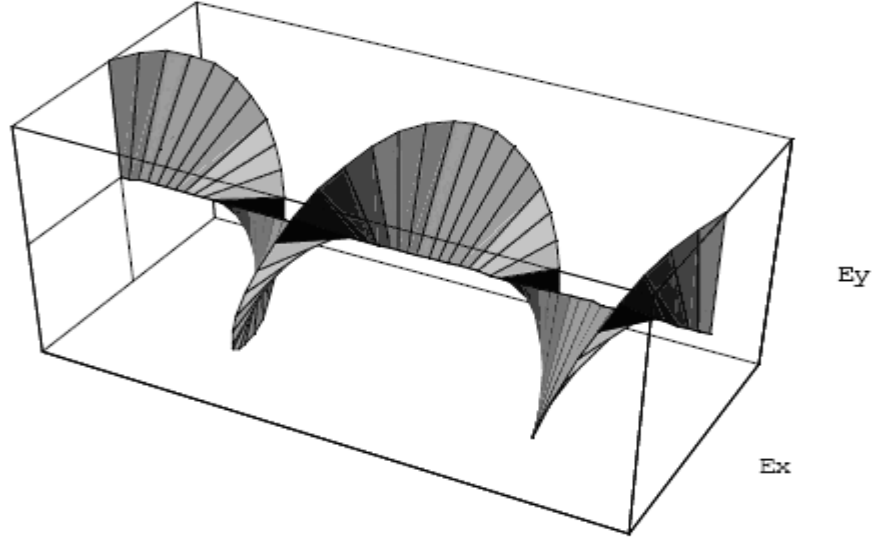
Şekil 1.20. Çizgisel polarizasyon durumunda, elektrik alan vektörünün, xy- düzleminde titreşimi

### 1.6.2. Dairesel polarizasyon

Eğer faz farkı  $\delta = \delta_x - \delta_y = \pm\pi/2$  ve  $A_x=A_y$  olursa denklem (1.34) e dönüşür.

$$\left(\frac{E_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{A_y}\right)^2 = 1 \quad (1.34)$$

Bu denklem dairesel polarizasyon olarak tanımlanır.  $\delta = \pm\pi/2$  olursa bu dönme sağdan uzayan olarak adlandırılır ve saat yönünün tersine karşılık gelir ve elektrik alan vektörünün  $-z$  yönünde görünmesini sağlar. Eğer  $\delta = \pm\pi/2$  olursa saat yönünde polarizasyon gerçekleşir (Şekil 1.21).



Şekil 1.21. Dairesel polarizasyonda elektrik alan vektörünün, xy-düzleminde bir daireyi tanımlaması

### 1.6.3. Eliptik polarizasyon

Lineer ve daireysel polarizasyon durumları eliptik polarizasyonun özel durumlarıdır. Bu durumda elektrik alan vektörü her iki dönmeyi büyüklüğüne göre gerçekleştirir. Genelde elipsin başlıca dönme eksenleri x ve y ekseninden farklıdır. Matematiksel kolaylık için koordinat sistemi döndürülerek x' ve y' eksenleri olarak adlandırılmıştır. Bu koordinat sistemindeki dönme eksenleri,

$$a^2 = A_x^2 \cos^2 \phi + A_y^2 \sin^2 \phi + 2A_x A_y \cos \delta \cos \phi \sin \phi \quad (1.35)$$

$$b^2 = A_x^2 \sin^2 \phi + A_y^2 \cos^2 \phi - 2A_x A_y \cos \delta \cos \phi \sin \phi \quad (1.36)$$

şeklinde hesaplanabilir.  $\phi$  açısı x ile x' arasındaki açıdır. Orjinin uzunlukları,

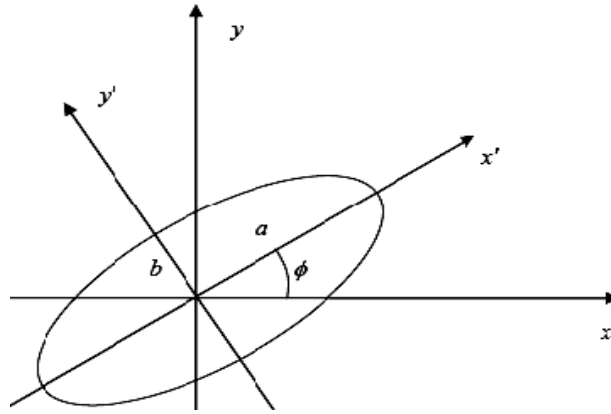
$$\tan 2\phi = \frac{2A_x A_y}{A_x^2 - A_y^2} \cos \delta \quad (1.37)$$

bağıntısına göre verilebilir. Eğer  $\sin \delta < 0$  olursa polarizasyon sağ yönlü,  $\sin \delta > 0$  olursa

sol yönlü olur. Polarizasyonun eliptikliği,

$$e = \pm \frac{b}{a} \quad (1.38)$$

şeklinde tanımlanır. İşaret( +) ise sağ yönlü (–) ise sol yönlü polarizasyon oluşur.  $e=0$  ise linear,  $e=1$  ise dairesel polarizasyon gerçekleşir. Eliptik olma açısı ise  $\theta = \tan^{-1} e$  dir. Eliptik polarizasyon durumunda elektrik alan vektörü birbirinden bağımsız iki dikey bileşene ayrılır. Bağlı fazların aralığı  $-\pi < \delta < +\pi$  dir. Bununla birlikte temel koordinat sisteminde bağlı faz daima  $\pm \pi$  olur (Şekil 1.22).



Şekil.1.22. Eliptik polarizasyonda eksenler arasında faz farkının gösterimi

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gennes ve Prost (1993) sıvı kristal alanındaki ilk çalışmayı, araştırmacı Williams başlatmıştır. Geliştirilen sıvı kristal teknolojinin başarısı sıvı kristalli görüntüleme sistemlerinin doğmasına yol açmıştır. Farklı sıcaklık bölgesinde moleküler düzenlerin farklı karakter taşıması sıvı kristallerin sınıflandırma çalışılmasına ve farklı teknolojilerde kullanılmasına yol açmıştır.

Nesrullazade ve ark. (2001) sıvı kristaller sıvılardan farklı olarak anizotrop özellik sergilerler. Yapı, tabakalı değildir ve moleküllerin ağırlık merkezleri rastgele dizilmiştir. Nematik sıvı kristaller optikçe aktif olmayan organik maddelerin ısıtılması ile oluşurlar. Nematik fazlar, yüksek sıcaklıkta mezofaz oluşturan termotropik sıvı kristallerdir. Sıvı kristal alanlar elektrik alanlarından etkilenmektedirler. Değişik sıcaklık bölgesinde sıvı kristalin sergilediği fiziksel özellikler de değişim göstermektedir. Özellikle, polarizasyonu, moleküler düzeni, dielektrik gibi vs. fiziksel özellikleri değişim göstermektedir.

Helfrich ve Heppke (1980) sıcaklığa bağlı yapısal değişimler, sıvı kristallerde faz geçişleri ile belirlenir. Sıvı kristal fazların birisinden diğerine geçişte kullanılan yöntemlere göre mezofazların özellikleri değişmektedir. Aynı şekilde faz geçişlerini tespit etmekte kullanılan diğer bir yöntem de spektroskopik yöntemdir. Termal değişime bağlı olarak yapıda meydana gelen değişimler ve bu değişimlerin optik anizotropiye etkisini bu yöntemle belirlemek mümkündür.

Blumstein ve Tsuruta (1996) sıcaklık ve voltaj değişimine bağlı olarak nematik sıvı kristallerin faz dönüşümleri ve faz dönüşümü sonundaki fiziksel davranışları kalorimetrik ve spektroskopik yöntemler uygulanarak incelenmiştir. Ayrıca faz dönüşümüyle, nematik sıvı kristallerin morfolojik yapılarındaki değişimlerin deneysel olarak incelenmesi yapılmıştır.

Fernandez ve ark. (2003) damlacık yapıdaki bipolar nematik sıvı kristallerde elektrik alan uygulanmasıyla alanın belirli bir değerine kadar çift kırılma etkisiyle renk değişimi gözlenir. Belli bir eşik değerinden sonra Fredericksz etkisi sonucu çift kırılma etkisi ortadan kalkar. Bu yüzden çift kırılma etkisinin ortadan kalkmaması için belirli bir kritik değer geçilmemelidir. Elektrik alan kaldırıldığında elastik tork ve viskozite torku, herhangi bir yönelim olmadığından dolayı yapıda bir kabalaşma oluşturur ve gevşeme zamanı gecikir. Bu davranış bipolar nematik sıvı kristal kullanılan görüntüleme sistemleri için görüntü izinin hemen kaybolmaması olarak tanımlanır.

Karapınar (1997) sıvı kristaller ile polimer dağıtıcılar uygun şartlarda karıştırılmasından elde edilen polimer dağıtıcılı sıvı kristallere (PDLC) İndiyum Tin Oksit (ITO) lamellerin arasına yerleştirilip elektrik alan uygulandığında sıvı kristal damlacıklar ile polimerin moleküler yönelimleri değişir. Elektrik alan yokken ayrı ayrı kırılma indislerine sahip olan malzemeler belirli bir alan uygulandığında kırıcılık indisleri birbirine yaklaşır ve çift kırılma özelliği göstererek ışık geçişleri engellenir. Burada kullanılan İTO yüzeyin kalınlığı da önemlidir. Kalınlık arttıkça ışık geçişi azalmaktadır. PDLC filmler sayesinde aktif matris esasına dayanan sistemlere gerek kalmadan görüntüleme elde edilebilecektir.

Amundson ve ark. (1997) polimer dağıtıcı sıvı kristallerin (PDLC), elektrik alan uygulandığında moleküler hizalama gerçekleştiğinden dağıtıcı özelliği azalır ve dağıtıcılıktan saydamlığa geçiş olur. Aynı odaklı mikroskopla nematik sıvı kristalle çeşitli polimerlerin belirli oranlarda karışımından elde edilen yapılar incelendiğinde uygulanan elektrik alanın belli bir eşik değerinden sonra artan voltajla di elektrikliğin değişmesi nedeniyle çift kırılma etkisinin ortadan kalkıp polimer yapı dağıtıcılık özelliğine geri döndüğünden dolayı sıvı kristal özelliğinin kaybolduğu gözlenmiştir. Bu nedenle belli bir kritik değere kadar olan çalışma aralığında bu yapıların sıvı kristal özelliğinin olduğu görülmüştür.

Mach ve ark. (2002) sıvı kristal yapılarla kolloid kalıplı yapılar için birleşme uygundur. Çünkü elektrik alan ve sıcaklık değişiminde birbirine yakın özellikler



gösterir. Bu çalışmada polimer dağıtıcılı sıvı kristallerle kolloid kalıplı yapıların elektrooptikliği karşılaştırıldı. Kalıplı numunelerde elektrik alanın uygulanmasından sonra kısa gevşeme zamanı gözlenir. Bir İTO lamel arasına bir kristal tortusuyla oluşturulan kolloid ile sıvı kristal malzeme konularak elektrik alan uygulandı. Uygulanan alan sonucu voltaj değişimlerine bağlı olarak karanlık, dağıtıcı ve saydam olmak üzere üç durum gözlemlendi, alan etkisi kaldırıldığında moleküllerin geri yönelim zamanının kısa olduğu gözlemlendi. Burada elastik enerji tipik olarak düşüş zamanı yükseliş zamanını aşar ve elastik enerji aşıldığından hızlı gevşeme olur. Ayrıca üç boyutlu Bragg kırılmasının elektrik alan uygulandığında, yanıtının kolloid kalıplı yapılar içindeki sıvı kristal malzemenin sağladığı tanımlandı.

Luiza ve ark. (2004) simetrik olan yapılarda elektrik alan uygulandığında homotropik yapı değişir. Simetrik olmayanlar da ise eşik enerji etkisi olmadığından enerji değeri yüksektir ve homotropik yapı korunur. Elektrik alan uygulandığında polarizör ve analizör arasındaki açı  $45^\circ$  olduğunda ışık geçişi olur. Elektrik alan uygulanıp kesildiğinde yüzeyin iç yapısından dolayı karakteristik yapı zamanla gevşer. Bu süre milisaniye düzeyindedir. Kullanılan İTO camın bir yanı polimer (Polianilin) malzemeyle kaplanırken diğer tarafı ortokromik karışımla kaplanır. Polimer yüzeye voltaj uygulandığında yapıda anormal değişim etkisi gözlenir. 50 Hz- 15 kHz arasında alternatif gerilim (10V-100 V) uygulandığında hızlı yükseliş zamanını verdiği gözlemlendi. Lokalize olmayan elektronlar elektriksel iletimde önemli rol oynar. Bunun nedeni Van Der Wals bağlarıdır. Voltaj arttırılınca elektronlar polimerin karşısında bir puls oluşturur. Oluşan puls moleküler yönelimin değişmesini hızlandırır.

Song ve Lee (2005) Ar-İyon lazer ışınıyla nematik sıvı kristallerde kendinden faz ayarlaması karakteristiğinin halka desenini araştırdı. Nematik sıvı kristale elektrik alan uygulandığında kritik bir değerin altındayken alan değiştirilerek evre gecikmesi gerçekleştirilir. Kritik değerden sonra ise düzensiz şekilli kırılma deseni gözlenir. Sıvı kristaller büyük kırıcı indislerine sahip olduklarından lazer ışınlarını güçlendirirler. Halkada oluşan desenler kendinden evre ayarlamasının lazer ışını altında elektrik alanın etkisini ortaya koyar.  $24^\circ\text{C}$  de ve 514,5 nm dalgaboyunda

lazer ışını uygulandığında 8 mv voltajda anizotropik özellikten dolayı asimetrik dalgalar oluşur. Buradaki asimetriklik hem ışık hem de kırılma açısıyla ilgilidir. Uygulanan elektrik alan sonucu yapıda üç durum gözlenebilir; Fredericksz etkisi, elektrohidrodinamik kararsızlık ve türbülant akışı. Elektrik alanın çok yüksek değerlerinde halkadaki karanlık bölge değişip titreşmeye başlar ve petek gibi alanlar oluşur.

Volder ve ark. (2006) mikrosistemlerde, elektrohelojik sıvı kristallerin uygulanabilirliği üzerinde duruldu. Yine statik ve dinamik yapısına eşzamanlı elektrik alan uygulayıp akışkanlığı ve alana karşı tepkisi incelendi. Bu çalışmada ELP (Ericksen, Lesslie ve Parodi) moleküler teorisi temel alındı. Elektrohelojik sıvı kristal moleküllerinin yönünün elektrik alan tarafından kontrol edilmesi üzerinde duruldu. ELP teorisine göre bir akışkana; *elastik tork*, *elektrik tork*, *akış torku* ve *dinamik tork* etki eder. Akış hız profili ideal katmanlı akışkanlarda olduğu gibi kabul edilir. Deneyde kullanılan mikro kanal iki parçadan oluşur. Birinci parça tetrametil amonyum hidroksid karışımı sürülmüş silisyum tabakadır. Diğer parça Alüminyum sürülmüş camdır. Al elektrodu ve silisyum tabakası arasında kısa devreyi engellemek için epoxy izolasyonu yapıldı. Sıvı kristallerin yüksek bant genişliği gibi özellikleri ve yüksek akış direncinin değişkenliği incelendi.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deneyde Kullanılan Cihazlar

##### 3.1.1. Polarizasyon mikroskobu

Sıvı kristallerin karakterizasyonu için Leica DMLP marka polarizasyon mikroskobu ve mikroskop aksesuarları gerekmektedir. Bu aksesuarlar,

1. Isıtma Masası (heating stage) 350°C'a kadar ısıya dayanabilmektedir;
2. Mikroskop, ısıtma masası için yeterli çalışma sahasına sahiptir ve büyük objektif, üzerine odaklanabilmektedir;
3. Dönen objektifler;
4. Beş objektif (10x, 20x, 25x, 40x ve 63x);
5. CCD kamera.

Sıvı kristal numune hazırlandıktan sonra polarizasyon mikroskobunun ısıtma tablası üzerinde ısıtma-soğutma işlemi sırasında CCD kamera ile sıvı kristalde ısınma ve soğuma sırasındaki faz dönüşümleri gözlenir ve farklı fazlarda görüntüler alınarak kaydedilir.

##### 3.1.2. Lazer

Ölçümlerde, 1mW gücünde ve 632.8 nm dalga boyunda ışık yayan phywe marka He-Ne lazeri kullanılmıştır.

##### 3.1.3. Mekanik modülatör (Chopper)

SR540 marka mekanik modülatör lazer kaynaktan gelen sabit ışık demetini sinüzoidal ışık demetine dönüştürmek amacıyla kullanılmaktadır.

Mekanik modülatör basit ölçümlerden tek demet, çift-demet ve inter modülasyon deneylerine kadar tüm optik kesme gereksinimlerini ele almaktadır. Tek demetle yapılan deneylerde ışık demeti dar, uzun yarıkların dıştaki dizini tarafından kesilmektedir ve referans çıktı SR 530 marka lock-in amplifier'ın frekansını ışık

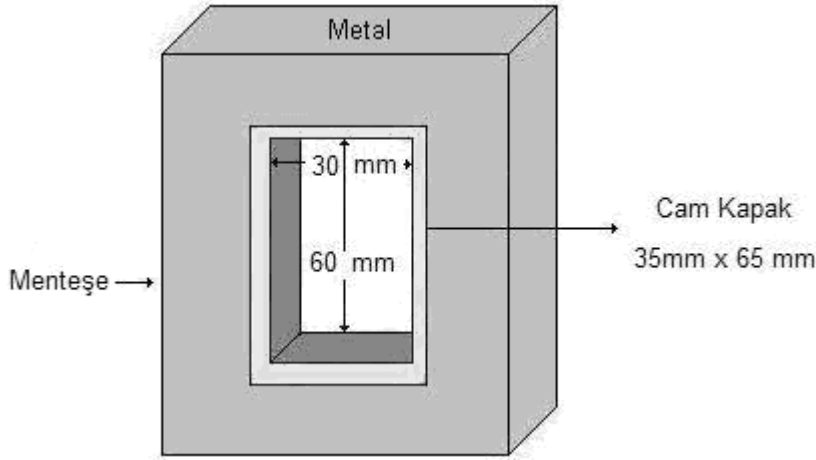
kesicinin frekansına kilitlemek için kullanılmaktadır. Mekanik modülatör frekansının 225~330 Hz gibi 50 Hz (şebeke frekansı)'nin tam katı olmayan frekanslarda seçilmesi ölçümlerin sağlıklı olmasını sağlar.

