

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

NEMATİK SIVI KRİSTAL BİR FİLMİN ELEKTRO-OPTİK ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN : İhsan TOPAL
DANIŞMAN : Prof. Dr. Rıdvan KARAPINAR

VAN-2013

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

NEMATİK SIVI KRİSTAL BİR FİLMİN ELEKTRO-OPTİK ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: İhsan TOPAL

VAN-2013

KABUL VE ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Rıdvan KARAPINAR danışmanlığında, İhsan TOPAL tarafından hazırlanan '**Nematik Sıvı Kristal Bir Filmin Elektro-optik Özellikleri**' isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmenliği'nin ilgili hükümleri gereğince 13/09/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

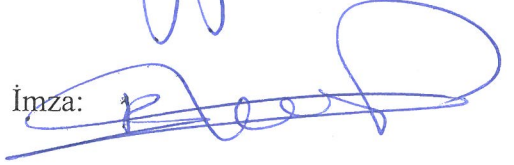
Başkan: Prof. Dr. Rıdvan KARAPINAR

İmza: 

Üye: Doç. Dr. Fethi SOYALP

İmza: 

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bahri BATI

İmza: 

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../.....gün vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof.Dr.Turgut AYGÜN
Enstitü Müdürü

ÖZET

NEMATİK SIVI KRİSTAL BİR FİLMİN ELEKTRO-OPTİK ÖZELLİKLERİ

TOPAL, İhsan
Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Rıdvan KARAPINAR
Eylül 2013, 57 sayfa

Nematik sıvı kristal fazdaki moleküller, hemen yaklaşık olarak aynı yönelime sahip olmakla birlikte, ortamda uzun menzilli bir konumsal düzen bulunmamaktadır. Bir dış alan etkisiyle moleküllerin ortalama yönelim doğrultusundaki yerel bir değişim, maddenin fiziksel özelliklerinde değişime neden olur. Bu durum ortam içinde aydınlık ve karanlık bölgelerin ortaya çıkmasına yol açar. Böylece, nematik bir madde tarafından ışığın modülasyonu, çeşitli gösterge aygıtlarının uygulamaları açısından oldukça önemlidir. Bu tezde bir nematik sıvı kristal filmin elektro-optik davranışı inceleme konusu edilmektedir. Deneysel sonuçlar teorik öngörülerle karşılaştırılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Nematik sıvı kristal, elektro-optik olaylar, ışık geçirgenliği, eşik voltajı.

ABSTRACT

ELECTRO-OPTICAL PROPERTIES OF A NEMATIC LIQUID CRYSTAL FILM

TOPAL, İhsan

M.Sc., Physics

Supervisor: Prof. Dr. Rıdvan KARAPINAR

September 2013, 57 pages

In a nematic liquid crystal phase, the molecules have nearly the same orientation but there is no long range positional order. A local change in the average orientation of molecules by an external field changes the properties of the material and leads to light and dark areas in the medium. Thus, the modulation of light by means of nematic material is an important topic due to various display applications. This thesis describes the study on the electro-optical behavior of a nematic liquid crystal film. The results of experiments on these properties are compared with theoretical predictions.

Key words: Nematic liquid crystal, electro-optic effects, light transmission, threshold, voltage.

ÖN SÖZ

Bazı organik maddeler kristal yapılı katılar ile izotropik sıvılar arasında yeni bir ara hal sergiler. Sıvı kristal olarak adlandırılan bu tür maddeler, maddenin doğadaki dördüncü hali olarak kabul edilmektedir. Bu tür maddeler ilginç fiziksel özellikleri nedeniyle teknolojide yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Bu tez çalışmasında nematik sıvı kristal bir filmin yapısal ve optik özellikleri inceleme konusu edilmiştir. Bu tez çalışmasının her aşamasında yer alan danışmanım Sayın Prof. Dr. Rıdvan KARAPINAR'a, son derece yararlı katkı ve yardımlarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. SIVI KRİSTALLER	4
2.1. Sıvı Kristallerin Kısa Bir Tarihi	4
2.2. Sıvı Kristal Fazlar	5
2.3. Termotropik Sıvı Kristal Fazlar	7
2.3.1. Nematik Sıvı Kristal	9
2.3.2. Kolesterik sıvı kristal	10
2.3.3. Simektik Sıvı Kristal	12
2.4. Nematik Sıvı Kristal Fazda Düzen	15
2.4.1. Nematik sıvı kristallerin optik özellikleri	17
2.4.2. Nematik sıvı kristallerde elektro-optik olaylar	24
2.4.2.a. Alan etkimeli çift kırıcılık	26
2.4.2.b. Bükümlü nematik etki	27
2.4.2.c. Konuk-evsahibi olayı	27
2.4.3. Nematik fazla ile ilgili teoriler	29
3. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	35
4. MATERYAL VE YÖNTEM	39
4.1. Materyal	39
4.2. Yöntem	42
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
KAYNAKLAR	53
ÖZ GEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Sıvı kristallerin genel olarak sınıflandırılması.	6
Şekil 2.2. Nematik bir molekülün geometrik yapısı.	9
Şekil 2.3. Nematik fazın şematik gösterimi.	10
Şekil 2.4. Kolesterik fazda helisel düzenlenme.	12
Şekil 2.5. Smektik A sıvı kristal fazda moleküler düzen.	14
Şekil 2.6. Smektik C sıvı kristal fazda moleküler düzen.	14
Şekil 2.7. Nematik bir molekülün herhangi bir andaki yönelim konumu.	16
Şekil 2.8. S düzen parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi.	17
Şekil 2.9. Nematik bir ortamdan ışık geçişinin kutuplanmaya etkisi.	19
Şekil 2.10. Eşeksenli ortamda titreşim doğrultuları;(a) pozitif çift kırıcılık, (b) negatif çift kırıcılık, (c) optik eksen doğrultusu.	19
Şekil 2.11. Direktöre farklı doğrultuda gelen kutuplanma vektörleri.	20
Şekil 2.12. Polarizör sistemi arasındaki izotropik bir ortamdan ışık geçişi: (a) çapraz polarizör konumu, (b) paralel polarizör konumu.	21
Şekil 2.13. Kırılma indislerinin sıcaklığa bağlılığı.	23
Şekil 2.14. Aşırı soğuma olayında ortaya çıkan fazlar.	24
Şekil 2.15. Konuk-ev sahibi olayı (a) $E = 0$ (b) $E \neq 0$.	28
Şekil 2.16. Dinamik saçılma (a) nematik ortamın simetri ekseni, (b) $E=0$, (c) $E \neq 0$.	29
Şekil 4.1. K15 bileşiğinin molekül yapısı.	39
Şekil 4.2. (a) K15 bileşiği ve (b) optik kırılma indislerinin gösterimi.	39
Şekil 4.3. Nematik ince bir filmin gösterimi.	42
Şekil 4.4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	43
Şekil 4.5. Bükümlü bir nematik filmin çalışma ilkesi	43
Şekil 5.1. İzotropik fazda soğumayla ortaya çıkan nematik yapı oluşumu.	47
Şekil 5.2. Nematik bir ortamda Schlieren deseni.	48
Şekil 5.3. Nematik filmin makroskopik fotoğrafı: (a) planar (b) bükümlü yapı.	50
Şekil 5.4. Nematik filmde geçen ışık şiddetinin açıyla değişimi.	50
Şekil 5.5. Nematik filme uygulanan potansiyel farkının fonksiyonu olarak ışık geçirgenliği	51

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler

ϕ	Faz farkı
λ_0	Helis hareketin dalga boyu
Z	Helis adımı
q_0	Deformasyon dalga vektörü
ℓ	Molekül uzunluğu
d	Simetrik C fazda tabakalar arası uzaklık
\bar{z}	Optik eksen
θ	Direktörün sapma açısı
c	Işık hızı
v_e	Olağan üstü bileşen ışığın hızı
v_o	Olağan bileşen ışığın hızı
L	Kristal içinde ışığın aldığı yol
ϵ_{\parallel}	Direktöre paralel dielektrik sabit
ϵ_{\perp}	Direktöre dik dielektrik sabit
α	Polarizebilite katsayısı
γ	Viskozite katsayısı
$\Delta\epsilon$	Dielektrik anizotropi
$\Delta\chi$	Manyetik anizotropi
ϵ	Dielektrik sabiti
d	Film kalınlığı
E	Elektrik alan şiddeti
H	Manyetik alan şiddeti
F	Esneklik enerji yoğunluğu
I	Işık şiddeti
K_{11}	Açılma esneklik sabiti
K_{22}	Burulma esneklik sabiti
K_{33}	Eğilme esneklik sabiti

\vec{n}	Direktör
n_e	Olağanüstü kırılma indisi
n_o	Olağan kırılma indisi
Δn	Optiksel anizotropi
S	Düzen parametresi
ϕ	Bükülme açısı
W	Yüzey bağlanma enerjisi
T	Sıcaklık
T_c	Kritik sıcaklık
T_{NI}	Nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı
V	Potansiyel
λ	Dalgaboyu
ψ_0	Büklüm açısı
$\Delta\gamma$	Bağlanma enerjisi
F_d	Serbest enerji yoğunluğu
g_m	Manyetik alandaki nematik bir ortam için serbest enerji
g_e	Elektrik alandaki nematik bir ortam için serbest enerji
E_c	Elektrik alanın kritik değeri
K	Katı faz
N	Nematik faz
I	İzotropik faz
u	Mauguin parametresi
V_{th}	Eşik voltaj değeri
ψ	Landau-de Gennes teorisi düzen parametresi

1. GİRİŞ

Genel olarak doğadaki maddeler katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç temel halden birinde bulunur. Ancak doğada bu fazlar arasındaki sınırlar çok keskin değildir. Bunlar dışında; plazma, kolloit haller ile amorf maddeler de yine maddenin halleri olarak kabul edilir. Bütün bu haller birbirlerinden farklı özellik sergiler. Kristal katılar, kristal örgü olarak adlandırılan oldukça düzenli bir yapıya sahiptir. Kristal örgülerde atom ve moleküller üç boyutlu uzayda periyodik biçimde düzenlenmişlerdir. Bir kristal örgüdeki birim hücre kendini tekrarlayan hücredir. Katı halde maddeler farklı polimorfik formlar oluşturacak biçimde farklı yollarla kristalleşebilirler. Polimorfizm bir bileşiğin atom ve moleküllerinin kristal yapı içinde kendine özgü paketlenme düzenine sahip olduğu birden fazla kristal formunda kristalleşme özelliğine sahip olmasıdır. Polimorfik yapılar farklı erime noktası, erime ısı, yoğunluk gibi fiziksel özelliklere sahiptir. Termodinamik özelliklerdeki farklılıklara göre polimorf yapılar enantiotrop ve monotrop olmak üzere iki gruba ayrılır. Enantiotrop yapılar belirli bir sıcaklık aralığında ve basınçta kararlı olup; belirli bir geçiş sıcaklığında tersinir geçişler sergileyebilmektedir. Bir maddenin farklı polimorflarından birisi erime sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda kararlılık göstermesine karşın diğerleri daima kararsızlık gösteriyorsa bunlar monotroplar olarak adlandırılır. Kristal yapılara ek olarak katılar belirli bir yapıya sahip olmayan amorf halde de bulunabilirler. Amorf bir katı bir kristal katıya benzer biçimde kısa-menzilli bir moleküler düzene sahiptir; ancak kristal katılardan farklı olarak uzun-menzilli bir moleküler paketlenme düzenine sahip değildir. Camsı hal olarak adlandırılan amorf hal, fiziksel olarak kristal formdan daha az kararlılık gösterir. Bir sıvının hızlı dondurulması gibi kristalleşmeyi önleyen çeşitli yollarla kristal maddelerden amorf yapılar elde edilebilir.

Sıvıların yapısı tümüyle düzensiz gaz haliyle tümüyle düzenli kristal hali arasında yer alır. Sıvılar bu nedenle kısa-menzilli düzene sahip, ancak uzun-menzilli düzene sahip değildirler. Normal sıvılar bütün doğrultularda benzer fiziksel özellikler gösteren izotropik davranışa sahiptir.

Gaz hali tümüyle rastgele bir yapı olarak karakterize edilir. Gaz halinde bir bileşiğin molekülleri sıvı ve katı halindeki farklı olarak birbirlerinden ayrıldıklarından dolayı moleküllerin hareketleri moleküller arası kuvvetlerden

etkilenmez. Ancak düşük sıcaklık ve yüksek basınçlarda moleküller arası kuvvetler önemlidir; bu durumda moleküller birbirine daha yakınlaşır. Yine düşük sıcaklıklarda moleküller daha düşük hızlarla hareket ederler. Yüksek basınçlarda moleküller birbirine yakın olduğunda itici kısa-menzilli etkileşimler önemli olmaya başlar.

Olağan akışkanlar izotropik yapılardır. Yani fiziksel özellikleri her bir doğrultuda aynıdır. Ancak anizotropiye sahip moleküller ilginç davranışlar sergiler ve teknolojik açıdan önemli bir potansiyele sahiptirler. Örnek olarak polimerler, misseller, mikro emülsiyonlar, DNA ve membran gibi maddeler bu türden anizotropik moleküllerdir. Bunlar arasında ilginç olan bir diğer sınıf ise sıvı kristaller olup bu tür maddeler kristal yapılı katıların anizotropik özelliklerini ve sıvıların akışkanlık özelliklerini ortaklaşa sergilerler.

Bilim adamları maddenin doğadaki halleri için genellikle sınır halleri göz önüne almışlardır. Bunlar atomların periyodik bir örgü içinde üç boyutlu bir yerleşim gösterdiği kristal yapılı katılar ve diğer taraftan atom ve moleküllerin tümüyle düzensiz bir yerleşim gösterdiği akışkanlardır. Kristal yapılı katılardaki konumsal düzenlenmeden dolayı anizotropik bir davranış sergilerken, akışkanda herhangi bir düzenin olmaması nedeniyle izotropik bir karakter mevcuttur. Maddenin bir ara halinin de var olabileceği teorik olarak öngörülmüş ise de, bu konu üzerinde pek fazla durulmamıştır. Bu ara halde, atom veya moleküller bir akışkanda olduğu gibi rastgele bir yerleşim göstermekte, ancak sistem bir kristal yapılı katıda olduğu gibi, makroskopik ölçekte bir yönelimsel düzenlemeden dolayı, farklı doğrultularda farklı fiziksel özelliklere sahip bir anizotropik davranış sergilemektedir. Bu türden bir davranışa sahip, maddenin katı ve sıvı arasındaki ara hali sıvı kristaller olarak bilinmektedir.

Sıvı kristal bir ortamdaki moleküler yönelim, ortamın elektro-optik tepkisini belirlemede oldukça önemli rol oynar. Ortama uygulanan her türlü dış etki, moleküler etkileşimlerle moleküllerin tekrar yönelimine neden olabilir. Ortamın elektro-optik tepkisini belirlemek için optik anizotropi ve dielektrik spektroskopisi gibi ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu tür maddeler ilk olarak Avustralyalı botanikçi F. Reinitzer tarafından 1888 yılında kolesteril asetat adlı bileşiğin incelenmesi sırasında belirlenmiş daha sonra

Alman fizikçisi O. Lehman tarafından polarize bir mikroskop yardımıyla ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kristal katılar ile izotropik sıvılar arasında termodinamik özelliklere sahip maddenin bu grubu genel olarak yönelimsel bir düzene ve kısmen bir konumsal düzene sahiptirler. Sıvı kristaller oluşum nedenlerine bağlı olarak termotropik sıvı kristaller ve liyotropik sıvı kristaller olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Termotropik sıvı kristaller çubuksu yapıda veya disk biçimindeki moleküllerden oluşan ve farklı alt gruplar içeren sistemlerdir. Lyotropik sıvı kristaller ise bir kısım amfibilik nitelikteki uzun zincirli moleküller olup, insan vücudu gibi canlı sistemlerdeki rolü oldukça önemlidir. Bu tür maddelerin yaşam mekanizmasındaki fiziksel ve biyolojiklerin farkına yeni yeni varılmaktadır. Eğer ortamdaki sıcaklık artışına bağlı olarak sıvı kristal fazlar ortaya çıkıyorsa bunlara termotropik mezofazlar denir. Bazı durumlarda ortamdaki polar çözücü konsantrasyonunun değişimine bağlı olarak belirli fazlar ortaya çıkabilir. Bu tür fazlara ise lyotropik fazlar denir. Termotropik fazlar teknik uygulamalar için oldukça kullanışlıdır. Lyotropik olanlar ise biyolojik sistemlerin incelenmesi açısından yararlıdır. Biz bu çalışmada sıcaklığa bağlı faz değişimi gösteren termotropik maddeler ile ilgileneceğiz.