### 3.1.4. Polarizör ve analizör (Polaryzer and Analyzer)

Ölçümlerde kullanılan ışık demetini polarize etmek ve numuneden geçen ışığın polarizasyonunu incelemek için polarizör ve analizör kullanıldı. Öncelikle birbirine paralel yerleştirilen polarizör ve analizör arasındaki açı değiştirilerek polarizör-numune-analizör sisteminin optik geçirgenlik ölçümleri yapıldı.

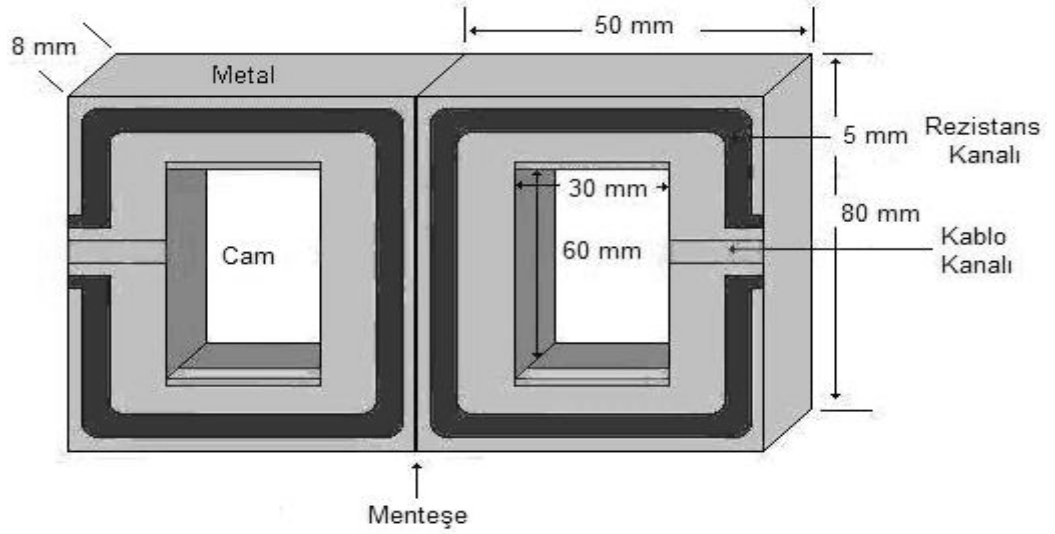
### 3.1.5. Numune tutucu (Sample holder)

Numuneyi ısıtırken ve elektrik alan uygulanırken çevre koşullarından etkilenmemesi amacıyla yalıtım yapmak için açılıp kapanan iki kollu çerçeve şeklinde olan numune tutucu hazırlandı. Numune tutucu yapılırken yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması açısından antimon alaşım kullanıldı (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Numune tutucunun kapalı durumda şematik görüntüsü

Rezistans kanalına, ısıtmayı temin etmek için rezistans yerleştirildi. Kablo kanalı ise elektrik alan uygulanması için kablo ve termometre girişi için kullanıldı. Bu kabloların her birine kısa devre olmaması için yalıtım yapıldı (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Numune tutucunun açık durumda şematik görüntüsü

### 3.1.6. Foto-algılayıcı (Photoreceiver)

Lazerden yayılan ve sıvı kristal numuneden geçen ışığın algılanması için Newfocus marka geniş alan UV Foto-algılayıcı (Large-Area Photoreceiver) kullanılmıştır.

### 3.1.7. Termostat (Thermostate)

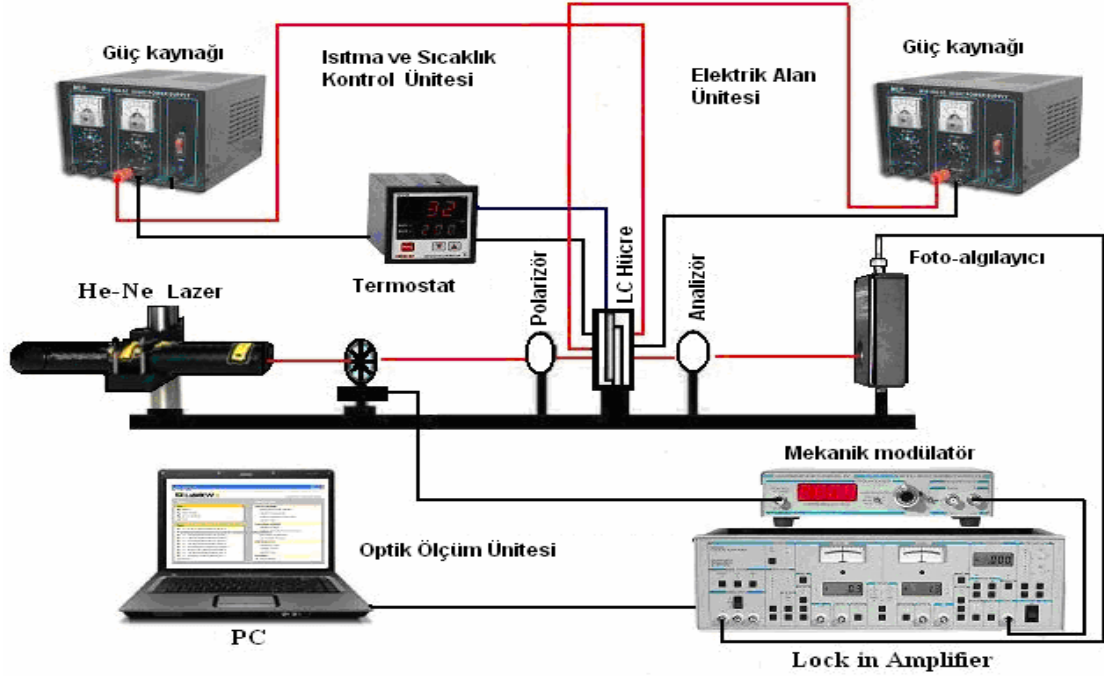
Ölçümler esnasında mikro kontrolör ile tasarlanmış ayarlanabilir zaman oransal kontrol yapabilen çift kontaklı dijital sıcaklık kontrol cihazı olarak 7272 D tipi endüstriyel elektronik sıcaklık denetleyicisi kullanılmıştır. Ölçümler sırasında termostat, sıcaklık artışı 3 °C/dakika hızla gerçekleşecek şekilde ayarlandı.

### 3.1.8. Güç kaynağı (Power Supply)

Ölçümler sırasında sıvı kristal numuneye elektrik alan uygulamak ve sıvı kristal numuneyi ısıtmak amacıyla AC/DC güç kaynağı (ED345BM) kullanılmıştır.

### 3.1.9. Deney düzeneği

Yaptığımız deneyde kullanılan düzeneğimiz birbirinden bağımsız üç devreden oluşmaktadır; ısıtma ve sıcaklık kontrol devresi, elektrik alan devresi ve optik ölçüm devresi (Şekil 3.3 ve 3.4).



Şekil 3.3. Deney düzeneğinin devre şeması



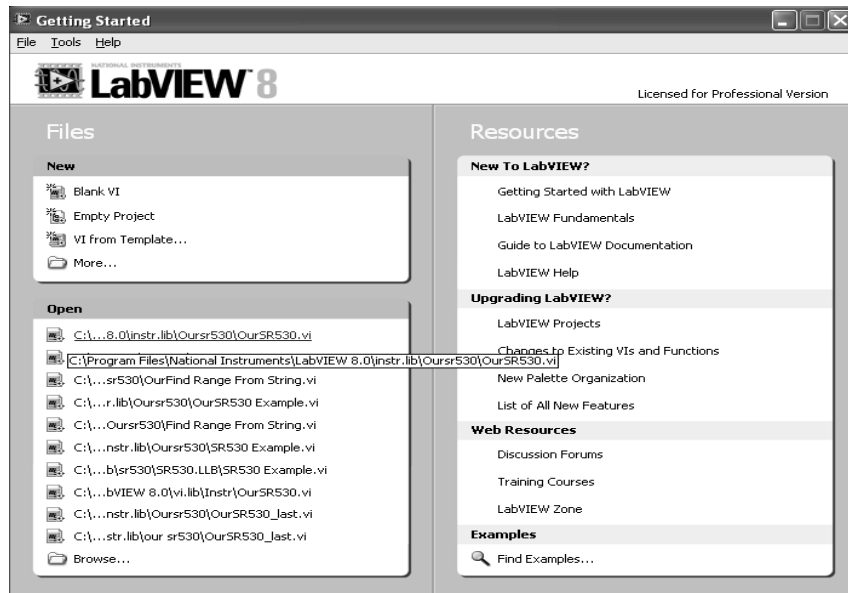
Şekil 3.4. Deney düzeneğinin fotoğrafı

### 3.1.10. Lock-in amplifier

a) **Bilgisayara tanıtılması:** Lock-in Amplifier'ın bilgisayara bağlanması veya tanıtılması için iki portu vardır, GPIB ve RS232. GPIB PC çıkışını kullanmak için Fortran Program Dilinde yazılmış programları kullanılmaktadır. Deney setinde Lock-in Amplifier ile PC arasındaki bağlantıyı sağlamak için RS232 portunu kullandık.

**b) LabVIEW programları:** LabVIEW programları sanal aletler (virtual instruments-VI) olarak adlandırılmaktadır, çünkü onların görüntüsü ve işletim sistemleri osiloskop ve multimetre gibi fiziksel aletlerin işletim sistemini taklit etmektedir. LabVIEW; veri almak, analiz etmek, görüntülemek ve depolamak için kapsamlı araç seti içermektedir. LabVIEW programı kullanıcı, kontrol ve göstergelerden oluşan kullanıcı arayüzü veya ön panel oluşturmaktadır.

**c) LabVIEW programı ve kullanılması:** LabVIEW programını açtığımızda karşımıza bir ekran gelir. Buradan SR530.vi programı açılır (Şekil 3.5). Sistemin tüm otomasyonu bu derleyiciden sağlanır.



Şekil 3.5. LabVIEW programı başlama sayfası

## 3.2. Numunelerin Hazırlanması

### 3.2.1. ITO lameller

Sıvı kristal numuneleri hazırlarken Indium-Tin-Oxide (InTiO<sub>3</sub>) kaplamalı cam lameller kullanılmıştır. Bunun nedeni, lamellerin iletken olmasıdır. İki adet cam lamel üst-üste koyularak, sonra bir biri üzerinde kaydırılır ve her birinin kenarları çıkıntı oluşturacak şekilde yerleştiriliyor. Indium-Tin-Oxide kaplamalı lamellerin

- Kalınlığı: 1.12 mm
- Uzunluğu: 72 mm
- Genişliği: 26 mm

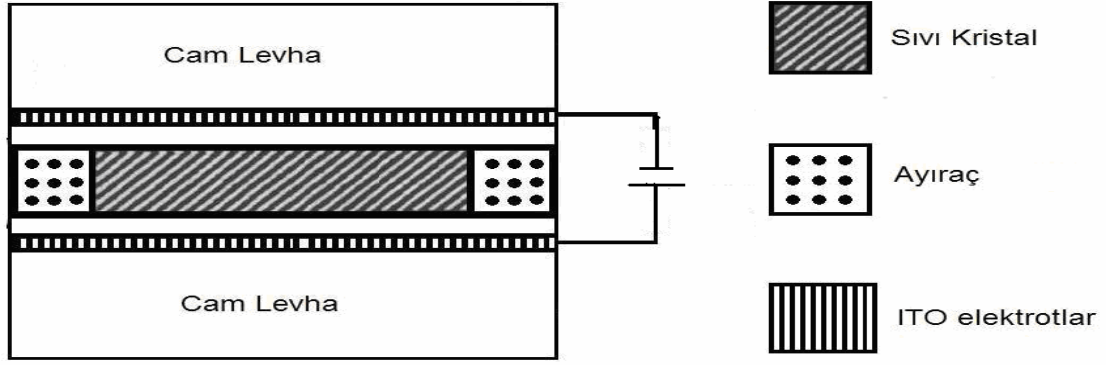
ITO lameller daha ekonomik olması için dört eşit parçaya ayrılmıştır. Dolayısıyla numune hazırlanırken kullanılan lamellerin boyutları aşağıdaki şekilde değişti:

- Kalınlığı: 1.12 mm
- Uzunluğu: 36 mm
- Genişliği: 13 mm

### 3.2.2. Sıvı kristal numunelerin hazırlanması

Sıvı kristal ince filmlerin hazırlanması için önce kullanılan camlar hassas bir şekilde temizlenmesi ve filmlerin çıplak elle temas edilmeden hazırlanması gerekir. Saf su konulmuş combact banyo içinde 30 dakika boyunca 100 °C de ısıtılıp etil alkol içinde daldırılır sonra steril fırın içinde 100 °C ye kadar ısıtılıp kurumaya bırakılır kuruduktan sonra iki yüzü yapışkan olan bir bantla iki kenarı kaplanıp lameller biraz boşluk bırakılarak üst üste konulup sandviç yapı oluşturulur. Bunun için kullanılacak olan İndiyum Tin Oksit (İTO) kaplı lameller lamellerin orta kısmında boşluk oluşacak şekilde kenar aralarına hem ayıraç hem de yapıştırıcı rolü göreceğ (spacer) malzeme yerleştirilir (kalınlığı  $0.085 \times 10^{-3}$  m). Dolayısıyla üst-üste konularak yapıştırılmış iki lamelin toplam kalınlığı yaklaşık olarak  $4.665 \times 10^{-3}$  m olur. Karışım numuneler oluşturulurken hassas teraziden istenen oranlarda tartımlar yapıldı. Daha sonra oluşturulan karışımlar cam tüpler içinde diklorometan ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) sıvı bileşiiyle iyice karıştırılıp homojen olması sağlandı. Homojen karışım fırın içinde bekletilip sıvının buharlaşması sağlandı. Oluşan bu yapı üzerine kristal halde konulan malzeme ısıtıcı tabla üzerinde ısıtıldığında yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisiyle lamellerin arasına yerleşir. Yüksek sıcaklıkta yapışkanın eriyip malzemenin bozulmasını önlemek için kenar ve uç kısımlarına ağaç tutkalı yapıştırılır. Böylece deneyde kullanılacak sıvı kristal hücre hazırlanmış olur (Şekil 3.6).





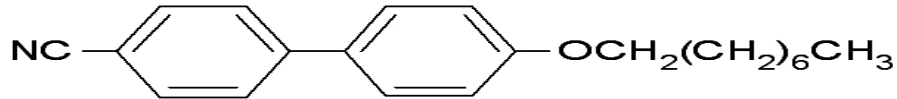
Şekil 3.6. Sıvı kristal numune ve elektrik alanının örneğe uygulanmasının şematik gösterimi

Numune hazırlandıktan sonra sıvı kristal malzemelerin farklı fazlarını ve faz geçişlerini gözlemlemek için aşağıdaki mikroskop işlemi yapıldı:

1. Hazırlanan numuneler tek tek oda sıcaklığında ısıtma tablasının üzerine koyuldu.
2. Numuneleri 2°C/dakika hızla ısıtmak için 0.5 A'lık akım uygulandı. Malzemeler kristal ve nematik durumda iken görüntüler alındı.
3. Numuneler soğumaya bırakıldı.
4. Numuneleri 2°C/dakika hızla ısıtarak soğumaya bırakma işlemi 5 defa tekrar edildi.

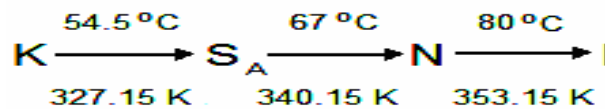
### 3.2.3. Deneyde kullanılan saf sıvı kristaller

1. numune: 4'-(Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile (8OCB) sıvı kristalin açık formülü iki adet aromatik halkadan oluşur (Şekil 3.7). Yaklaşık boyları 10-20 Å'dür.



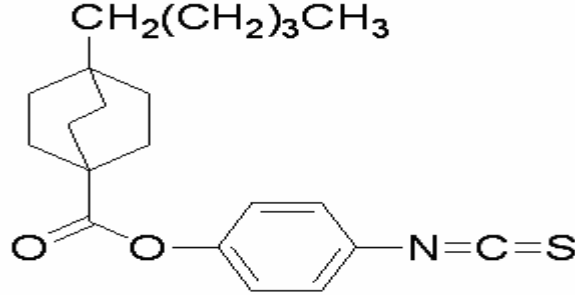
Şekil 3.7. 4'-(Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile

Sıvı kristalin faz geçiş sıcaklıkları şekil 3.8'de verilmiştir (Khoo, 1993).



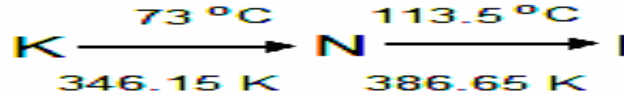
Şekil 3.8. 4'-(Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile sıvı kristal numunenin faz geçiş sıcaklıkları

2.numune: 4-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate sıvı kristalin açık formülü, bir aromatik halka ve bir çapraz linkten oluşur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. 4-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate

Sıvı kristalin faz geçiş sıcaklıkları şekil 3.10'da verilmiştir (Sigma Aldrich).



Şekil 3.10. 4-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate sıvı kristal numunenin faz geçiş sıcaklıkları

### 3.3. Kullanılan Yöntem

#### 3.3.1. Polarize ışığın Jones tanımlaması

R.C. Jones tarafından düzlem dalganın polarizasyonu için tanımlanmıştır. Daha önce verilen;

$$E_x = A_x \cos(\omega t - kz + \delta_x) \quad (3.1)$$

$$E_y = A_y \cos(\omega t - kz + \delta_y) \quad (3.2)$$

denklemleri R.C. Jones tarafından (3.3) şeklinde ifade edilmiştir. Bu gösterimde düzlem dalga karmaşık genlikleri bakımından bir sütun vektörü olarak ifade edilir.

$$J = \begin{bmatrix} A_x & e^{i\delta_x} \\ A_y & e^{i\delta_y} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$




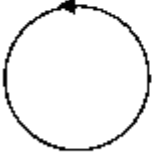
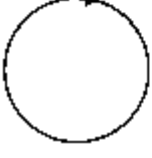
Jones vektörü genlikler ve elektrik alan vektör bileşenlerinin evrelerini verir. Eğer dalganın polarizasyon durumu incelenecekse normalize edilmiş Jones vektörü

$$J^* \cdot J = 1 \quad (3.4)$$

şeklindedir. Genel eliptik polarizasyon durumunu,

$$J(\psi, \delta) = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 \\ e^{i\delta} & \sin \psi \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

vektörü gösterir. Bazı polarizasyon durumlarının Jones vektörleri verilmiştir (Şekil 3.10).