2. SIVI KRİSTALLER

2. 1. Sıvı Kristallerin Kısa Bir Tarihi

Sıvı kristaller alanında yapılan ilk önemli gözlem, 1888 yılında Avusturyalı botanikçi Friedrich Reinitzer tarafından yapılmıştır. Reinitzer bir bitkiden sentez ettiği kollesteril benzoat adlı bileşiğin iki farklı erime noktasına sahip olduğunu gözlemiştir. Oda sıcaklığında kristal yapıda olan madde, ısıtıldığında 145.5 °C'de türbid (bulanık) bir sıvıya dönüşmekte, sıcaklığın artırılması ile 178.5 °C'de bu yapı ortadan kalkıp berrak bir sıvı oluşmaktaydı. Soğutmayla bu olay tersinir olarak gerçekleşiyordu. Daha sonra Alman fizikçi Otto Lehmann'ın polarize mikroskop altında yaptığı incelemeler sonucunda, termodinamik olarak kararlı olan ve anizotropik bir karaktere sahip olan bu fazın maddenin yeni bir hali olduğu sonucuna varılmıştır. Böylece hem katı hem de sıvı özelliklerini bir arada gösteren bu tür maddeler ilk kez Lehmann tarafından sıvı kristaller olarak adlandırılmıştır. Sıvı kristallerin tarihi üzerine bir çalışma Kawamoto (2002) tarafından verilmiştir.

Böylece sıvı kristal hali maddenin kristal yapılı katı ve izotropik sıvı özelliklerinin ortaklaşa olarak gözlendiği özel bir hali ifade etmektedir. Sıcaklık arttıkça katı kristal yapıda moleküllerin üç boyutlu örgü düzenliliği iki boyuta indirgenir. Belirli bir sıcaklık değerinde yapıdaki düzenli örgü, moleküllerin arasındaki bağların kopması ile kaybolmakta ve bu yapı izotropik sıvıya dönüşmektedir.

Çeşitli sıvı kristal fazlar ile ilgili ilk sınıflandırma 1922 yılında G. Friedel tarafından sıvı kristal bir ortamda moleküler düzen dikkate alınarak yapılmıştır. Daha sonra çeşitli yeni sıvı kristal fazlar keşfedilmiştir. Sıvı kristaller ile ilgili geliştirilen çeşitli teoriler arasında en başlıca bilineni F. C. Frank ve C. Oseen tarafından geliştirilen teoridir. Bu teoriler, sıvı kristal ortamlardaki yönelimsel düzenlemeleri açıklamada başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. **G. Meier** ve **A. Saupe** sıvı kristallerin mikroskopik teorisi üzerinde çalışmalar yapmıştır. X ışını kırımını deneyleri ile de bu yapılar üzerine önemli bilgiler elde edilmiştir. Yukarıda adı geçen ve yine tezde konu edilen birçok çalışma için temel referans olarak Chandrasekhar (1977) kitabı belirtilebilir.

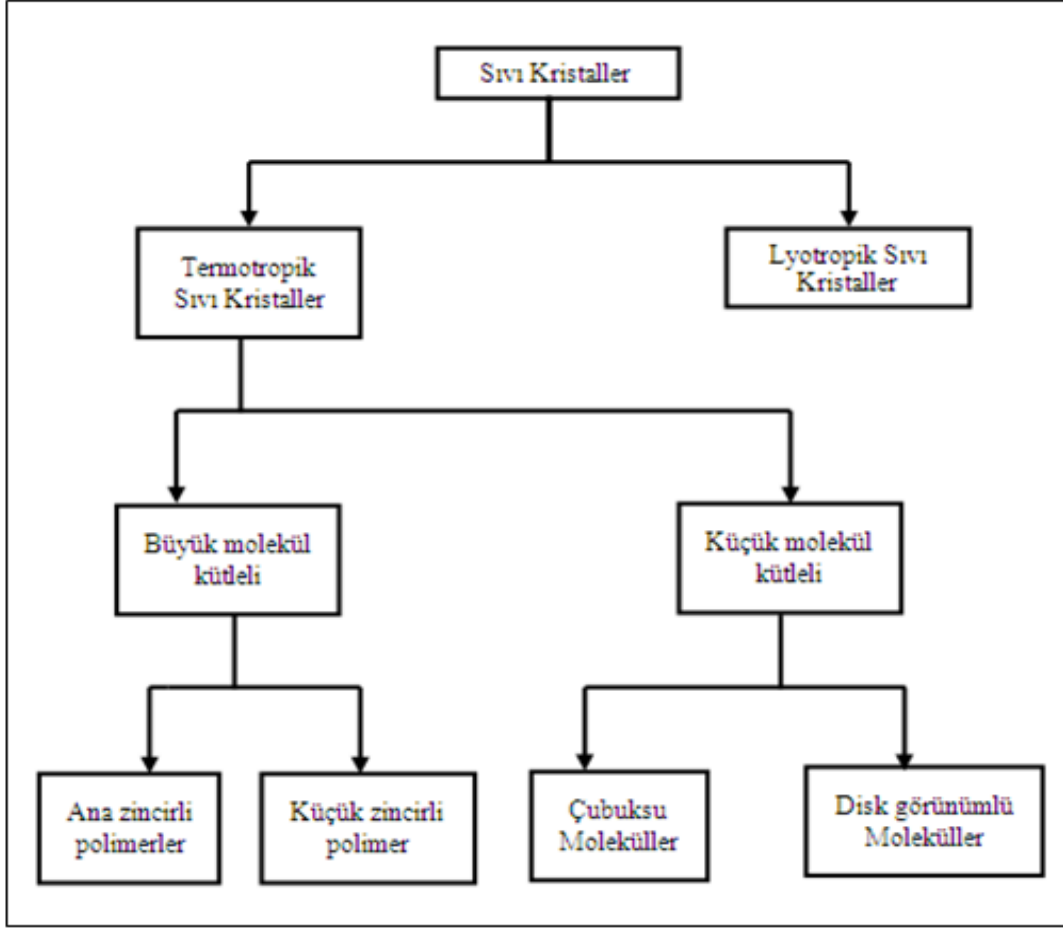
1960'lı yıllarda oda sıcaklığında nematik faz gösteren ilk sıvı kristal bileşik MBBA sentez edildi. Bu madde dar bir sıvı kristal faz aralığına sahipti. 1968 yılında

RCA firması tarafından ilk olarak dinamik saçılma özelliğine sahip olan sıvı kristal ekran geliştirildi. Ancak, 1973 yılında İngiltere’de G.W. Gray ve J. Goodby tarafından oda sıcaklığında sıvı kristal faz gösteren yeni bileşiklerin sentez edilmeleri ile birlikte sıvı kristallere olan ilgi yoğunluk kazanmıştır. Böylece laboratuvar alanından piyasa pazarına hızlı bir geçiş gerçekleşmiştir. Daha hızlı çalışma süresine ve yüksek kontrast oranına sahip sıvı kristal göstergeler 1980 yılında N. Clark ve S. Lagerwall (1980) tarafından geliştirilmiştir. P.G. de Gennes sıvı kristaller alanında yaptığı çalışmalardan özellikle faz geçişleri, moleküler düzen ile esneklik ve hidrodinamik özellikleri konu alan çalışmaları nedeniyle 1991 yılında Nobel fizik ödülünü almıştır. Günümüzde sıvı kristaller alanında yapılan çalışmalar yaygın olarak devam etmektedir. Geniş ekran sıvı kristalli göstergelerin geniş kullanım alanı bulmasının yanı sıra, holografik sıvı kristalli ekranların çok yakında uygulama alanında olması mümkün görünmektedir.

2.2. Sıvı Kristal Fazlar

Sıvı kristal fazlar, maddenin kristal katı ile izotrop sıvı halleri arasında sergiledikleri bir kısım özel fazların tümünü içerir. Kristal katılarda, moleküller üç boyutlu kristal örgü oluşturacak biçimde bir konumsal düzenine sahiptir. Eğer ortamdaki moleküller çubuksu yapıya sahiptirler, moleküllerin uzun eksenlerin aynı doğrultuda yönelme eğilimini göstermeleri sonucu bir yönelim düzeni ortaya çıkar. Böyle bir ortam hemen hemen tüm fiziksel özellikler bakımından anizotropik bir karaktere sahip olup, bu durum özellikle ilgili maddelerin X-ışınlarının kırınım desenlerinin incelenmesiyle açıkça saptanabilmektedir. Kristal fazda konumsal ve yönelim düzeninin gerçekleştiği durum, ilgili maddenin X-ışını kırınım deseni üzerinde belirgin Bragg yansımalarıyla kendini belli etmektedir. Madde sıcaklık veya basınç değişimine bağlı olarak, belirli bir noktada konumsal düzenin ortadan kalktığı, buna karşın yönelim düzeninin korunmakta olduğu bir yapıya sahip olmaktadır. Sıvı kristaller kırınım deneylerinde, dağınık karakteristik yansımalar gösterir. Bu durumda madde, dış görünümü açısından sıvılara özgü tüm özellikleri taşımakla beraber, fiziksel yapıdaki anizotropi son derece belirgindir. Dış etkilerin değişimine bağlı olarak belli bir sıcaklık değerinde, sıvı kristalin normal sıvı faza geçtiği gözlenir.

Sıvı kristal sistemler için Şekil 2.1’deki gibi genel bir sınıflandırma yapılabilir.



Şekil 2.1. Sıvı kristallerin genel olarak sınıflandırılması.

Bunlardan ilk grubu oluşturan termotropik sıvı kristaller; çubuksu yapıdaki veya disk biçimindeki sıvı kristal molekülleri içeren farklı alt gruplar halindeki sistemlerdir. İkinci grubu oluşturan lyotropik sıvı kristaller ise, bir kısım amfibilik nitelikteki uzun zincirli molekülleri, bazı yapay polipeptitler ve tütün mozaik virüsü gibi bir kısım molekülleri kapsamaktadır. Lyotropik sıvı kristaller, genellikle bir katı ve uygun çözücüden oluşan iki bileşenli sistemlerdir. Amfibilik yapıdaki bileşiklerin polar bir çözelti (genellikle su) içinde çeşitli konsantrasyonlarda gösterdikleri ara faz konumları içerirler. Amfibilik bileşiklerde, molekülün bir ucundaki polar (iyonik) grup su içinde çözünme eğiliminde iken, diğer uçtaki organik kuyruk hidrofobik yapıdadır. Lyotropik sıvı kristallerin yaşam mekanizmasındaki fiziksel ve biyolojik işlevleri oldukça önemlidir. Bunların yanı sıra, deterjanlar fiziğinde, çeşitli tıbbi ve biyolojik araştırmalarda ilgi çekici bir konu olan bu tür maddeler, canlı hücrelerin temel yapı taşlarından birini oluşturan bu türden bazı maddelerin çeşitli fizyolojik algılama ve iletişim görevlerinin, içinde bulunan ara faz konumuna bağlı olarak gerçekleştiği

görülmektedir. Örneğin deoksiribonükleik asit (DNA) moleküllerinin hücre içindeki konumu lyotropik sıvı kristal faz davranışı sergilemektedir. Ancak bu tez çalışmasında sıcaklığa bağlı faz değişimi gösteren termotropik fazlar inceleme konusu edilecektir.

2.3. Termotropik Sıvı Kristal Fazlar

Termotropik sıvı kristaller, kendilerine özgü davranış ve değişik faz geçişleri sergileyebilmeleri nedeniyle, faz geçişi olaylarının incelenmesinde oldukça uygun ortam sağlamaktadır. Sıvı kristal bir ortam için en belirgin özellik, makroskopik düzeyde kendini gösteren bir anizotrop yapı ve mikroskobik düzeyde, bu yapının ortaya çıkmasını sağlayan moleküler özelliklerdir.

Termotropik sıvı kristaller organik maddelerdir. Ortamdaki moleküllerin genel olarak çubuksu yapıda olması, moleküler yapıda düzlemsel ve rijid kısımların bulunması ve kalıcı dipollerin veya kolay kutuplanabilen grupların varlığı, bu tür organik bileşiklerin sıvı kristal fazlar özellik göstermesine yol açmaktadır. Sıvı kristal fazların kararlı bir biçimde ortaya çıkmasında sorumlu olan başlıca kuvvetler, kalıcı veya indüklemeli dipol-dipol etkileşimleri ile molekül yapısına bağlı olarak ortaya çıkan dispersiyon kuvvetleridir.

Maddenin kristal yapıya katı halinden başlayarak ortamdaki sıcaklık artışına bağlı olarak ortaya çıkan çeşitli termotropik sıvı kristal fazların oluşumunda moleküller arası çekim kuvvetlerinin etkisi son derece önemlidir. Moleküllerin polar grupları arasındaki etkileşimin büyüklüğü ve doğrultusu sıvı kristal arafazın ortaya çıkmasında etkin bir rol oynar. Moleküller arası dipol-dipol etkileşimi simektik fazın ortaya çıkmasına, terminal grupları arasındaki dispersiyon kuvvetleri ise nematik fazın ortaya çıkmasına neden olur. Yine molekülün kalınlığı küçüldükçe veya hidrokarbon zincirinin uzunluğu arttıkça simektik fazın ortaya çıkma olasılığı artar.

Moleküllerin çubuksu biçimi, bu yapı içinde düzlem ve kolayca kutuplanabilir grupların yer alması, sözü edilen çeşitli ara fazların ortaya çıkmasında birinci derecede etkin olan faktörlerdir. Ortamda, başta sıcaklık olmak üzere, diğer bazı dış etkenlere bağlı olarak kendini gösteren ara fazlar, moleküller arasındaki etkileşmelerin hızla değişmesine ve bunun sonucu olarak da moleküler paketlenme biçimlerinin ayrı nitelik kazanmasına yol açmakta, her biri belirgin bazı konumsal ve yönelim düzeni ile ara

fazların doğması hazırlanmış olmaktadır. Moleküller arasındaki çapraz dipol-dipol etkileşimleri simetik fazın terminal grupları (alkil zincirler) arasındaki dispersiyon kuvvetleri ise nematik fazın kararlılığı üzerinde etkili olup, etkileşmelerin nitelik ve şiddetleri kadar yönü de son derece belirleyici olmaktadır.