Eliptik Polarizasyon	Jones vektörü	$(\delta, \psi)$	$(\phi, \theta)$
	$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$(0, 0)$	$(0, 0)$
	$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$	$(0, \pi/2)$	$(\pi/2, 0)$
	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$	$(0, \pi/4)$	$(\pi/4, 0)$
	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -i \end{pmatrix}$	$(-\pi/2, \pi/4)$	$(0, \pi/4)$
	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}$	$(\pi/2, \pi/4)$	$(0, -\pi/4)$

Şekil 3.11. Seçilen polarizasyon durumlarının Jones vektörleri

### 3.3.2. Jones matris hesabı

Sıvı Kristallerde ışığın polarizasyonundaki değişimlerin hesaplanmasında Jones matris metodu uygulanır. Kartezyen koordinat sisteminde iki eksen boyunca yayılan bir ışını Jones vektörü tarafından tanımlayan bir polarizasyon durumu

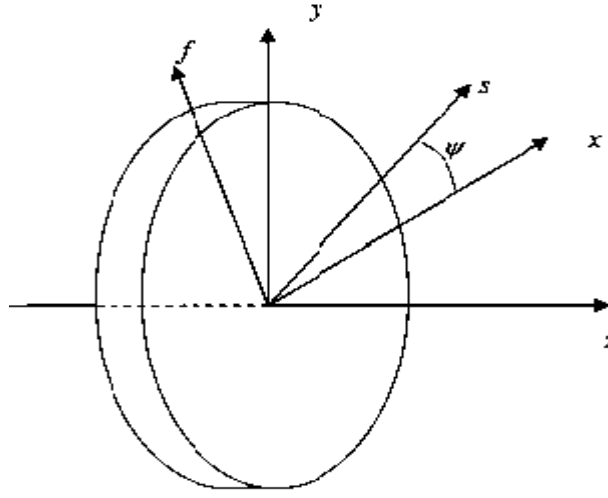
$$V = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

ile ifade edilir.  $V_x$  ve  $V_y$  karmaşık sayılar ve  $x$  ve  $y$  seçilmiş eksenlerdir. Polarizasyon durumunda değişikliği belirlemek için geciktirici plaka nedeniyle ışığın bozulması plakanın lineer kombinasyonu içinde hızlı ve yavaş bileşenlerine gerek duyulur.

Bu koordinat değişimi,

$$\begin{bmatrix} V_s \\ V_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = R(\psi) \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

ifadesiyle verilir.  $R(\psi)$  dönüşüm matrisi  $V_s$  yavaş bileşen ve  $V_f$  hızlı bileşendir.  $V$ 'nin eğrilik açısı  $\psi$  ise  $xy$  koordinat sistemi ile  $sf$  koordinat sistemi arasındaki açı olarak tanımlanır.  $x$  eksen dönmeye eksenidir (Şekil 3.12).  $R(\psi)$  dönüşüm matrisi ise,



Şekil 3.12. Eğrilik açısıyla geciktirici levhanın, sabitlenmiş  $xy$ -koordinat sistemiyle  $sf$ -koordinat sisteminde birbirine göre durumları

$$R(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

eşitliğiyle gösterilir.

### 3.3.3. Polarizör'ün sistemdeki işlevi

Sıvı kristaller için genellikle çizgisel polarizörler kullanılır. Çizgisel polarizör ışığı çizgisel olarak döndürür. Bir polarizörün iletimi paralel ve dik olarak ikiye ayrılır:

$T_1$  = iletim eksenine paralel polarizasyon ışık iletimi

$T_2$  = iletim eksenine dik polarizasyon ışık iletimi

İdeal bir polarizör için  $T_1$  ve  $T_2$ 'nin 0 olması beklenir. Fakat gerçek polarizörlerde  $T_1$  her zaman 1'den küçük ve  $T_2$  her zaman 0'dan küçüktür. Yüksek performanslı uygulamalarda  $T_1$ 'değerinin yüksek olması tercih edilir. Böyle polarizörler cihazlarda yansıtmayı üst düzeyde tutmak için kullanılır. Sönümlendirme oranı olarak bilinen bir parametre

$$\text{Sönümlendirme Oranı} = \frac{T_1}{T_2} \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilir. Polarizörün verim oranı yüzde olarak tanımlanırsa

$$\text{Polarizasyon Verimi} = \sqrt{\frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}} \times \%100 \quad (3.10)$$

olarak belirlenir. Bir ışığın polarizörden geçtikten sonraki iletimi aritmetik ortalama ile

$$T_0 = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) \quad (3.11)$$

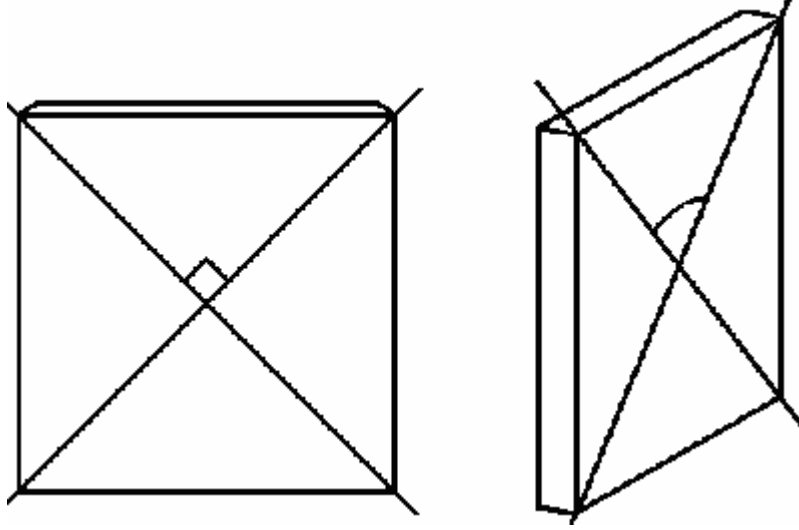
bağıntısıyla hesaplanır. Paralel polarizör için ışığın geçişi

$$T_p = \frac{1}{2}(T_1^2 + T_2^2) \quad (3.12)$$

şeklinde olur. Çapraz polarizör için ışığın geçişi ise,

$$T = T_1 \times T_2 \quad (3.13)$$

şeklindedir. Geçiş sırasındaki sızma polarizörden geçen ışığın oranının büyük değerleri için çok fazladır. Bu sızmanın normal olmayan oranda olduğu çapraz polarizörlerden anlaşılabilir. Burada kesişme açısı tam olarak 90 değildir. Eğrilik açısı 45 olduğunda sızma en düşük durumdadır (Şekil 3.13).



Şekil.3.13. Algilanan kesişme açısı

### 3.3.4. Geçen ışığın şiddeti

Jones vektör gösterimiyle optik sistemde ilerleyen ışığın iletirme şiddeti hesaplanabilir. Işık için Jones vektörü,

$$E = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $E_x$  ve  $E_y$ ,  $xy$  koordinat sisteminde bileşenleridir. Şiddetin hesaplanması

$$I = |E_x|^2 + |E_y|^2 \quad (3.15)$$

ifadesinden yapılır. Geçen ışın ise,

$$E' = \begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

bağıntısıyla bulunur. Optik geçirgenliğin hesaplanması ise,

$$T = \frac{|E'_x|^2 + |E'_y|^2}{|E_x|^2 + |E_y|^2} \quad (3.17)$$

bağıntısıyla yapılır.



#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Nematik sıvı kristallerin (NSK) en geniş uygulama alanları optik sistemleri içermektedir. Bu bakımdan NSK'lerin fiziksel özellikleri arasında optik ve elektrooptik özellikler en önemli özelliklerdendir. Çalışmamızda Materyal ve Metod Bölümü'nde belirlediğimiz yöntem ve deney setlerini kullanarak aşağıdaki ölçümler yapılmıştır:

1. Optik geçirgenlik;
2. Sabit elektrik alanda (DC) elektrooptik etki;

Deneyde kullanılan saf sıvı kristaller ve bunlardan elde edilen oranlı karışımlar Çizelge 4.1.'de verildi.

Çizelge 4.1. Kullanılan numunelerin karışım oranları

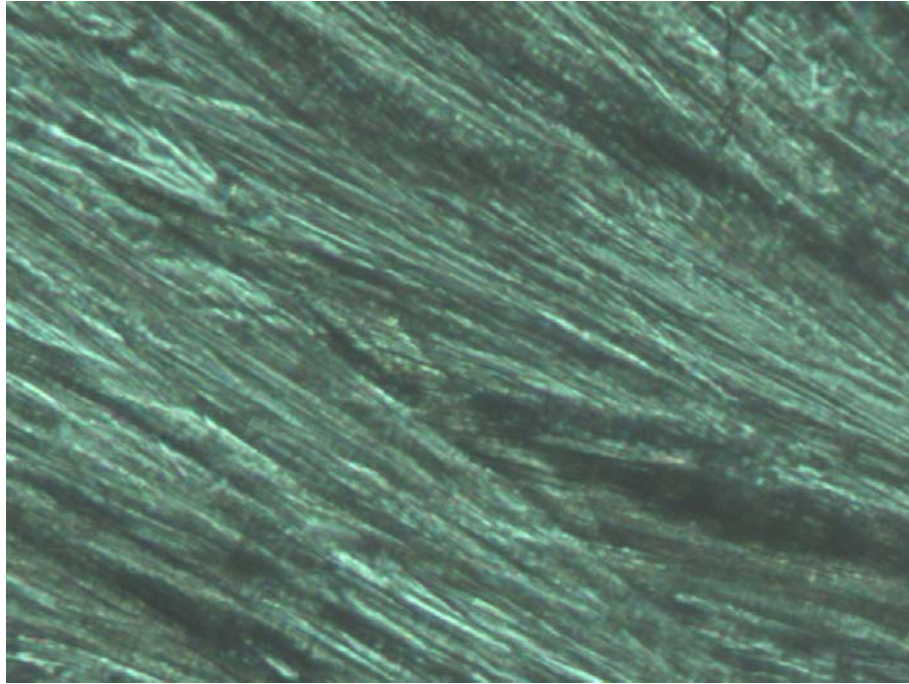
	Numune	Karışım Oranı	Adlandırma
1	8 OCB (4-(Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile)	% 100	S1
2	8 OCB 4'-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate	%20 %80	M1
3	8 OCB 4'-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate	%40 %60	M2
4	8 OCB 4'-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate	%60 %40	M3
5	8 OCB 4'-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate	%80 %20	M4
6	4'-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate	% 100	S2

Tüm bu çalışmalar NSK faz geçişlerini içine alan sıcaklık aralığında yapılmıştır. Aynı zamanda sistemden geçen ışığın polarizasyonunun dış etkenlere bağlı olarak nasıl değiştiği de incelenmiştir. Bu çalışmaların hepsi araştırılan 6 numunenin her biri için ayrı ayrı yapılmıştır.

#### 4.1. Optik Geçirgenlik Ölçümleri

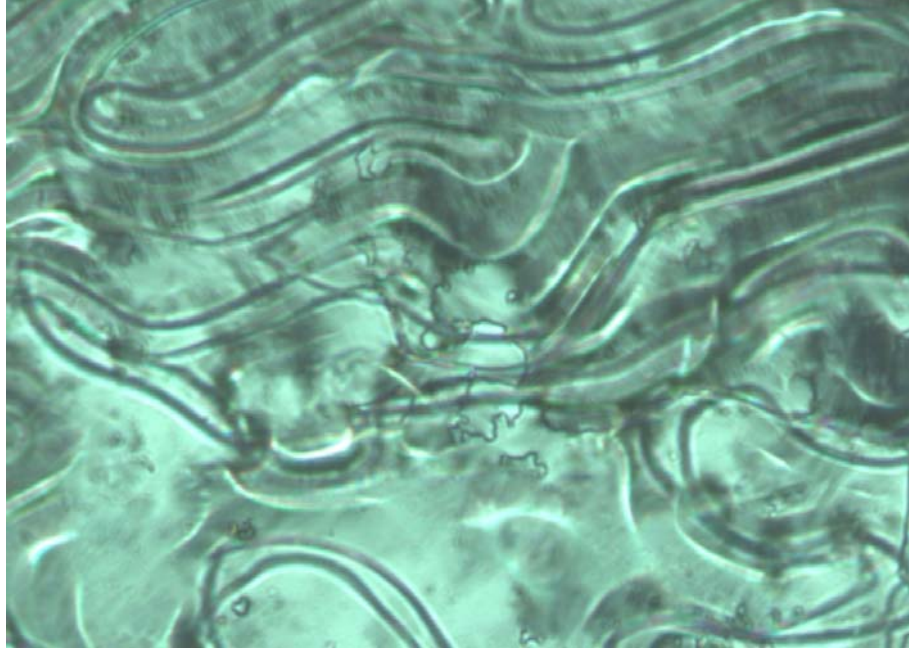
##### 4.1.1. S1 numunesi (8OCB)

Sıvı kristal numune hazırlandıktan sonra polarizasyon mikroskobunun ısıtma masası üzerinde ısıtma-soğutma işlemi sırasında CCD kamera ile faz dönüşümleri gözlemlendi ve farklı fazlarda (kristal ve nematik) görüntüler alınarak kaydedildi (Şekil 4.2. ve 4.3.).



Şekil 4.1. S1 numunesinin kristal halde CCD kamera ile çekilmiş görüntüsü

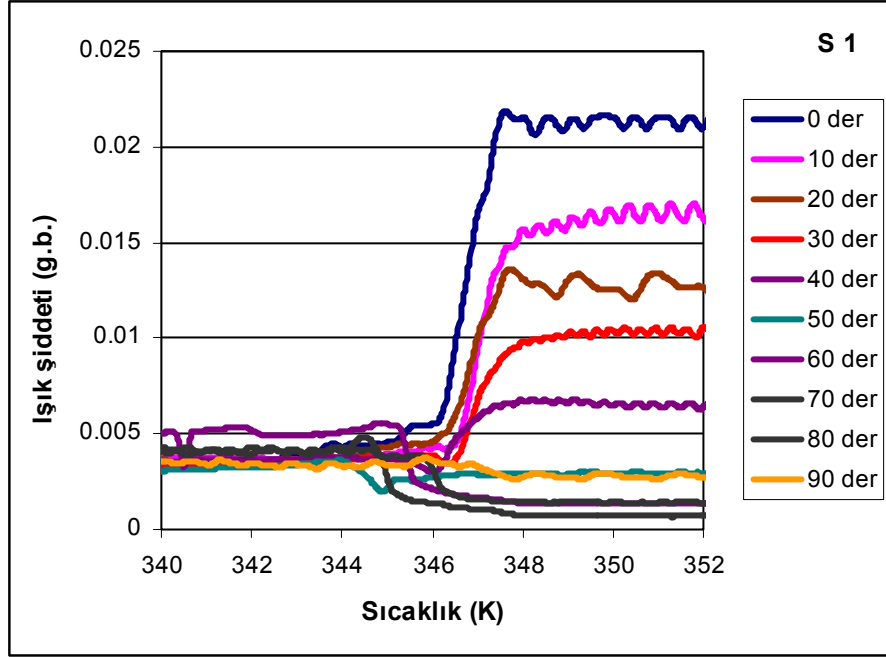
Bu numune için ölçümler 340 K (68°C) ile 352 K (80°C) sıcaklık aralığında yapıldı. Başlangıçta birbirine paralel yönelmiş polarizör ve analizör arasındaki açı 10°'lik adımlarla artırılarak, optik geçirgenlik sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü. Ölçümlerin sonuçları şekil 4.3'teki grafikte verildi.



Şekil 4.2. S1 numunesinin nematik halde CCD kamera ile çekilmiş görüntüsü

Numunemiz ısıtıldığı zaman  $T_1=340$  K sıcaklığında minimum değerde ve  $T_2=346$  K sıcaklığından başlayarak keskin artıyor ve  $T_3=347$  K sıcaklığından sonra optik geçirgenlik doyuma ulaşıyor. Optik geçirgenliğin belirli bir sıcaklık aralığında minimum düzeyde ve daha sonra sistemimizin izotropik faza geçmesi ile optik geçirgenlik artmaktadır. Analizörün açısı değiştirildiğinde ( $0^\circ$ 'den  $90^\circ$ 'ye kadar) sistemin optik geçirgenliği, faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklık aralığında minimum düzeyde olup birbirine yakın optik geçirgenlik değerlerinde seyretmekte ve izotropik faza geçildiğinde ise optik geçirgenliğin maksimum değerleri farklılık göstermektedir. Yani izotropik fazda Polarizör-NSK-Analizör sisteminden geçen ışığın polarizasyon açısına göre değişimi maksimumdan minimum değerine kadar değişiyor. Bunu şekil 4.4'te daha iyi görmekteyiz. S1 sıvı kristal numune için 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda ölçülen ışık şiddeti şekil 4.4'teki grafikte karşılaştırmalı olarak çizilmiştir. Şekil 4.5'te optik geçirgenliğin farklı sıcaklıklarda (342 K; 346 K ve 350 K) polarizasyon açısına göre değişimi verildi. Seçilmiş sıcaklıklar nematik fazı, faz dönüşüm sıcaklığını ve izotropik fazı göstermektedir. Bu grafikte saydamlığın izotropik fazda nematik faza göre daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Sistemin saydamlığının sıcaklığa göre değişimini daha net görmemiz için

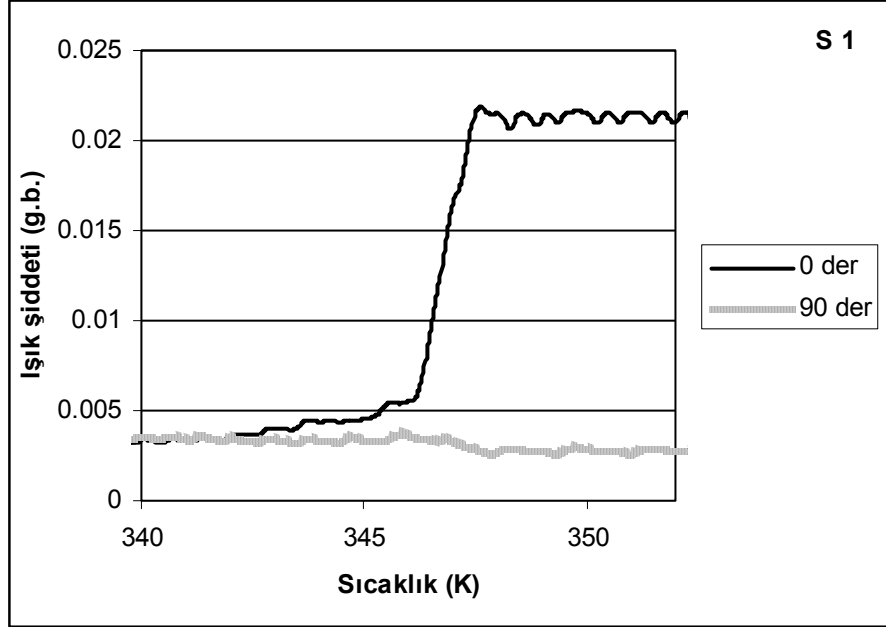
modülasyon spektrumunu şekil 4.6'daki grafikte verildi. Sıfır noktası 342 K ile 343 K sıcaklık değerinde gerçekleşmektedir.