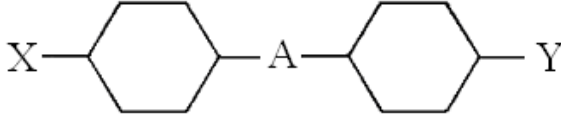
Sıvı kristal maddelerin olağandışı davranışı, bu maddelerin hem sıvı hem de katı özelliklerine sahip olmasıdır. Mezogenlik özelliği uzun menzilli simetri düzene sahip moleküllerde gözlenir. Bu tür maddeler polar ya da kolayca polarize olabilen maddelerdir. Moleküler polarizebilite anizotropik davranış gösterir. Moleküllerin polarizebilitesi deformasyon ve yönelim polarizebilitelerinin toplamıdır. Yönelim polarizebilitesi toplam polarizebilitenin %85'ini oluşturur. Molekülün çizgisel yapısındaki çok sayıda aromatik halkaların varlığı, molekülün polarizasyonunu kolaylaştırır. Sıvı kristal halindeki bir maddeye bir dış alan uygulanmadığı sürece, polikristal yapıya benzer bir davranışa sahiptir. Ancak bir dış alan etkisiyle ortam monokristal bir yapıya dönüşür ki, böyle bir yapıda moleküller ortak bir yöneline sahip olur ve bu nedenle ortamın fiziksel özelliklerinde bir anizotropi ortaya çıkar. Aromatik bağların varlığı mezogenin lineer yapısına sertlik verir ve vizkozitesini artırır. Sıvı kristal maddelerin teknolojik uygulamaları için gerekli ölçütler, bu maddelerin hızlı tepki vermeleri ve eşik voltajlarının düşük olması gerektiğidir. Bu ölçütler moleküldeki rijid olan aromatik halkaların esnek kısımlarla yer değiştirilmesi ile elde edilir. Bu amaçla sikloparafinlerden yararlanılır.

Sıvı kristal karakterdeki bir ortam için, ara faz geçişlerinin maddenin tüm fiziksel özelliklerini etkilemesi doğaldır. Örneğin nematik sıvı kristal ve smetik A sıvı kristal, optikçe tek-eksenli ortamlardır ve moleküllerin uzun eksenleri belirli bir doğrultuda paralel olarak dizilmişlerdir. Buna karşılık simetik C grubu sıvı kristaller optikçe iki-eksenli karakterde ve sıvılar ise yönelim düzeninin ortadan kalkması sonucu izotrop yapıdadır.

Termotropik sıvı kristaller genel olarak üç gruba ayrılır. En bilinen haliyle bunlar sırasıyla nematik, kolesterik ve simetik sıvı kristal fazlardır. Bu fazlar kendine özgü moleküler düzenlenmeleriyle birbirinden farklılık gösterirler. Bunlar arasında en basit olanı ise nematik sıvı kristal fazdır.

2.3.1. Nematik Sıvı Kristal

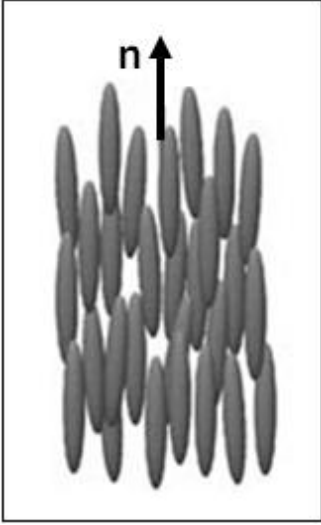
Nematik sözcüğü bu tür maddelerin polarize mikroskop altında ipliksi yapılar ortaya koyması nedeniyle, Grekçe iplik anlamına gelen bir sözcükten türetilmiştir. Nematik sıvı kristal faz gösteren organik maddeler çubuksu veya disk biçimli moleküllere sahiptir. Anizotropik moleküllerin düzenlenme biçimine bağlı olarak; bu tür maddelerin optik, elektrik ve manyetik özelliklerinde anizotropik bir davranış ortaya çıkar. Bu tür maddeler genel olarak çubuksu moleküler yapıya sahiptirler. Tipik bir nematik madde Şekil 2.2 de verilen geometrik yapıya sahiptir.



Şekil 2.2. Nematik bir molekülün geometrik yapısı.

Şekil 2.2'de, A merkez birimi, iki veya daha fazla halkalı sistemler arasında bir bağlantı grubudur. X ve Y ise terminal grupları olarak bilinir. Halka sistemleri doymamış benzen halkaları veya doymuş sikloheksan veya bunların bileşiminden oluşabilir. Bir nematik molekülde halka sisteminin bulunması temel bir özelliktir. Sikloheksil gruplarda σ elektronları, fenil halkalarda ise π elektronları mevcuttur. Bu tür halkaların varlığı kısa menzilli moleküller arası kuvvetlerin oluşumuna neden olur. Yine bu halkalar, dielektrik anizotropi, çift kırıcılık ve visko-elastik gibi nicelikleri etkiler. X terminal grupları bazen kenar zincir olarak adlandırılır. Üç farklı terminal grubu nematik molekülde yer alır. Bunlar alkil (C_nH_{2n+1}), alkil oksit ($C_nH_{2n+1}O$) ve çift bağ içeren alkenil zincirleridir. Zincir uzunluğu nematik maddenin faz geçiş sıcaklığını ve yine esneklik sabitlerini etkiler. Bir veya iki karbon atomu içeren kısa zincirli moleküller nematik faz göstermezler. Orta zincir uzunluğuna sahip ($n=3-8$) terminal grupları nematik fazların oluşumuna uygundur.

Bir nematik ortamda moleküllerin ortaklaşa yönelimi \vec{n} ile gösterilen bir direktör ile temsil edilir. Her bir molekülün yönelimi bu doğrultuda kısmi dalgalanmalar gösterse de \vec{n} yön vektörünün doğrultusu ortamdaki yönelimin simetri eksenini olarak düşünülebilir. Ortam bu durumla eş eksenli bir davranış gösterir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Nematik fazın şematik gösterimi.

Kalın nematik sıvı kristal tabakalar ($> 1mm$) bulutsu renkte gözükür. Isıtma işlemi ile temizleme noktası olarak adlandırılan bir sıcaklık değerinde, normal izotropik sıvıya geçiş olur. Soğutma işlemi ile madde, daha düşük bir geçiş sıcaklığında simektik bir sıvı kristale veya katı kristale dönüşür. Normal bir sıvıdan katı kristale geçiş çoğunlukla süper soğuma ile gerçekleşir. Sıvı kristal fazlar, süper soğuma ile elde edilebilir. Bu tür karalı haller monotropik fazlar olarak adlandırılırlar. Normal bir sıvı fazdan sıvı kristal faza geçiş ve yine sıvı kristal fazlar arasındaki geçişler tümüyle geri dönüşümlüdür. Ancak bazı yüksek viskoziteli sıvılar için istisnalar söz konusu olabilir.

Nematik bir sıvı kristalden izotropik bir sıvıya geçiş birinci dereceden bir geçiştir. Geçiş enerjileri genellikle küçük olup $0,1-1$ k.cal/mol aralığında değişir. Homolog serilerde geçiş enerjileri artan molekül uzunluğu ile birlikte artış gösterir. İzotropik-nematik faz geçişlerinde viskozitede belirli bir değişim meydana gelmez.

2.3.2. Kolesterik sıvı kristal

Eğer nematik bir madde ayna simetrisine sahip olmayan kiral moleküllerden oluşmuşsa bu durumda kolesterik faz elde edilir. Kolesterik bir ortamda moleküllerin direktör boyunca yönelimi sabit kalmakla birlikte direktörün ortam içinde sabit kalmadığı ve Şekil 2.4'de gösterildiği gibi helisel bir dönme hareketi yaptığı gözlenmiştir.

Bu fazın diğer bir ilginç özelliği, üzerine düşen ışık demetinin dalga boyuna ve helis adımına bağlı olarak seçici yansıma özelliği ortaya koymasındır. Böyle bir yapı için Bragg yasası $2z\sin\theta = \lambda$ olarak yazılabilir. Burada z helis adımıdır. $z = 2500\text{Å}$ değerinde yansımış demet görünür bölgededir. Kolesterik ince filmler ortamdaki sıcaklık değişimine bağlı olarak helis adımı değiştirdiğinde, kendine özgü ilginç renk değişimleri gösterirler. z helis adımını işaret etmek üzere sözü edilen yapıyı;

$$n_x = \cos(q_0z + \phi) \quad (2.1)$$

$$n_y = \sin(q_0z + \phi) \quad (2.2)$$

$$n_z = 0 \quad (2.3)$$

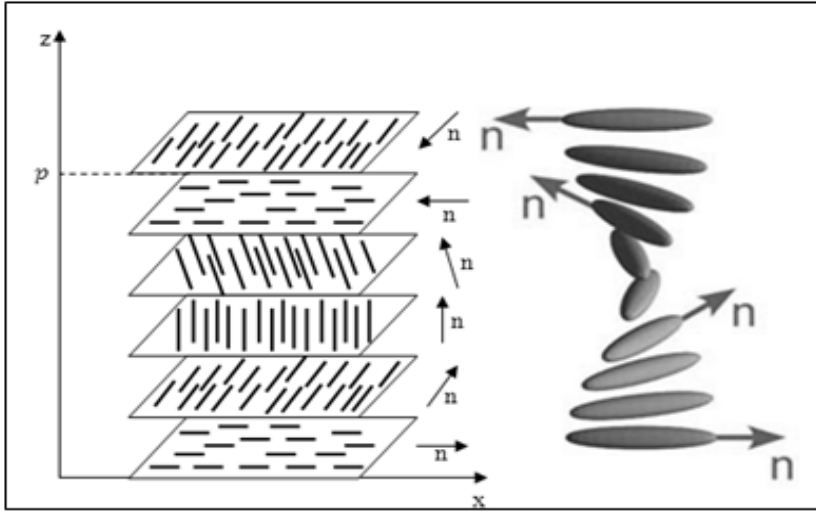
denklem sistemi ile belirlemek mümkündür. Burada $q_0 = 2\pi/\lambda_0$ deformasyon dalga vektörünü, ϕ faz farkını, λ_0 ise helis hareketin dalgaboyunu göstermektedir.

$$p = \pi/|q_0| = \lambda_0/2 \quad (2.4)$$

helis yarım adımının ortamdaki sıcaklık ve basınç değişimlerine, yabancı kimyasal maddelere ve her türden dış alana bağlı olarak şiddetle değiştirdiği gözlenmekte olup, değerleri yaklaşık birkaç bin Å mertebesindedir. p nin görünür bölgesindeki ışığın dalga boyu ile kıyaslanabilir mertebede olmasından dolayı kolesterik sıvı kristaller, dalga boyları

$$p\sqrt{\epsilon_{\perp}} \leq \lambda \leq p\sqrt{\epsilon_{\parallel}} \quad (2.5)$$

aralığındaki ışığı kuvvetle yansıtması sonucu, karakteristik bir renk değiştirme özelliği gösterir. ϵ_{\parallel} ve ϵ_{\perp} uzun eksene paralel ve buna dik doğrultudaki dielektrik sabitinin değerlerini göstermektedir. Sıcaklık ve basınç başta olmak üzere, dış etkenlere bağlı olarak ortaya çıkan renk değişimi oldukça belirgindir. Öyle ki, kolesterik sıvı kristaller ile gün ışığında 10^{-2} °C lik, tek renk ışıkta ise, ortalama 10^{-3} °C'lik küçük sıcaklık farklarının birbirinden ayırt edilebilmek mümkündür.



Şekil 2.4. Kolesterik fazda helisel düzenlenme.

Helis dalgaboyunu sonsuz kabul ederek, kolesterik fazın nematik fazı da kapsadığı düşünülebilir. Ancak bilinen sıvı kristal bileşiklerin hiçbirinde kolesterik-nematik faz geçişine rastlanmaması dikkat çekicidir. Bununla beraber, nematik sıvı kristallere optikçe aktif maddelerin ilavesi durumunda, ortamda helisel düzenlenmelerin oluşabildiği rapor edilmiştir. Kolesterik fazdaki diğer bir karakteristik özellik, optik çevirme güçlerinin $60.000-70.000$ °/mm gibi olağanüstü boyutlarda olmasıdır. Diğer organik kristaller ve sıvılar için bu değer 300 °/mm mertebesindedir.

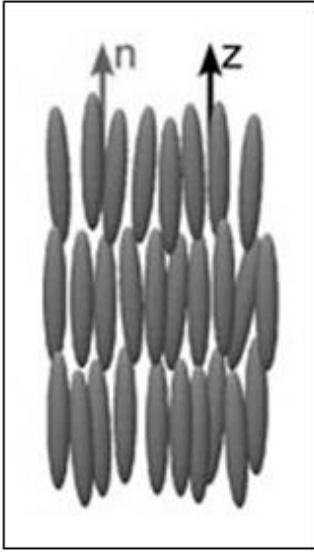
2.3.3. Simektik Sıvı Kristal

Nematik ve kolesterik ara fazlara ait sıcaklık bölgesinin altında, kristal yapının bozunmaya başladığı sıcaklık bölgesinin hemen üzerinde simektik faz ortaya çıkar. Simektik adı bu tür maddelerin, sabunların mekaniksel özelliklerine benzer davranışlar göstermesi nedeniyle Grekçe sabunumsu anlamına gelen bir sözcükten türetilmiştir. Simektik sıvı kristalleri belirleyici en önemli özellik, moleküllerin ortam içinde tabakalı bir yerleşim düzenine sahip olmasıdır. Böylece, nematik faza kıyasla, moleküler hareketlerdeki serbestlik derecelerinin daha fazla kısıtlandığı, yalnızca tabaka düzlemleri arasındaki iki boyutlu öteleme hareketlerine indirgendiği daha üst dereceden bir simetri ve düzgün bir moleküler paketlemenin olduğu bir faz ortaya çıkmaktadır. Çubuksu yapılarıdaki moleküllerin \vec{n} yön vektörü doğrultusunda fakat tabaka düzlemleri arasında kalarak gösterdikleri yönelme düzenine ek olarak, moleküllerin kütle merkezleri göz önüne alındığında, simetrik tabakalar arasındaki bir konumsal

düzenlemeden söz edilebilir. Bu durum, X- ışını kırınım deneylerinde, tabaka kalınlıklarına karşı gelen küçük Bragg açılarında kuvvetli yansımaların gözlenmesine yol açmaktadır.

Bu tür fazlarda moleküler tabakalı bir yapı içerisinde hem yönelimsel hem de konumsal düzenlenme sergiler. Moleküller kendi etrafında serbestçe hareket edebilmelerine karşın, tabakalar arasındaki geçişleri sınırlanmıştır. X-ışını kırınım deneyleri ile bu tür fazlardaki moleküler düzenlenme biçimleri tespit edilmektedir. Simektik sıvı kristaller günümüzde, simektik A'dan başlayarak C, B, D, E, F, G, H, I olmak üzere dokuz ayrı sınıfta incelenmektedir. A, C ve B sınıflarının dışındakiler için, gerek yapısal ve fiziksel davranışlar yeterince belirlenmemiştir. En fazla inceleneni ve simektik A (SmA) ve simektik C (SmC) fazlarıdır. Simektik A fazında, moleküller tabaka düzlemlerine diktir. Tabakalar arasındaki uzaklık ortalama olarak molekül uzunluğuna eşittir. Moleküllerin uzun eksenleri direktör boyunca dizilmiştir. Ortam bu görünümü ile tek eksenli bir düzenlenmeye sahiptir. Simektik C fazında ise moleküler tabaka düzlemlerine bir açı altında dizilmiştir. Molekül uzunlukları (ℓ), tabakalar arası uzaklıktan (d) büyüktür. Ortam bu görünümü ile iki eksenli bir yapı gösterir. Genel olarak bu tür fazlar iki boyutlu bir kristal davranışına sahiptir. Simektik A fazında direktör boyunca olan düzenlenme bir katıya, direktöre dik doğrultuda düzenlenme ise akışkanlara karşılık gelmektedir. Bu fazların dışında kalan simektik fazlar ise ekzotik fazlar olarak adlandırılır. Bunların yapıları genel olarak X-ışını ve diğer optik yöntemlerle incelenmektedir. Son olarak bazı smektik fazlarda moleküllerin uçlarına takılan terminal gruplarının birbirinden farklı karakterde olması durumunda daha farklı yapılar ortaya çıkmaktadır.