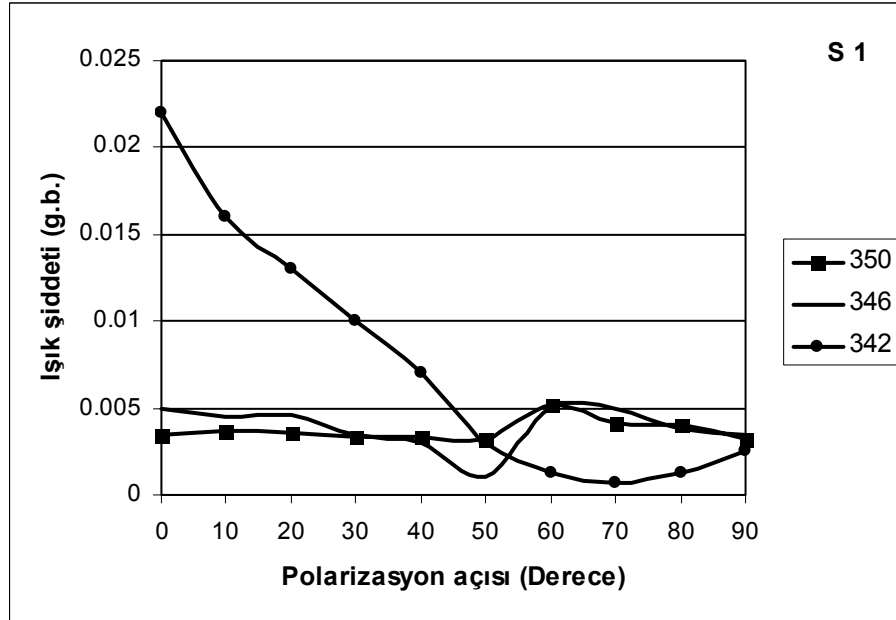
Şekil 4.3. S1 sıvı kristal numunesinin 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında farklı polarizasyon açılarındaki optik geçirgenlik eğrileri

Yine S1 sıvı kristal numunesi 340 K (67°C) ile 352 K (80°C) sıcaklık aralığında ve saat yönü tersinde incelendi. Başlangıçta birbirine paralel yönelmiş polarizör ve analizör arasındaki açı 10°'lik saat yönüne ters adımlarla artırılarak, geçen ışığın şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü. Ölçümlerin sonuçları şekil 4.7'deki grafikte verildi. Buna göre numunemiz ısıtıldığı zaman  $T_1=340$  K sıcaklığından başlayarak sistemden geçen ışığın şiddeti azalıyor.  $T_2=344$  K sıcaklığında minimum değere ulaşıyor.  $T_3=344$  K sıcaklığından başlayarak keskin artıyor ve  $T_4=346$  K sıcaklığından sonra optik geçirgenlik doyuma ulaşıyor. 340 K (67°C) ile 352 K (80°C) sıcaklık aralığında polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda (polarizör ve analizör arasındaki açıyı değiştirirken saat yönüne ters seçildi) ölçülen ışık şiddeti şekil 4.8'deki grafikte karşılaştırmalı olarak çizilmiştir. Optik geçirgenliğin farklı sıcaklıklarda (342 K; 346 K ve 350 K) polarizasyon açısına göre değişim grafiği şekil 4.9'da verildi. Seçilmiş sıcaklıklar nematik fazı, faz dönüşüm sıcaklığını ve izotropik fazı göstermektedir. Bu grafikte saydamlığın izotropik fazda nematik faza göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

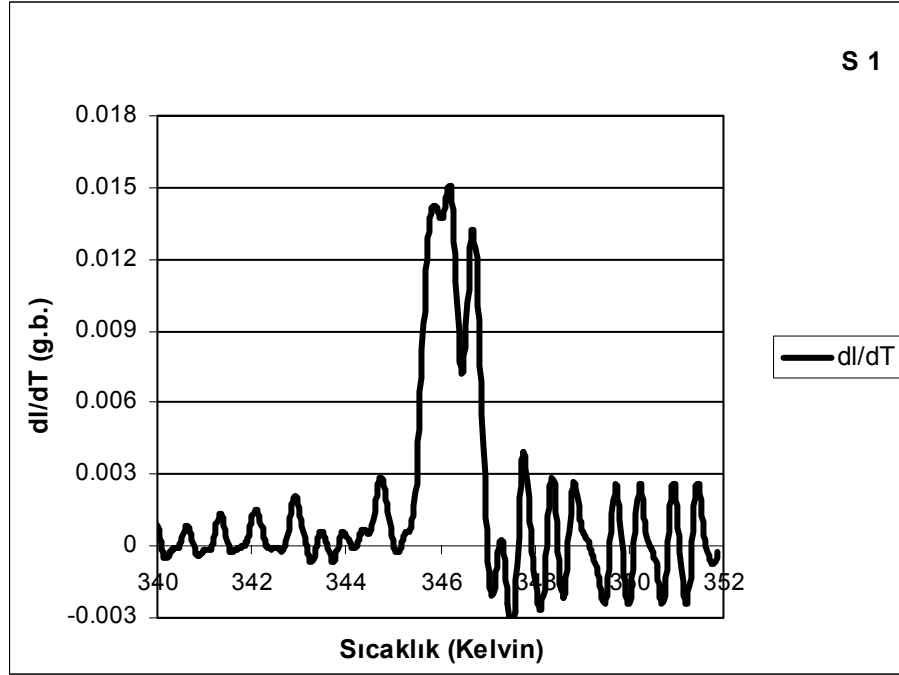
Sistemin saydamlığının sıcaklığa göre değişimi için modülasyon spektrumu şekil 4.10'daki grafikte verildi. Grafikten görüldüğü gibi sıfır noktası 342 K ile 343 K sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir.



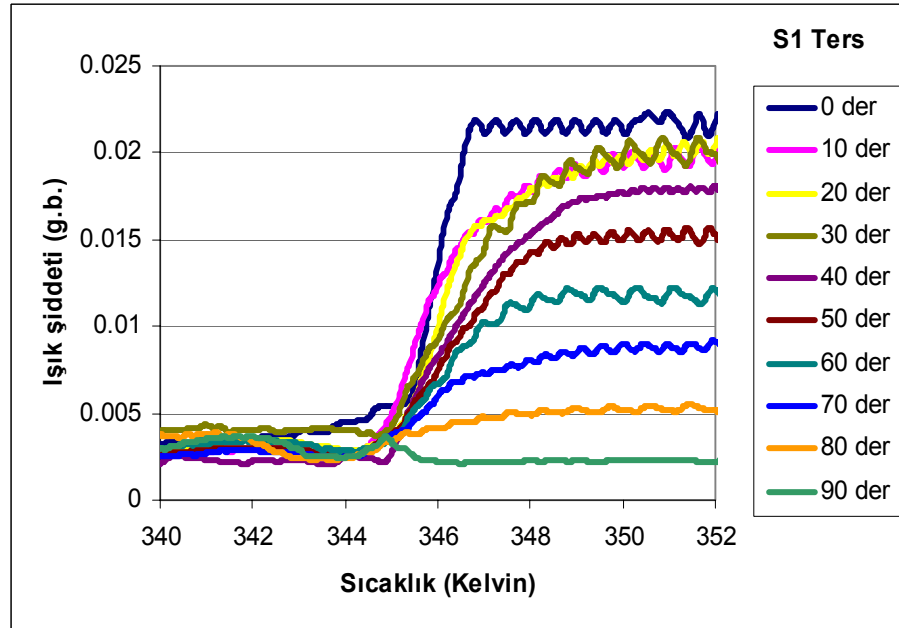
Şekil 4.4. S1 sıvı kristal numune için polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri



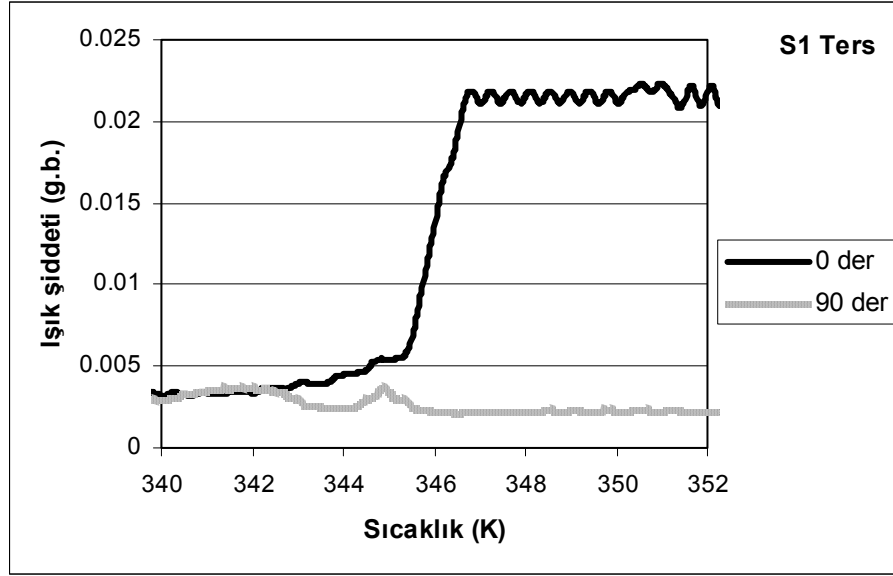
Şekil 4.5. Optik geçirgenliğin, 342 K; 346 K ve 350 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri



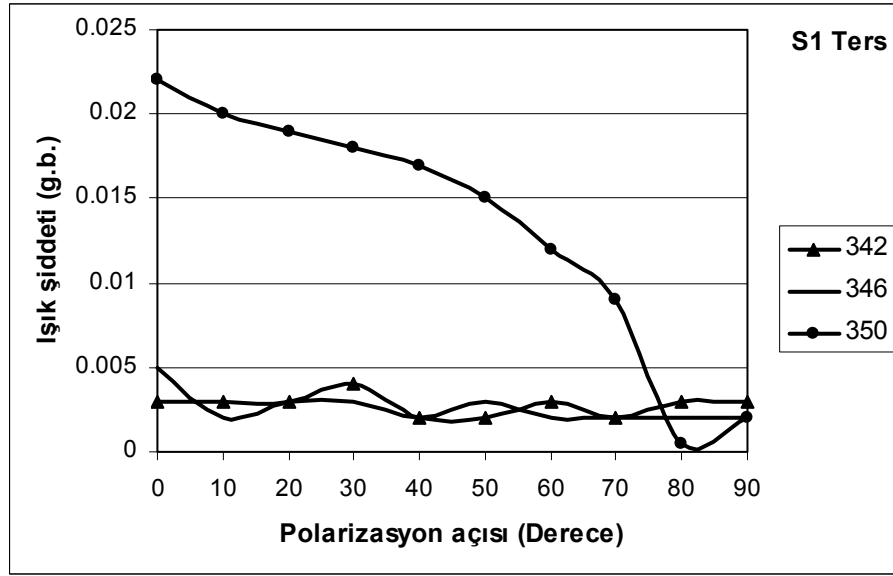
Şekil 4.6. S1 sıvı kristal numunenin, 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında, optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi



Şekil 4.7. S1 sıvı kristal numunenin 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında, farklı açılarda (polarizör ve analizör arasındaki açıyı değiştirirken saat yönüne ters seçildi) optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 4.8. S1 sıvı kristal numune için 340 K ile 352 K sıcaklık aralığında saat tersi yönde polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri

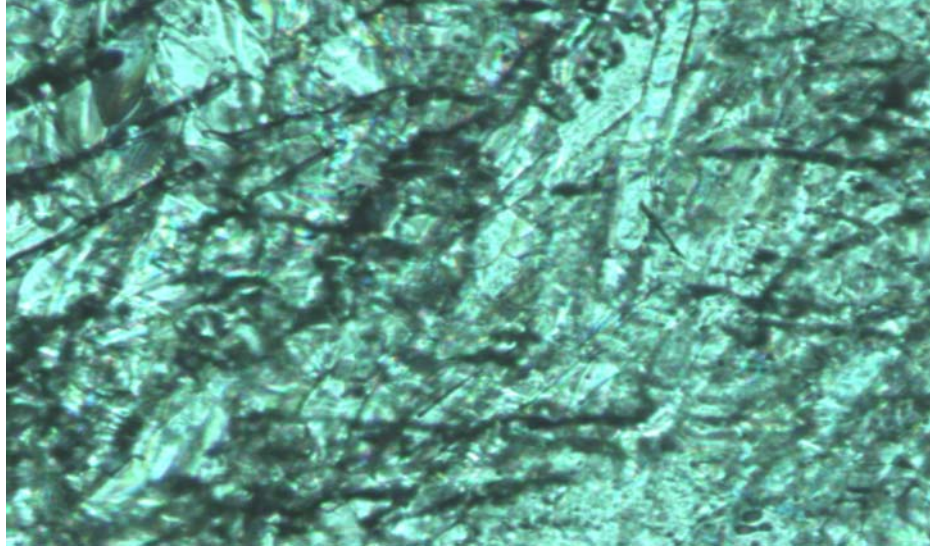


Şekil 4.9. S1 numunesinin optik geçirgenliğinin; 342K, 346 K ve 352 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri

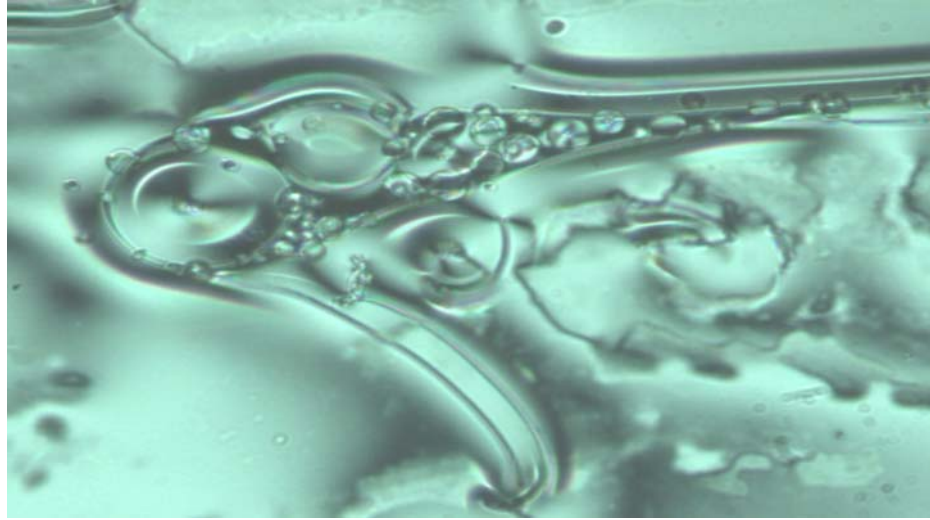
#### 4.1.2. S2 numunesi

S2 sıvı kristal numune polarizasyon mikroskobunun ısıtma masası üzerinde ısıtma-soğutma işlemi sırasında CCD kamera ile sıvı kristalde ısınma ve soğuma sırasındaki faz dönüşümleri gözlemlendi ve farklı fazlarda (kristal ve nematik) görüntüler alınarak kaydedildi (Şekil 4.10 ve 4.11). Numunemiz ısıtıldığı zaman

$T_1=340$  K sıcaklığında minimum değerde ve  $T_2=349$  K sıcaklığından başlayarak keskin artıyor ve  $T_3=350$  K sıcaklığından sonra optik geçirgenlik doyuma ulaşıyor



Şekil 4.10. S2 numunesinin kristal halde CCD kamera ile çekilmiş görüntüsü

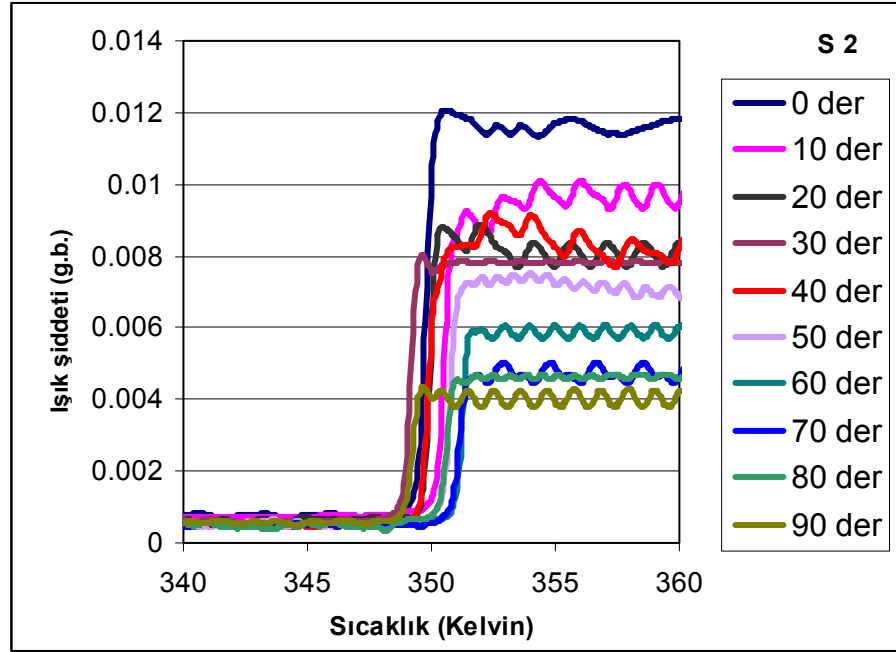


Şekil 4.11. S2 numunesinin nematik halde CCD kamera ile çekilmiş görüntüsü

Optik geçirgenliğin belirli bir sıcaklık aralığında minimum düzeyde gerçekleşmesi bu sıcaklık aralığında faz dönüşümünün gerçekleşmesine bağlıdır ve daha sonra sistemimizin izotropik faza geçmesi ile optik geçirgenliğin arttığını gözlemekteyiz. Ayrıca analizörün açısı değiştirildiğinde ( $0^\circ$ 'den  $90^\circ$ 'ye kadar) sistemin optik geçirgenliği, faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklık aralığında minimum düzeyde olup birbirine yakın optik geçirgenlik değerlerinde seyretmekte, izotropik faza geçildiğinde ise optik geçirgenliğin maksimum değerleri farklılık



göstermektedir (Şekil 4.12). S2 sıvı kristal numune için 340 K (67°C) ile 360 K (87°C) sıcaklık aralığında polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda ölçülen ışık şiddeti şekil 4.13'deki grafikte karşılaştırmalı olarak çizilmiştir.



Şekil 4.12. S2 sıvı kristal numunesinin 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarındaki optik geçirgenlik eğrileri

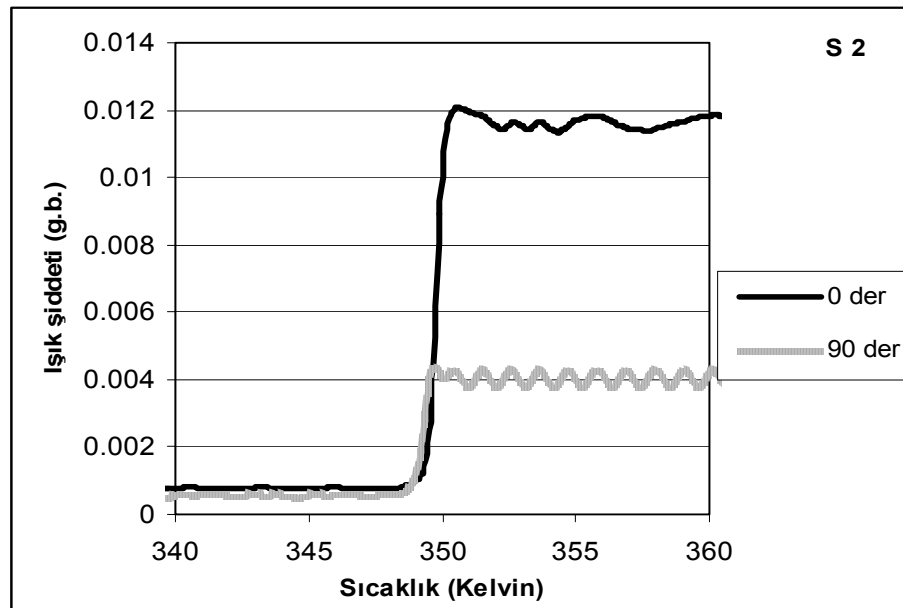
S2 numunesi için optik geçirgenliğin farklı sıcaklıklarda (345 K; 349 K ve 355 K) polarizasyon açısına göre değişimi şekil 4.14'de verildi. Seçilmiş sıcaklıklar nematik fazı, faz dönüşüm sıcaklığını ve izotropik fazı göstermektedir. Bu grafikte saydamlığın izotropik fazda nematik faza göre daha yüksek olduğu faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklıklarda ise yüksek saçılmadan dolayı saydamlık minimum düzeydedir. Sistemin saydamlığının sıcaklığa göre değişimini daha net görmemiz için modülasyon spektrumu şekil 4.15'deki grafikte verildi. Sıfır noktası 340 K ile 350 K sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. (Literatürde faz geçiş sıcaklığı 346 K ile 387 K arasındadır.)

#### 4.1.3. M1 karışımı

M1 numunesinde ölçümler 345 K (72°C) ile 360 K (87°C) sıcaklık aralığında yapıldı. Başlangıçta birbirine paralel yönelmiş polarizör ve analizör arasındaki açı

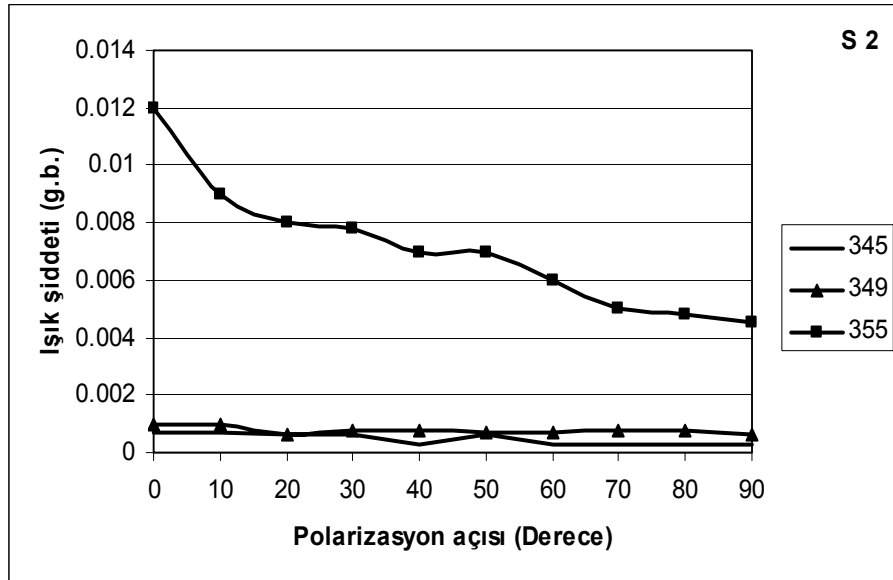
10°'lik adımlarla arttırılarak, optik geçirgenlik sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.16.). Numunemiz ısıtıldığı zaman  $T_1=345$  K sıcaklığında minimum değerde ve  $T_2=352$  K sıcaklığından başlayarak keskin artıyor ve  $T_3=354$  K sıcaklığından sonra optik geçirgenlik doyuma ulaşıyor.

Optik geçirgenliğin belirli bir sıcaklık aralığında minimum düzeyde gerçekleşmiş ve daha sonra sistemimizin izotropik faza geçmesi ile optik geçirgenlik artmıştır. Analizörün açısı değiştirildiğinde (0°'den 90°'ye kadar) sistemin optik geçirgenliği, faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklık aralığında minimum düzeyde olup birbirine yakın optik geçirgenlik değerlerinde seyretmekte, izotropik faza geçildiğinde ise optik geçirgenliğin maksimum değerleri farklılık göstermektedir. Yani izotropik fazda Polarizör-NSK-Analizör sisteminden geçen ışığın polarizasyon açısına göre değişimi maksimumdan minimum değerine kadar değişiyor. M1 sıvı kristal numune için 345 K (72°C) ile 360 K (87°C) sıcaklık aralığında polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda ölçülen ışık şiddeti şekil 4.17'de verildi. Şekil 4.18'de ise optik geçirgenliğin farklı sıcaklıklarda (348 K; 352 K ve 356 K) polarizasyon açısına göre değişimi verildi. Bu sıcaklıklar nematik fazı, faz dönüşüm sıcaklığını ve izotropik fazı göstermektedir.

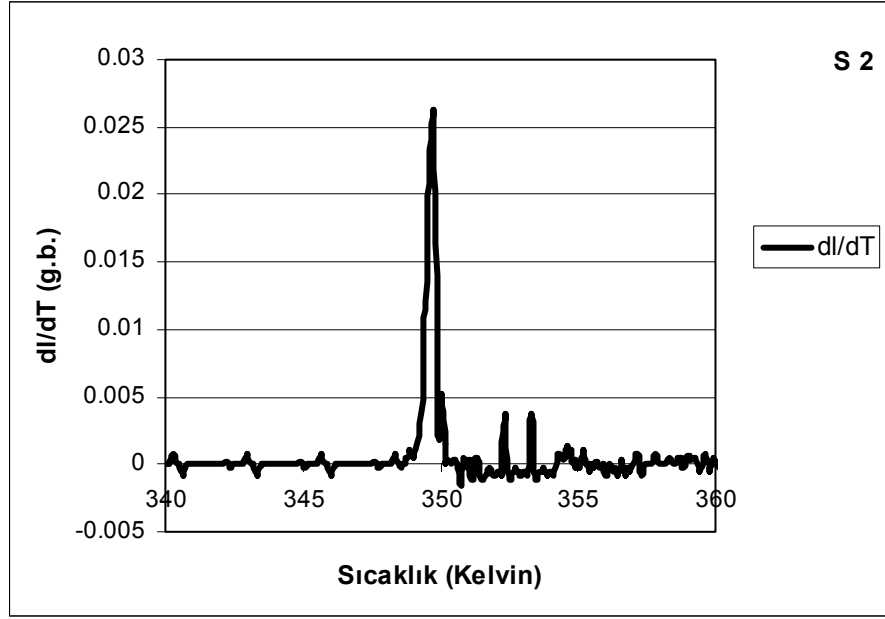


Şekil 4.13. S2 sıvı kristal numune için 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri

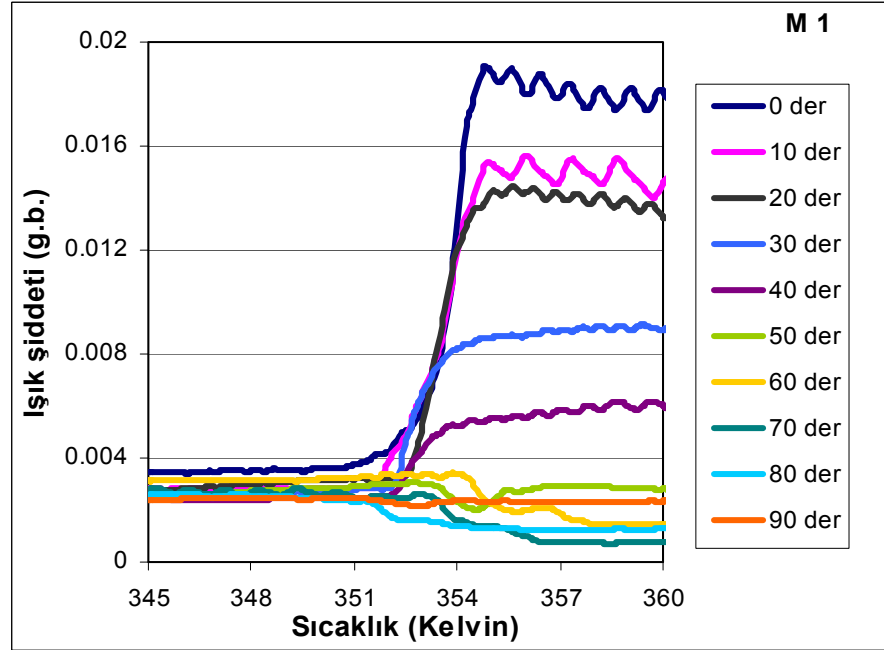
Bu grafikte saydamlığın izotropik fazda nematik faza göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sistemin saydamlığının sıcaklığa göre değişimini daha net görmemiz için modülasyon spektrumu şekil 4.19'daki grafikte verildi. Sıfır noktası 345 K ile 352 K sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. M1 sıvı kristal numunesinin ölçümleri 345 K (70°C) ile 360 K (87°C) sıcaklık aralığında ve saat tersi yönünde değerler alındı. Başlangıçta birbirine paralel yönelmiş polarizör ve analizör arasındaki açı 10°'lik saat yönüne ters yönde adımlarla artırılarak, geçen ışığın şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü. Numunemiz ısıtıldığı zaman  $T_1=345$  K sıcaklığında minimum değerde ve  $T_2=352$  K sıcaklığından başlayarak keskin artıyor ve  $T_3=354$  K sıcaklığından sonra optik geçirgenlik doyuma ulaşıyor (Şekil 4.20). Optik geçirgenliğin belirli bir sıcaklık aralığında minimum düzeyde gerçekleşmesi bu sıcaklık aralığında faz dönüşümünün gerçekleşmesine bağlıdır ve daha sonra sistemimizin izotropik faza geçmesi ile optik geçirgenliğin arttığını gözlemekteyiz. Ayrıca analizörün açısı değiştirildiğinde (0°'den 90°'ye kadar) sistemin optik geçirgenliği, faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklık aralığında minimum düzeyde olup birbirine yakın optik geçirgenlik değerlerinde seyretmekte, izotropik faza geçildiğinde ise optik geçirgenliğin maksimum değerleri farklılık göstermektedir. Yani izotropik fazda Polarizör-NSK-Analizör sisteminden geçen ışığın polarizasyon açısına göre değişimi maksimumdan minimum değerine kadar değişiyor.



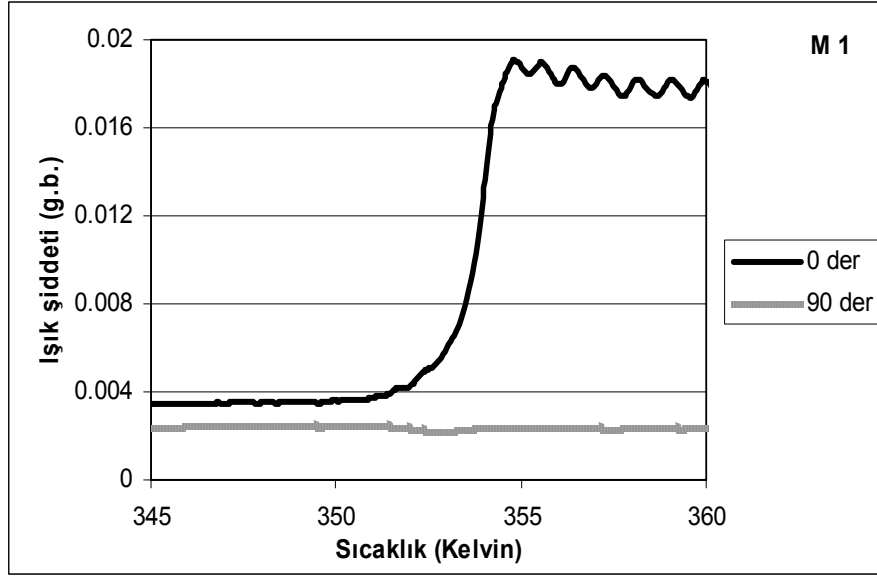
Şekil 4.14. Optik geçirgenliğin; 340 K, 348 K ve 362 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri



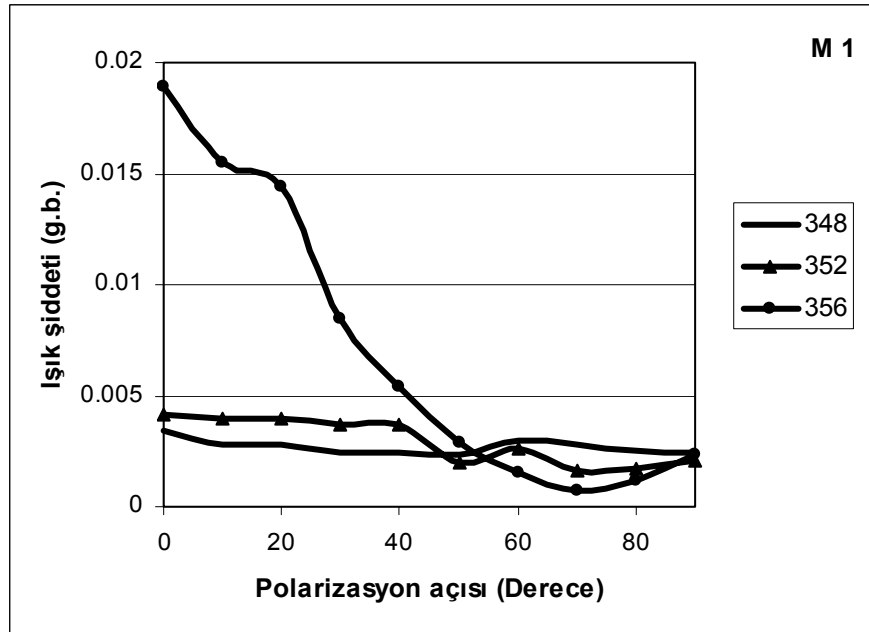
Şekil 4.15. 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, S2 numunesinin optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi



Şekil 4.16. M1 sıvı kristal numunesinin 345 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri

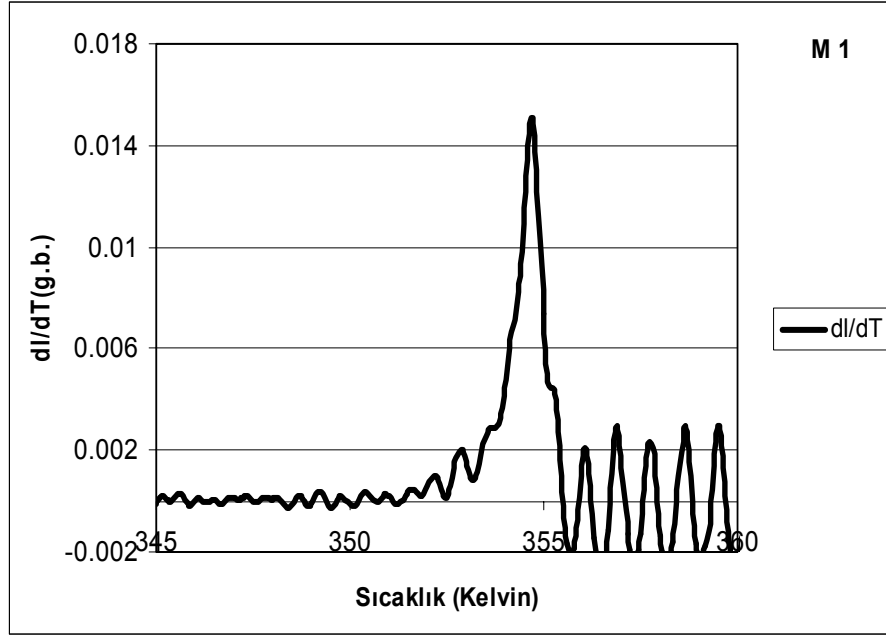


Şekil 4.17. M1 sıvı kristal numune için 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri

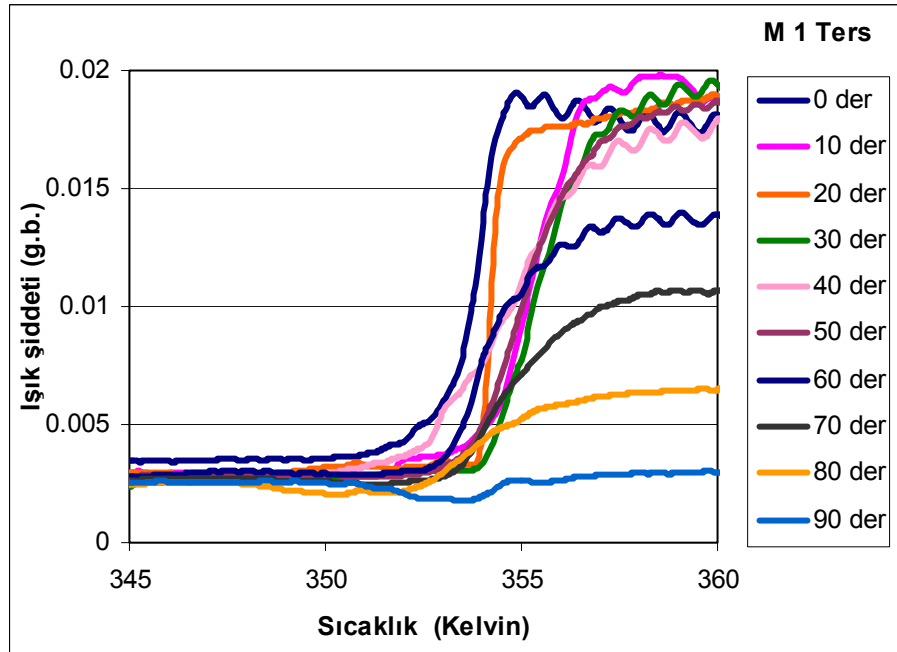


Şekil 4.18. M1 numunesinin optik geçirgenliğinin; 348 K, 352 K ve 356 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri

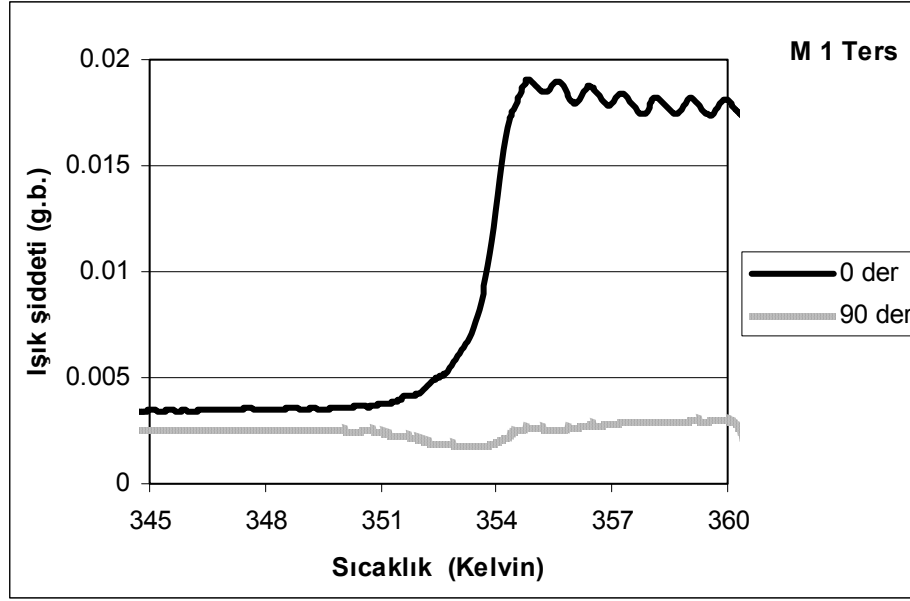
345 K (67°C) ile 360 K (87°C) sıcaklık aralığında polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda ölçülen ışık şiddeti şekil 4.21'deki grafikte karşılaştırmalı olarak çizilmiştir. Optik geçirgenliğinin farklı sıcaklıklarda (348 K, 353 K ve 357 K) polarizasyon açısına göre değişimi şekil 4.22'de verildi. Seçilmiş sıcaklıklar nematik fazı, faz dönüşümünü ve izotropik fazı göstermektedir



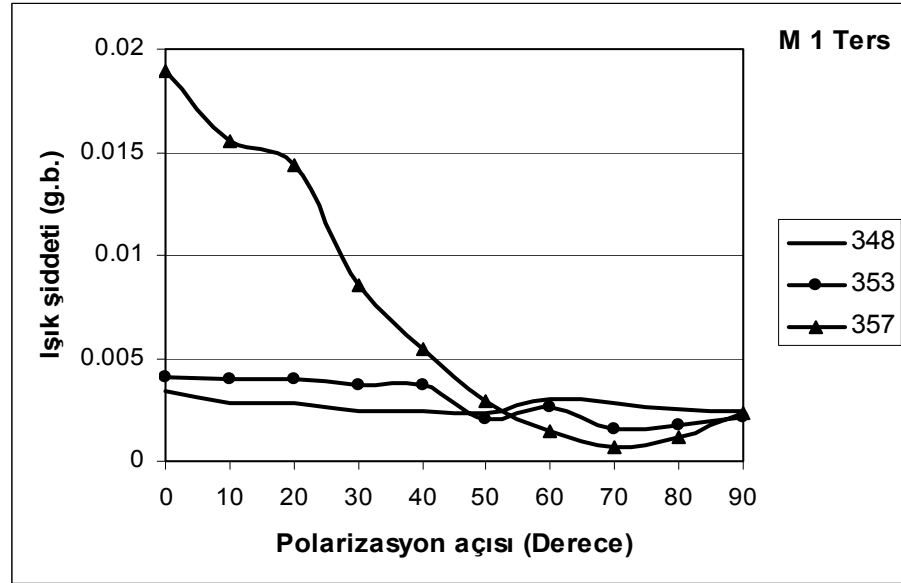
Şekil 4.19. 345 K ile 360 K sıcaklık aralığında, M1 numunesinin optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi



Şekil 4.20. M1 sıvı kristal numunesinin 345 K ile 360 K sıcaklık aralığında, saat tersi yönünde farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 4.21. M1 sıvı kristal numune için 345 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri

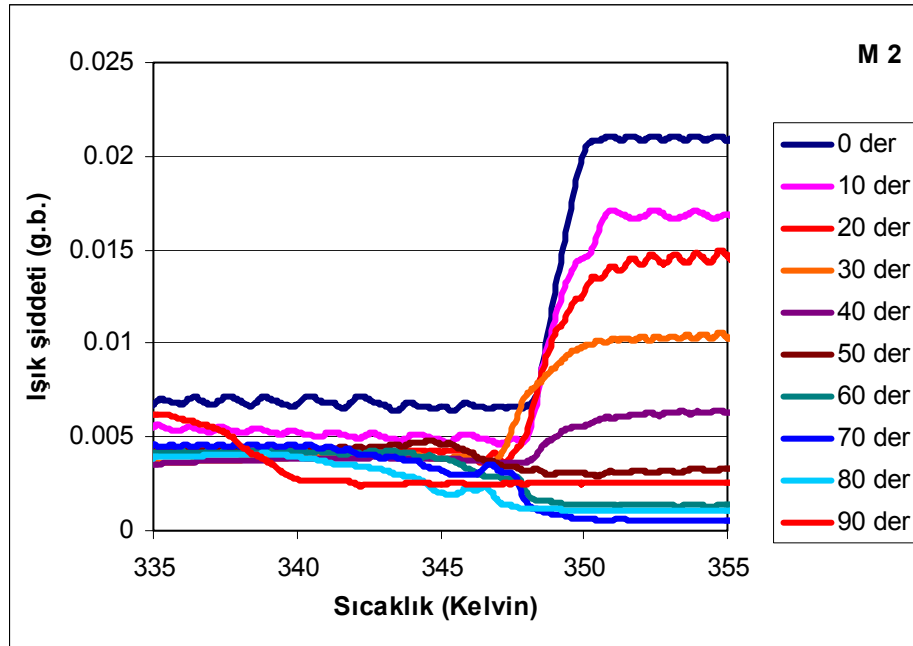


Şekil 4.22. M1 numunesinin optik geçirgenliğinin; 348 K, 353 K ve 357 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri

#### 4.1.4. M2 karışımı

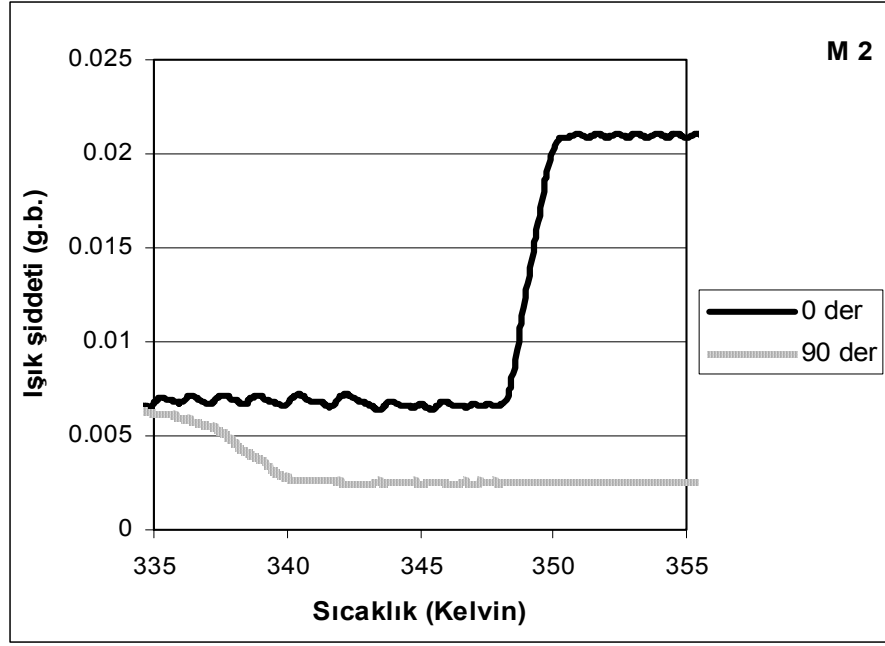
M2 numunesi için ölçümler 335 K (62°C) ile 355 K (82°C) sıcaklık aralığında yapıldı. Başlangıçta birbirine paralel yönelmiş polarizör ve analizör arasındaki açı 10°'lik adımlarla artırılarak, optik geçirgenlik sıcaklığın fonksiyonu

olarak ölçüldü (Şekil 4.23). Numunemiz ısıtıldığı zaman  $T_1=335$  K sıcaklığında minimum değerde ve  $T_2=347$  K sıcaklığından başlayarak keskin artıyor ve  $T_3=349$  K sıcaklığından sonra optik geçirgenlik doyuma ulaşıyor. Analizörün açısı değiştirildiğinde ( $0^\circ$ 'den  $90^\circ$ 'ye kadar) sistemin optik geçirgenliği, faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklık aralığında minimum düzeyde olup birbirine yakın optik geçirgenlik değerlerinde seyretmekte fakat izotropik faza geçildiğinde ise optik geçirgenliğin maksimum değerleri farklılık göstermektedir.  $335$  K ( $62^\circ\text{C}$ ) ile  $355$  K ( $82^\circ\text{C}$ ) sıcaklık aralığında polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda ölçülen ışık şiddeti şekil 4.24'deki grafikte karşılaştırmalı olarak çizilmiştir. Şekil 4.25'de optik geçirgenliğin farklı sıcaklıklarda ( $340$  K;  $347$  K ve  $352$  K) polarizasyon açısına göre değişimi verildi. Sistemin saydamlığının sıcaklığa göre değişimini daha net görmemiz için modülasyon spektrumu şekil 4.26'daki grafikte verildi.

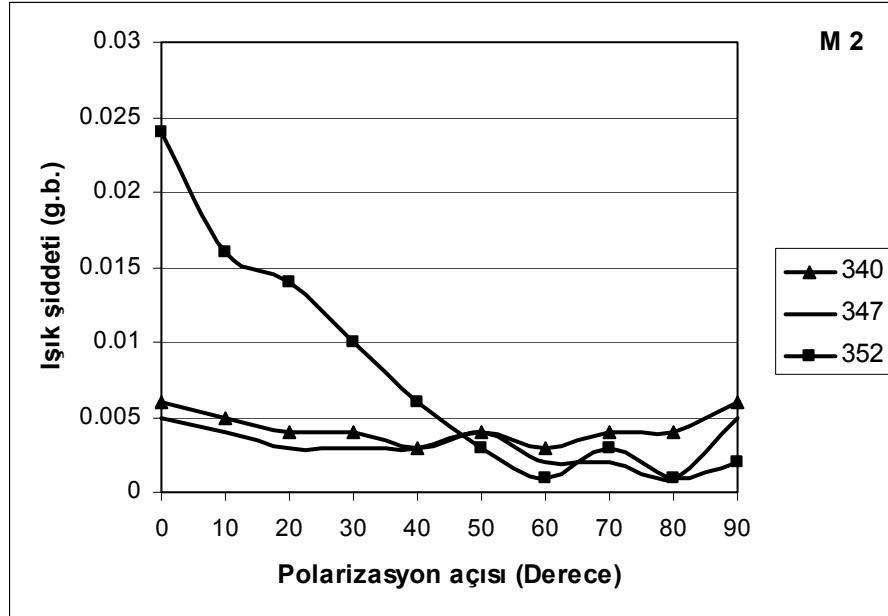


Şekil 4.23. M2 sıvı kristal numunesinin 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarında optik geçirgenlik eğrileri

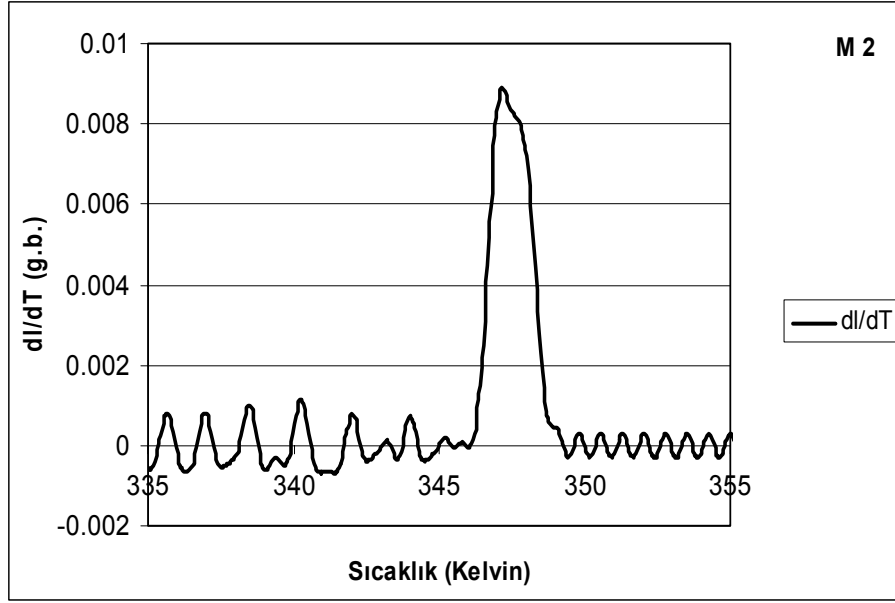




Şekil 4.24. M2 sıvı kristal numune için 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 4.25. M2 numunesinin optik geçirgenliğinin; 340 K, 347 K ve 352 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri

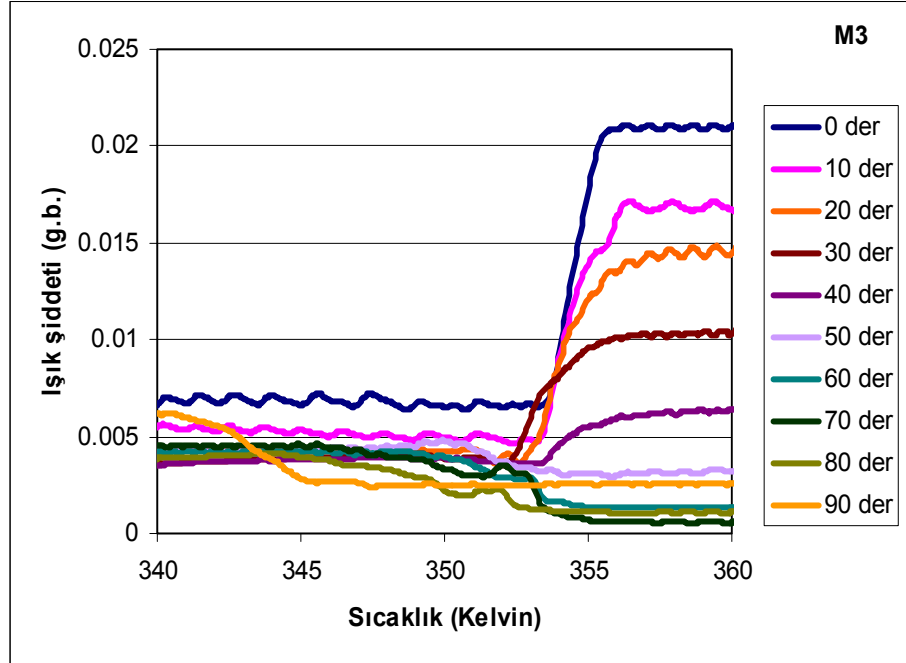


Şekil 4.26. 335 K ile 355 K sıcaklık aralığında, M2 numunesinin optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi

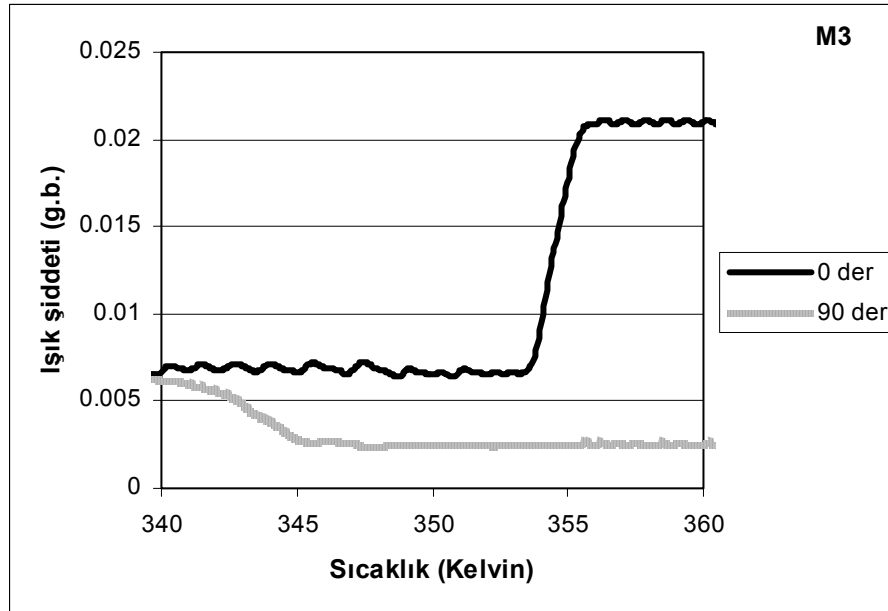
#### 4.1.5. M3 karışımı

M3 numunesi için ölçümler 340 K (67°C) ile 360 K (87°C) sıcaklık aralığında yapıldı. Başlangıçta birbirine paralel yönelmiş polarizör ve analizör arasındaki açı 10°'lik adımlarla arttırılarak, optik geçirgenlik sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.27). Grafikten görüldüğü gibi numunemiz ısıtıldığı zaman  $T_1=340$  K sıcaklığında minimum değerde ve  $T_2=353$  K sıcaklığından başlayarak keskin artıyor ve  $T_3=355$  K sıcaklığından sonra optik geçirgenlik doyuma ulaşıyor. Burada sinyalin belirli bir sıcaklık aralığında minimum düzeyde gerçekleştiği ve daha sonra sistemimizin izotropik faza geçmesi ile optik geçirgenliğinin arttığını gözlemekteyiz. Analizörün açısı değiştirildiğinde (0°'den 90°'ye kadar) sistemin optik geçirgenliği, faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklık aralığında minimum düzeyde olup birbirine yakın optik geçirgenlik değerlerinde seyretmekte, izotropik faza geçildiğinde ise optik geçirgenliğinin maksimum değerleri farklılık göstermektedir. Bu numune için 340 K (67°C) ile 362 K (89°C) sıcaklık aralığında polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda ölçülen ışık şiddeti şekil 4.28'deki grafikte karşılaştırmalı olarak verildi. Optik geçirgenliğinin farklı sıcaklıklarda (345 K; 353 K ve 360 K) polarizasyon açısına göre değişimi Şekil 4.29'da verildi. Sistemin saydamlığının sıcaklığa göre değişimini daha net görmemiz