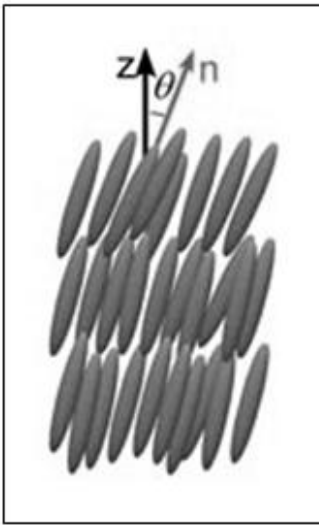
Simektik A fazında moleküller Şekil 2.5'de görüldüğü gibi, tabaka düzlemlerine dik olarak \vec{n} yön vektörü doğrultusunda bir dizilim gösterir. Tabaka düzlemleri arasındaki uzaklık, yaklaşık molekül uzunluğuna ($\sim 20 - 30 \text{ \AA}$) eşit olup, gerek tabakaların birbiri üzerindeki kayma hareketleri ve gerekse moleküllerin tabaka düzlemleri arasındaki öteleme hareketleri serbestçe yapılabilmektedir. Ortam statik denge konumunda optikçe eş-eksenli olup, optik eksen tabaka düzlemlerine dik ve çevresi etrafında bir dönme simetrisine sahip olan z eksenidir ($\vec{z} \parallel \vec{n}$).



Şekil 2.5. Simektik A sıvı kristal fazda moleküler düzen.

Nematik fazdan daha düşük sıcaklıklarda ortaya çıkan, daha düzenli bir ortam olan simektik A fazında, moleküllerin \vec{n} vektörü boyunca hızlı bir yeniden yönelme hareketi içinde oldukları, ancak tabakalar arası etkileşmelerin kristallerden çok daha zayıf olduğu NMR ve Raman saçılması deneyleri ile açıkça ortaya konulmuştur.

Işık saçılması deneyleri ile ayırt edilebilen simektik C fazında moleküllerin uzun eksenleri tabaka düzlemleri ile belirli bir açı altında yönelmiştir (Şekil 2.6). Ortam, optikçe iki eksenli yapıda olup, tabakalar arasındaki uzaklık molekül boyutlarından genelde daha küçüktür.



Şekil 2.6. Simektik C sıvı kristal fazda moleküler düzen.

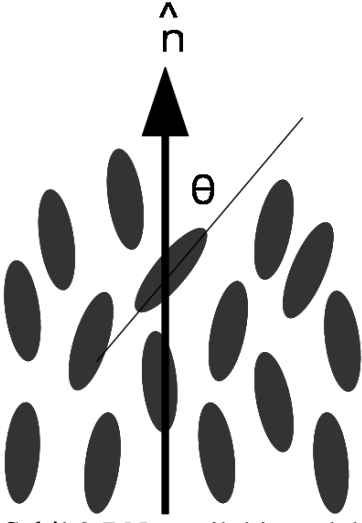
Sonuç olarak, nematik fazda moleküllerin yönelim doğrultusu direktör (\vec{n}) adı verilen tercihli bir doğrultudur. Direktör boyunca olan her iki yön (\vec{n} veya $-\vec{n}$) fiziksel olarak eşdeğerdir. Eğer moleküller dipol momente sahipse, bu iki yönde dipollerin yönelimi aynı derecede olasıdır. Yani moleküllerin bir yarısının dipol momenti bir yönde, diğer yarısının dipol momenti ise ters yönde yönelmişlerdir. Simektik A tipi fazında moleküllerin arasında bulunduğu tabakaların kalınlığı moleküllerin uzunluğuna yaklaşık olarak eşittir. Tabaka sistemlerinin yöresel özellikleri dönme eksenine göre eş-eksenli simetri özelliği sergiler. Dönme eksenini tabakalar arasındaki sınır yüzeyine diktir. Simektik C tipi fazında ise tabakaların kalınlığı moleküllerin uzunluğundan küçüktür ve bu nedenle moleküller sınır yüzeyi ile bir açı yaparlar. Bu faz tipik iki eksenli kristal özellikleri gösterir. Bu tür yapılarda da eğer sağ ve sol taraflı molekül sayıları aynı değilse, bir tabakadan diğerine geçişte eğilim doğrultusu arayüze normal olan eksen etrafında bir dönme hareketi yapar ve bu durum ferroelektrik bir davranışa neden olur.

2.4. Nematik Sıvı Kristal Fazda Düzen

Nematik fazları olağan sıvılardan ayıran en önemli özellik, moleküllerin belirli bir doğrultuda yönelme eğilimi göstermeleridir. Bu yönelim nedeniyle ortaya çıkan anizotropik nitelik ve silindirik eş-eksenli simetri düzeni, ortam içinde uzun menzilli bir düzenlenmeye yol açar. Herhangi bir sistemin uzun menzilli düzenlenme derecesini tanımlayan bir nicelik olarak tanımlanan düzen parametresi, tam düzensiz durum için sıfır, tam düzenli durum için bir değerlerini almak üzere, ortamdaki sıcaklık değişimine bağlı olarak bu değerler arasında değişmektedir.

Çubuksu görünümlü moleküllerden oluşan nematik bir ortamda herhangi bir molekülün durumunu göz önüne alalım (Şekil 2.7). Burada, θ direktör ile optik eksen (z eksenini) arasındaki açıyı göstermektedir. Ψ eksenel harekete karşı gelen ve φ ise izdüşümsel harekete ait açıları belirtmektedir. Molekülün a uzun eksenini

$$\begin{aligned} a_x &= a \sin \theta \cos \varphi \\ a_y &= a \sin \theta \sin \varphi \\ a_z &= a \cos \theta \end{aligned} \quad (2.6)$$



Şekil 2.7 Nematik bir molekülün herhangi bir andaki yönelim konumu.

ifadeleri ile tanımlanabilir. Nematik ortamdaki yöneltici kuvvetler, molekülün uzun eksenini üzerinde $\theta=0$ ve $\vec{a} // \vec{n}$ olacak biçimde etki yapar. Ancak termik hareketlerin bir sonucu olarak ve ortamdaki visko-elastik kuvvetler nedeniyle, bu ideal yönelme durumunun gerçekleşmesi zordur. S düzen parametresinin simetrik faz için $S \approx 1$ değerini aldığını, nematik faz sıcaklık bölgesinde $0.8 < S < 0.3$ arasında değiştiğini ve izotropik faza geçildiğinde $S = 0$ olduğunu belirtebiliriz.

Nematik ortam içindeki tüm moleküllerin $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ gibi bir katı açı içerisinde bir yönelim düzeni ortaya koydukları kabul edilirse, üçgen parantezler büyüklüklerin ortalama değerlerini belirtmek üzere, aşağıdaki gibi bir dağılım fonksiyonu tanımlanabilir:

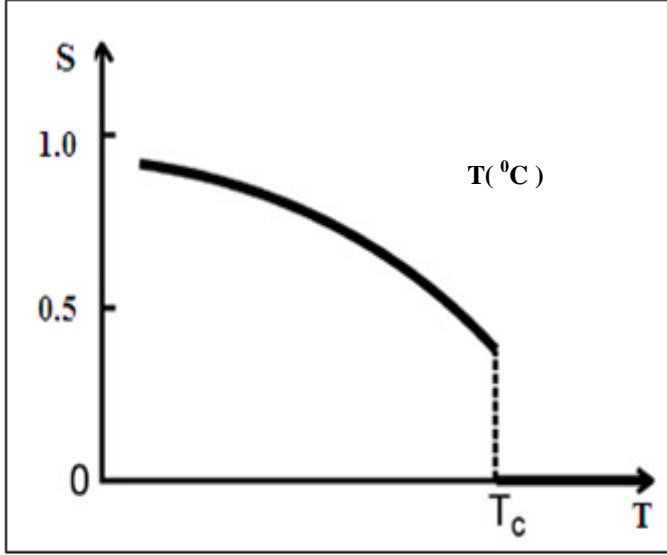
$$f(\theta)\cos\theta d\Omega = \langle a \cdot n \rangle = \langle \cos\theta \rangle \quad (2.7)$$

Düzen parametresinin alabileceği değerler ise,

$$S = \int f(\theta) \frac{1}{2} (3\cos^2\theta - 1) d\Omega = \frac{1}{2} \langle 3\cos^2\theta \rangle - 1 \quad (2.8)$$

bağıntısıyla verilir. $\theta=0$ ve $\theta=\pi$ için $\cos\theta = \pm 1$ ve $S=1$ dir. $\theta=\pi/2$ için $S = -1/2$ olup, bu durum \vec{n} vektörüne dik yönelmeleri ifade ettiğinden fiziksel açıdan anlamsızdır. İzotropik fazdaki gelişigüzel yönelim hareketleri nedeniyle $\langle \cos\theta \rangle = 1/3$ ve $S = 0$ olur.