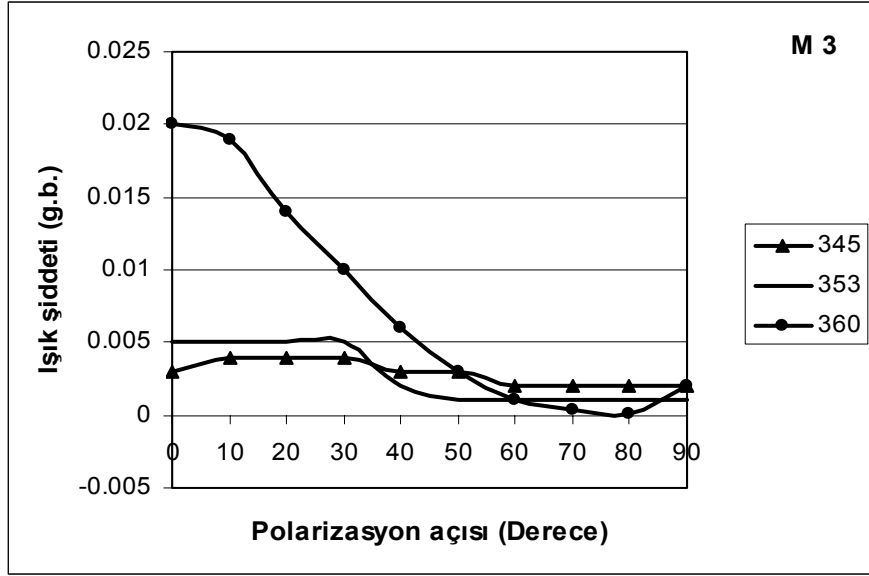
için modülasyon spektrumu şekil 4.30'daki grafikte verildi. Sıfır noktası 340 K ile 345 K sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir.



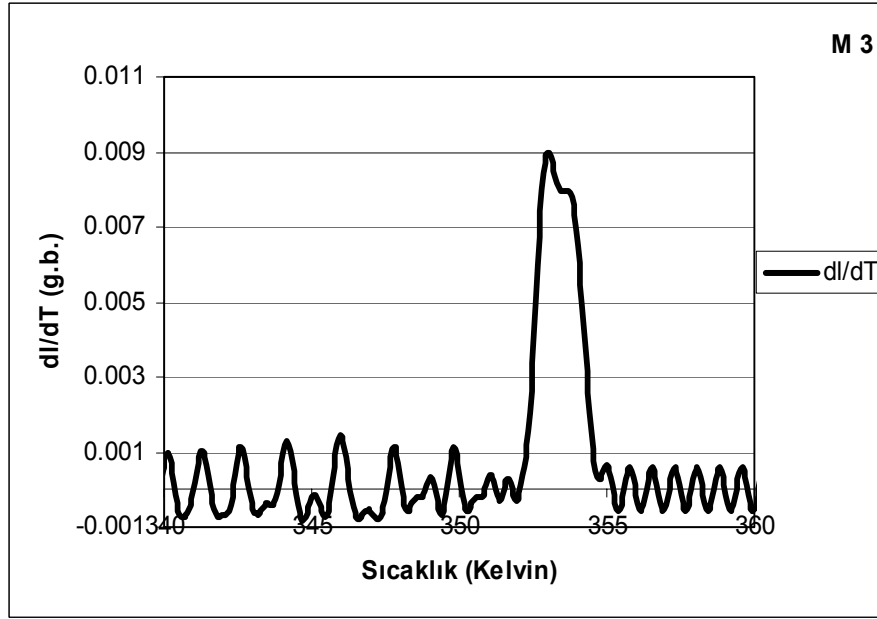
Şekil 4.27. M3 sıvı kristal numunesinin 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarındaki optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 4.28. M3 sıvı kristal numune için 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumdaki optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 4.29. M3 numunesini optik geçirgenliğin; 335 K, 348 K ve 362 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri

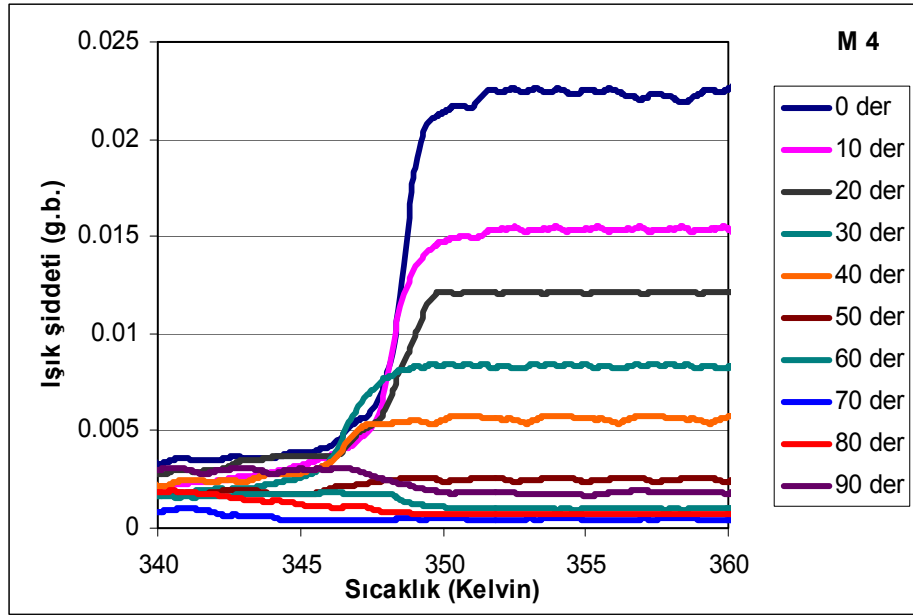


Şekil 4.30. 335 K ile 360 K sıcaklık aralığında, M3 numunesinin optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi

#### 4.1.6. M4 karışımı

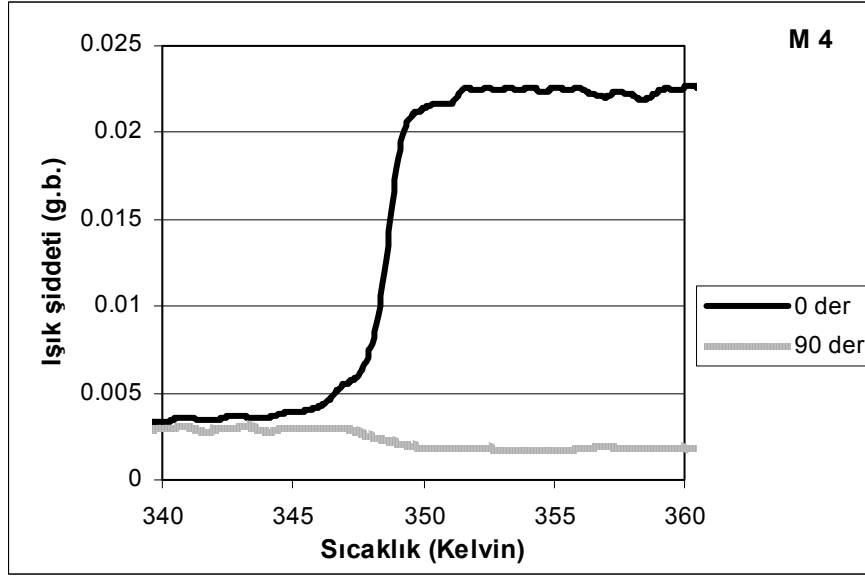
M4 numunesi için ölçümler 340 K (67°C) ile 360 K (87°C) sıcaklık aralığında yapıldı. Başlangıçta birbirine paralel yönelmiş polarizör ve analizör arasındaki açı 10°'lik adımlarla arttırılarak, optik geçirgenlik sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.31). Numunemiz ısıtıldığı zaman  $T_1=343$  K sıcaklığında minimum değerde ve  $T_2=347$  K sıcaklığından başlayarak keskin artıyor ve  $T_3=350$  K

sıcaklığından sonra optik geçirgenlik doyuma ulaşıyor. Analizörün açısı değiştirildiğinde ( $0^\circ$ 'den  $90^\circ$ 'ye kadar) sistemin optik geçirgenliği, faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklık aralığında minimum düzeyde olup birbirine yakın optik geçirgenlik değerlerinde seyretmekte, izotropik faza geçildiğinde ise optik geçirgenliğin maksimum değerleri farklılık göstermektedir. 340 K ( $67^\circ\text{C}$ ) ile 360 K ( $87^\circ\text{C}$ ) sıcaklık aralığında polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda ölçülen ışık şiddeti şekil 4.32'deki grafikte karşılaştırmalı olarak çizildi. Optik geçirgenliğin farklı sıcaklıklarda (342 K; 346 K ve 355 K) polarizasyon açısına göre değişimi şekil 4.33'de verildi. Sistemin saydamlığının sıcaklığa göre değişimini daha net görmemiz için modülasyon spektrumunda şekil 4.34'deki grafikte verildi. Sıfır noktası 346 K ile 349 K sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir

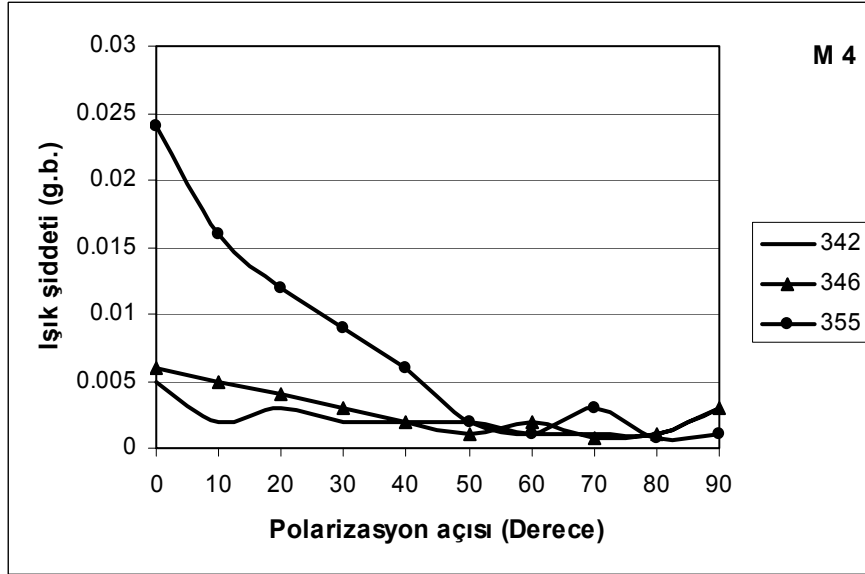


Şekil 4.31. M4 sıvı kristal numunesinin 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, farklı polarizasyon açılarındaki optik geçirgenlik eğrileri

Kullanılan sıvı kristal numunelerin saf ve karışım durumlarının katı-nematik ve nematik-sıvı faz geçiş sıcaklıkları çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelgeye göre  $\Delta T$  değeri en büyük olan, M2 karışımıdır. Bu durum sıvı kristal faz aralığının en geniş olduğu durumu göstermektedir (Çizelge 4.2.).



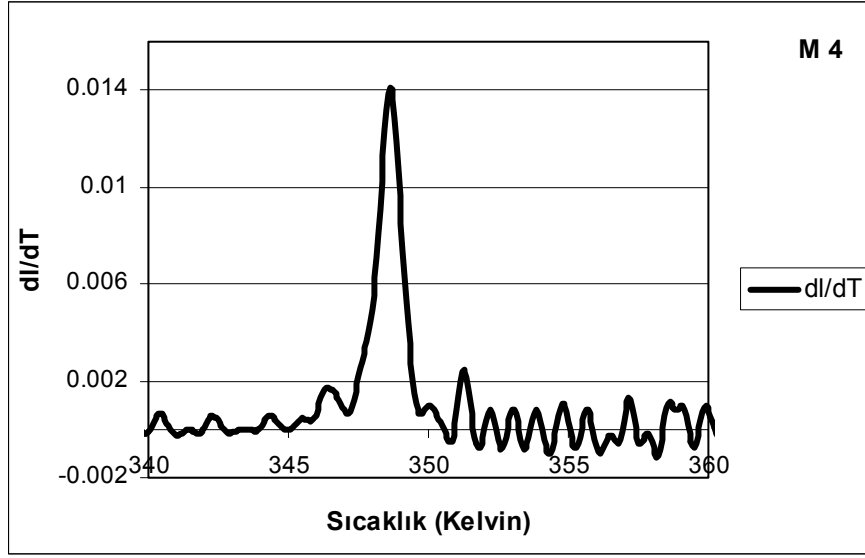
Şekil 4.32. M4 sıvı kristal numune için 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, polarizör ve analizörün birbirine paralel ve dik yöneldiği durumda optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 4.33. M4 numunesinin optik geçirgenliğinin; 342 K, 346 K ve 355 K sıcaklık değerlerinde polarizasyon açısına göre değişim eğrileri

Çizelge 4.2. Ölçülen numunelerin sıvı kristalik faz aralığı

Numune	Katı-Nematik (Kelvin)	Nematik- Sıvı (Kelvin)	$\Delta T$ (Kelvin)
S1	338	348	10
S2	326	350	24
M1	335	348	13
M2	325	353	28
M3	319	346	27
M4	335	346	8



Şekil 4.34. 340 K ile 360 K sıcaklık aralığında, M4 numunesini optik geçirgenliğinin sıcaklığa göre değişim eğrisi

#### 4.2. Sabit Elektrik Alanda (DC) Elektrooptik Etki

Hazırladığımız altı numune sabit elektrik alanda incelendi. Elektrik alan ışığın yayılma yönünde uygulandı. Sisteme uygulanan voltaj değerleri 0V-12V aralığındadır. Polarizör ve analizörün arasındaki açı  $0^\circ$  olarak belirlenmiş olup sisteme elektrik alan uygulanarak optik geçirgenlik incelendi. Bu durumda elektrik alan uyguladığımız sistemin optik geçirgenliği, elektrik alan uygulamadığımız zaman optik geçirgenliğe nazaran daha yüksek seviyededir. Sistemin saydamlığının artması uygulanan elektrik alanın NSK'in yönelim doğrultusunu değiştirmesinden kaynaklanmaktadır.

##### 4.2.1. S1 numunesi

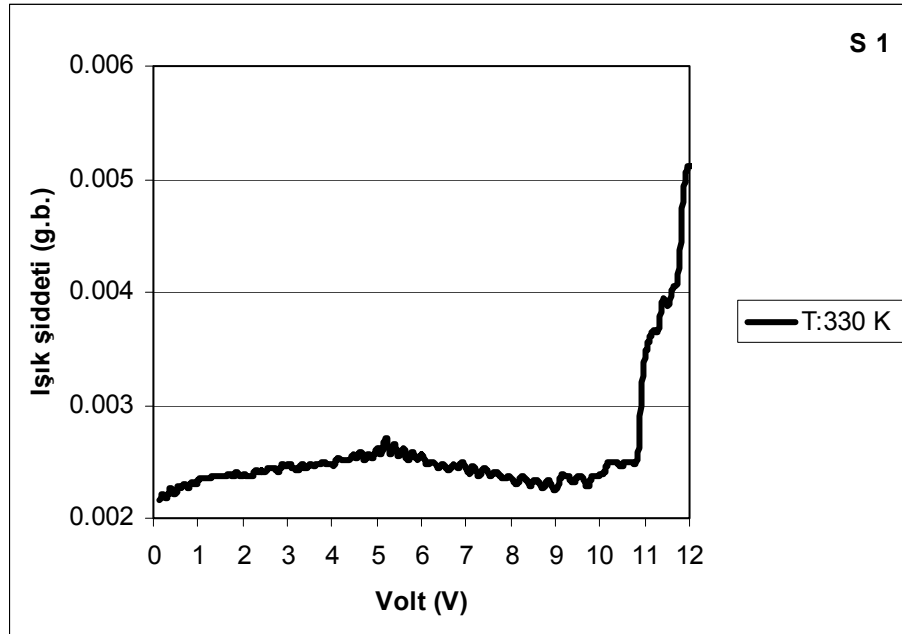
S1 numunesi 330 K ( $58^\circ\text{C}$ ) sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanın 0V-12V aralığında incelendi. Geçen ışığın şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.35). Numunemiz 10V değerine kadar ışık geçişinde fazla bir değişim göstermemesine karşın, 10V eşik değerinden sonra moleküler yönlendirme olduğundan optik geçirgenliği artmaktadır.

#### 4.2.2. S2 numunesi

S2 numunesi 337 K (65°C) sıcaklık değerinde ve sabit, dış elektrik alanın 0V-12V aralığında incelendi. Geçen ışığın şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.36). Numunemiz 12V değerine kadar ışık geçişinde fazla bir değişim göstermemektedir. Bunun nedeni uygulanan elektrik alanın moleküler yönlendirmenin gerçekleşmesi için gereken eşik değerinin altında olmasıdır.

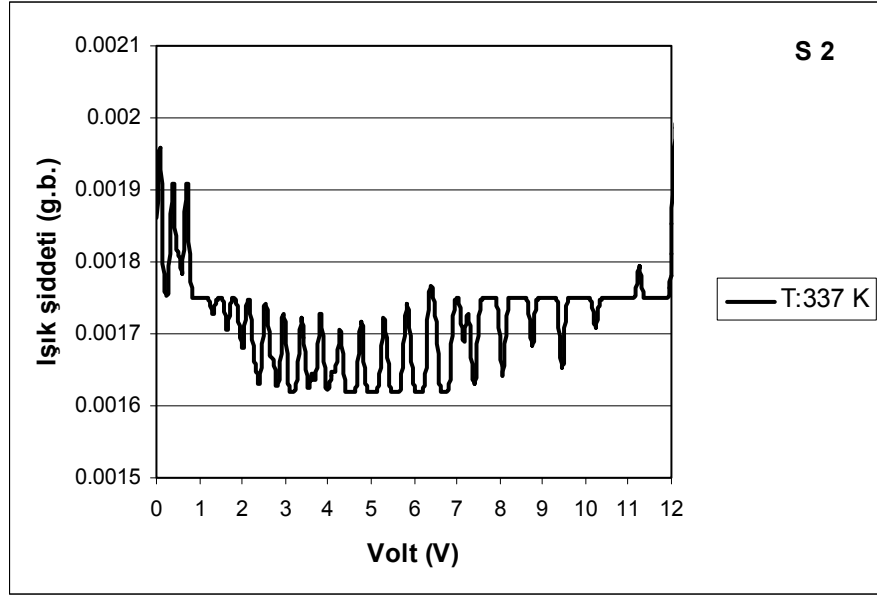
#### 4.2.3. M1 karışımı

M1 karışımı numunesi 330 K (58°C) sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanının 0V-12V aralığında incelendi. Geçen ışığın şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.37). Numunemiz 9V değerine kadar ışık geçişinde fazla bir değişim göstermemesine karşın, 9V eşik değerinden sonra moleküler yönlendirme oluştuğundan optik geçirgenliği artmaktadır.



Şekil 4.35. S1 sıvı kristal numunesinin 330 K sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanının 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri

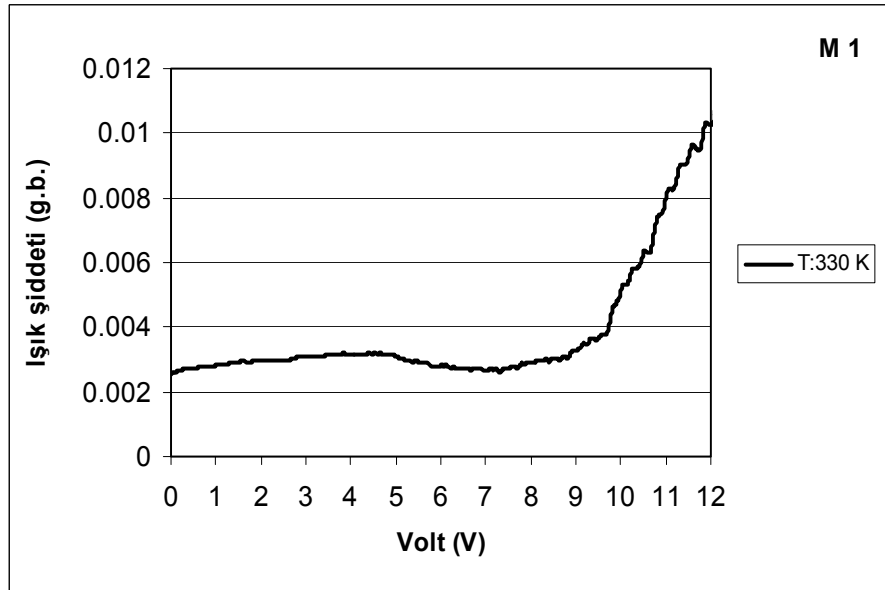




Şekil 4.36. S2 sıvı kristal numunesinin 337 K sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanın 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri

#### 4.2.4. M2 karışımı

M2 karışımı sıvı kristal numunesi 332 K (60°C) sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanının 0V-12V aralığında incelendi. Geçen ışığın şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.38). Numunemiz 10V değerine kadar ışık geçişinde fazla bir değişim göstermemesine karşın, 10V eşik değerinden sonra moleküler yönlendirme oluştuğundan optik geçirgenliği artmaktadır.



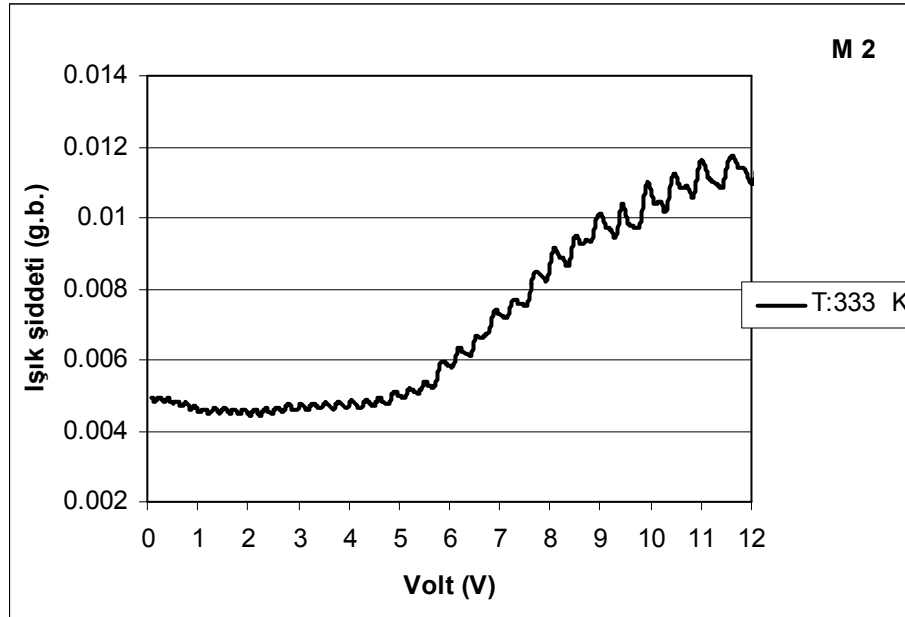
Şekil 4.37. M1 sıvı kristal numunenin 330 K sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanın 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri

#### 4.2.5. M3 karışımı

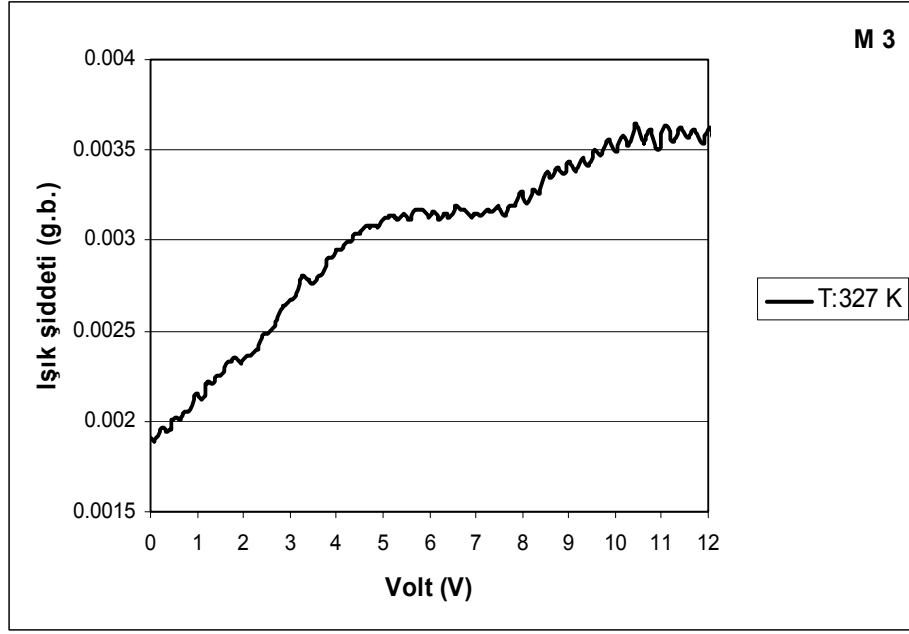
M3 karışımı numunesi 327 K (55°C) sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanının 0V-12V aralığında incelendi. Geçen ışığın şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.39.). Numunemiz 1V değerinden itibaren moleküler yönlendirme olduğundan optik geçirgenliği artmaktadır, fakat 10 V değerinden sonra geçirgenlik sabit kalmaktadır

#### 4.2.6. M4 karışımı

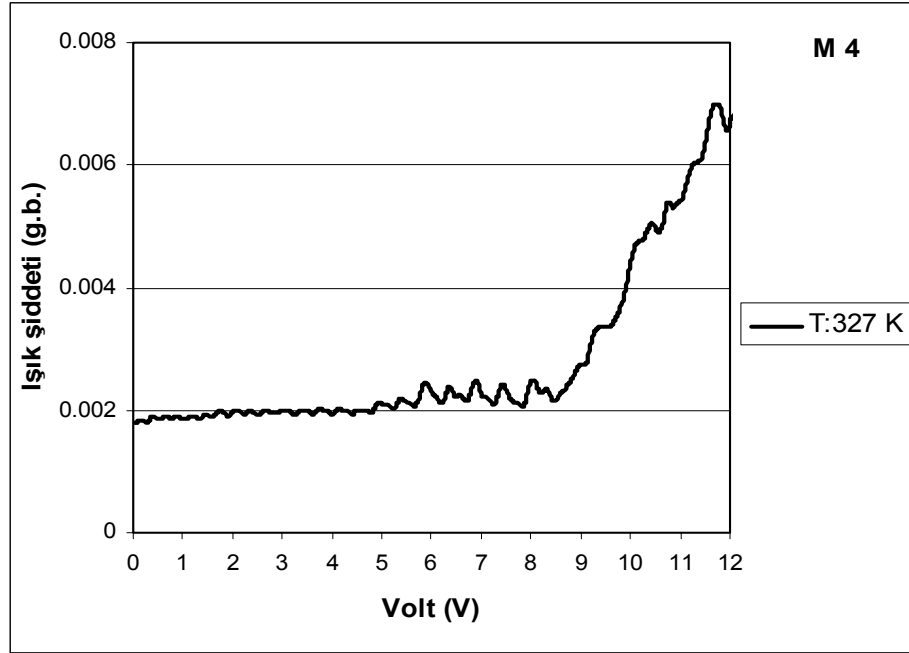
M4 karışımı sıvı kristal numuneyi 327 K (55°C) sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanın 0V-12V aralığında incelendi. Geçen ışığın şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü (Şekil 4.40). Numunemizin 9V değerine kadar ışık geçişi değerinde fazla bir değişim göstermemesine karşın, 9V eşik değerinden sonra moleküler yönlendirme olduğundan optik geçirgenliği artmaktadır.



Şekil 4.38. M2 sıvı kristal numunenin 333 K sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanın 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 4.39. M3 sıvı kristal numunenin 327 K sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanın 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 4.40. M4 sıvı kristal numunenin 327 K sıcaklık değerinde ve sabit elektrik alanın 0-12 V aralığında optik geçirgenlik eğrileri

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, aşağıda belirtilen sıvı kristal numuneler ve onların belirli oranlardaki karışımları kullanılarak nematik-izotropik faz dönüşümlerinin optik özellikleri ve nematik fazda elektrooptik etkileri incelendi.

1. 4-(Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile ( S1)
2. 4'-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate (S2)
3. % 20 1. örnek -%80 2.örnek karışımı (M1)
4. % 40 1. örnek -%60 2.örnek karışımı (M2)
5. % 60 1. örnek -%40 2.örnek karışımı (M3)
6. % 80 1. örnek -%20 2.örnek karışımı (M4)

Yapılan ölçümlerden sonra aşağıdaki sonuçlar elde edildi:

1. Optik yöntemlerle faz dönüşümü gerçekleşen sıcaklık bölgesinde S1 S 2 saf ve M1, M2, M3, M4 karışım sıvı kristal numunelerin optik özellikleri (optik geçirgenlik) sıcaklık değişimi ve polarizasyon açısının değiştirilmesi ile incelendi. Moleküler yönelimin hangi yönde olduğunu anlamak için saat yönü ve tersi yönde ölçümler yapıp karşılaştırıldı. Saat yönünde alınan ölçümlerin beklenen sonuçları verdiği gözlemlendi. Nematik bölgede optik geçirgenliğin düşük olduğu ve nematik fazdan izotropik faza geçerken geçirgenliğin artmaya başlayıp izotropik fazda ise en üst seviyeye ulaştığı gözlemlendi. Ayrıca karışım yapılarının sıvı kristal faz aralığının saf hallerine göre daha geniş oldukları ve faz geçişinin farklı sıcaklık bölgelerine kaydığı gözlemlendi.
2. Aynı numunelerde elektrooptik etki incelendi. Nematik faz aralığında belirli bir sıcaklıkta sabit elektrik alan uyguladığımız zaman, alanın belirli bir değerine kadar optik geçirgenliğin alan yok iken olan durumla aynı olduğu fakat belli bir eşik alanından sonra optik geçirgenliğin artmaya başladığı gözlemlendi. Bu durum uygulanan elektrik alanın molekülleri optik geçirgenliği arttıracak yönde yönlendirdiğini ve sıvı kristal yapıyı düzenli hale

getirdiğini göstermekte ve sıvı kristallerin anizotrop yapıda olduklarını desteklemektedir.

3. Numunelerin sıvı kristalik faz aralığı S2 (26 K), M2 (28 K) ve M3 (27 K) için daha geniş olarak ölçüldü (Çizelge 4.2.). Bu durum bu numunelerin özellikle gösterge cihazları olarak daha kullanışlı bir özellikte olduğunu göstermektedir.
4. Elektrik alan uygulamasında, alanın kritik şartlarında optik geçirgenlik, S1 numunesinde keskin pikler şeklinde gerçekleşmesine rağmen M1, M2, M3 ve M4 karışım numunelerinde geniş aralıkta gerçekleşmektedir.

## KAYNAKLAR

- BİLEN, K., 1994. Isıtılan Düzlem Bir Plakaya Dik ve Eğik Hava Jeti Çarpmasında Isı Transfer Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi, KTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 86s.
- CHANDRASKER, S., 1977. Liquid Crystals, Cambridge University Press, Cambridge, 476s.
- COLLINGS, P., 1990. Liquid Crystals: Nature's Delicate Phase of Matter, Princeton University Press, Princeton, 248s.
- DEĞİRMENÇİ, M., 1996. Sıvı Kristal Polimerler, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Semineri, Elazığ 58s.
- EMEK, M., 2007. Faz Dönüşümlerinin Nematik Sıvı Kristallerin Elektrooptik Özelliklerine Etkisi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü Doktora Tezi, Adana, 183s.
- EPİK, H., 1995. Nematik Ve Simektik Sıvı Kristallerde Işık Transmisyonu, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 53s.
- EPİK, H., 2000. Alkil Bifenil Homolog Grubu Sıvı Kristallerde Visko-Elastik Özelliklerinin İncelenmesi, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Doktora Tezi, İzmir, 171s.
- KARAPINAR, R., 1994. Termotropik Sıvı Kristallerde Işık Saçılması, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Doktora Tezi, İzmir, 119s.
- KHOO, I.C., 1993. Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 440s.
- KHOO, I.C., 1995. Liquid Crystals Physical Properties and Nonlinear Optical Phenomena, John Wiley & Sons, Inc., New York, 320s.
- NESRULLAZADE, A., 2000. Sıvı Kristaller: Yapıları, Özellikleri, Uygulamaları, Ege Üniversitesi Basım Evi, İzmir, 436s.
- OSTERMAN, J., 2005. Investigations of Optical Properties and Photo-Alignment in Bistable Nematic Liquid Crystal, digital comprehensive summaries of uppsala dissertations from faculty of science and technology, 86s.
- ÖZGEN, Ş., YAZICI, M., 2003. Sıvı Kristaller ve Faz Geçişleri, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(2): 20-26.
- PERSHAN, P. S., 1988. Structure of liquid crystal phases, World Scientific, New Jersey, 440 s.
- THAMOAS, C. M., RENATE, J., CRAWFORD, P., 1995. Inexpensive Electrooptic Experiments on Liquid Crystal Displays, Ohio, USA, 33: 104-110.

## ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlköğretim ve Lise eğitimimi Şanlıurfa'da bitirdi. 1996 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fizik Bölümünü kazanarak 2001 yılında lisans eğitimimi tamamladı. 2004 yılında Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans programını kazandı ve halen eğitime devam etmektedir.

## ÖZET

Teknolojide geniş bir kullanım alanına sahip olan sıvı kristallerin elektropotik etki sonucu moleküler yönelime bağlı olarak optik özelliklerinin değişmesi onlar üzerinde daha çok çalışma yapılmasına neden olmaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara bağlı olarak sıvı kristallerin teknolojik amaçlı kullanımları da artmaktadır. Özellikle görüntüleme cihazlarında yaygın bir kullanım bulmaktadır. Nematiklerin optik özelliklerinin elektrooptik etkiyle yapısal ve fiziksel değişim sergilemesi, bu sıvı kristallerin daha çok kullanımına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, ticari olarak Sigma-Aldrich firmasından elde edilen 4-Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile sıvı kristal numunesi ile 4'-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate sıvı kristal numuneleri ve bu numunelerin karışımlarının, optik geçirgenlikleri nematik faz ve nematik izotropik faz geçiş aralığında incelendi. Deneyde sıvı kristal malzemelerin optik geçirgenliği; nematik ve izotropik faz geçiş aralığında sıcaklık sabit oranda arttırılıp polarizasyon açısı değiştirilerek ölçümler alındı. Ayrıca nematik fazda sabit sıcaklıkta sabit elektrik alan uygulanarak değerler yapıldı. Optik geçirgenliğe bağlı olarak yapılan ölçümlerde, faz aralığının karışımlarda daha geniş sıcaklık aralığında olduğu gözlemlendi. Alınan değerler Microsoft Excel programında grafiğe dönüştürüldü ve elde edilen değerlerin önceki çalışmalar ve beklenen sonuçlarla uyduğu gözlemlendi.



## SUMMARY

The variation of optical properties of liquid crystals, which have wide technological uses, as a result of electro-optical effects because of molecular orientation leads to more research in this field. The results from such studies increase their use in technology. In particular, they are extensively used in visualization systems. The fact that optical properties of nematic liquid crystals exhibit structural and physical changes under electro-optical effects causes even wider use.

In this study, optical transmittance of commercially available 4-(Octyloxy)-4-biphenylcarbonitrile and 4'-isothiocyanatophenyl-4-pentylbicyclo[2.2.2]octane-1-carboxylate liquid crystals, as well as their mixtures, obtained from Sigma-Aldrich was investigated in transition region between nematic and isotropic phases. In the experiments, the optical transmittance of the nematic liquid crystals was measured in the nematic-isotropic phase region under constant increases of temperature and varying polarization angles. In addition, measurements were made in the nematic phase under the application of a constant dc electric field at constant temperature. The measurements that were carried out depending on the optical transmittance show that the phase transition interval of the mixed structures was observed in wider temperature ranges. The obtained data were graphed in M.S. Excel program and were found to be in agreement with previous studies.