Nematik faz için S düzen parametresinin seçiminde, ilgili maddenin optik, manyetik ve elektriksel özelliklerinden yararlanılabilir. Örneğin bu amaçla ortamın; bazı fiziksel parametrelerindeki anizotropi dikkate alınır. Nematik fazda S düzen parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. S düzen parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Nematik sıvı kristallerin düzen parametresinin ölçümünde, maddenin optik, manyetik ve elektriksel özelliklerinden yararlanılır. Bu amaca yönelik olarak ortamın, optik kırılma indisi manyetik süseptibilitesi ve dielektrik sabitinin anizotrop kısımları dikkate alınır. Bu şekilde tanımlanabilen düzen parametresi için; optik kırılma indisi, nükleer manyetik rezonans (NMR), elektron spin rezonans (ESR), Raman saçılması ve X-ışınları saçılması deneyleri ile ilgili önemli bilgiler elde edilir.

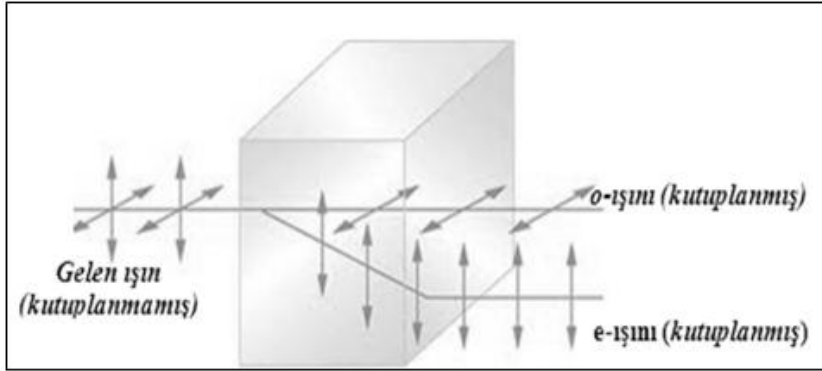
2.4.1. Nematik sıvı kristallerin optik özellikleri

Cam, sıvı ve amorf maddeler izotropik maddeler olmadığından fiziksel özellikleri doğrultuya bağlı bir değişim göstermez. Ancak birçok kristalin fiziksel özellikleri doğrultuya bağlı olarak değişir. Fiziksel özelliklerdeki bu anizotropi maddenin kristal yapısından ileri gelir. Eş-eksenli kristallerin optik özelliklerindeki anizotropi kırılma indisi veya soğurma katsayısına bağlı olarak adlandırılır.

Kristaller optik davranış ve kristal eksenlerinin aynı olup olmamasına bağlı olarak izotropik veya anizotropik olabilir. Bütün izotropik kristaller gelen ışık dalgalarına göre kristal yönelimin durumuna bağlı olmaksızın ışıkla aynı biçimde etkileşir. İzotropik kristale giren bir ışık sabit bir açıyla kırılır. Kristal örgünün elektronik yapısıyla etkileşmesi yoluyla kutuplanmaksızın tek bir hızla kristal içerisinde ilerler. Anizotropik terimi aynı madde içerisinde farklı doğrultularda fiziksel özelliklerin düzgün olmayan bir davranış göstermesi anlamına gelir. Optik, termal, manyetik ve elektriksel özellikler doğrultuya bağlı bir değişim gösterir.

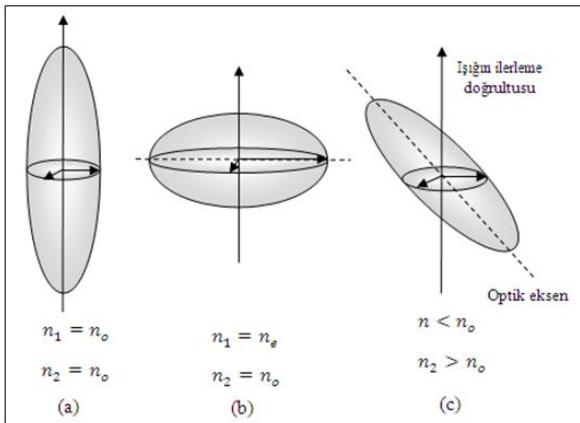
Kuartz ve kalsit gibi anizotropik kristaller ışığın gelme açısına göre kristal örgünün yönelimine bağlı olan bir fiziksel mekanizma ile ışıkla etkileşir. Işık anizotropik bir kristalin optik eksenine üzerine düştüğünde, izotropik kristaller ile etkileşmeye benzer biçimde tek bir hızla ilerler. Ancak ışık optik eksene belli bir açıyla düştüğünde farklı hızlarda ilerleyen bir birlerine dik açılarda titreşim yapan kutuplanmış iki bileşene ayrılır. Bu olay çift kırılma veya çift kırıcılık olarak adlandırılır. Bütün anizotropik kristallerde az ya da çok gözlenebilir bir olaydır. Elektromanyetik dalgalar, dalğanın ilerleme doğrultusuna ve birbirlerine dik olan sinüsel biçimde değişim gösteren elektrik ve manyetik alan bileşenleriyle uzaya yayılır. Görünür ışık elektrik ve manyetik bileşenlere sahip olduğundan, madde içerisindeki ışığın hızı maddenin elektriksel geçirgenliğine kısmen bağlıdır. Saydam bir kristalden geçen ışık dalgaları yayınlanması sırasında lokalize olmuş elektriksel alanlarla etkileşir. Madde içinde hareket eden elektriksel sinyallerin göreceli hızı elektronik yapıya bağlı olarak değişir ve maddenin dielektrik sabiti olarak adlandırılan bir özellik ile belirlenir. Bir anizotropik kristalin elektriksel özellikleri, bir ışık dalgasının içinden geçtiği madde ile nasıl etkileştiğinin anlaşılmasına yardımcı olur. Nematik sıvı kristallerde fiziksel nicelikler direktöre paralel ve dik doğrultuda farklılık gösterir. Yani kırılma indisi, dielektrik sabiti gibi fiziksel nicelikler anizotropik davranış sergiler. Eğer ışık ışınları direktöre paralel olarak gelirse polarizasyon doğrultusuna bağlı olmaksızın aynı hızla ilerler. Ancak bir ışık ışını direktöre dik olarak gelirse bu durumda gelen ışık iki çıkış demetine ayrılır. Direktör üzerine düşen ışık ışını direktöre paralel ve dik bileşene sahiptir. Ortamın kırılma indisi bu iki titreşim için farklılık göstereceğinden ortamda çift kırılma olayı meydana gelir. Bu nedenle gelen ışın kırılma indisi n_o ile verilen olağan ışına ve kırılma indisi n_e olan olağanüstü ışına ayrılacaktır (Şekil 2.9). Olağan ışın durumunda

ışık titreşimi direktöre dik, olağanüstü ışın durumunda ise direktöre paraleldir. Böylece nematik maddeler kuartz gibi bilinen bazı kristal katılara benzer çift kırıcılık davranışı gösterirler. Buna ek olarak, nematik bir ortama düşen ışık demeti ortamdaki moleküllerin yönelim durumlarına bağlı olarak lineer veya eliptik kutuplanmaya uğrayabilir.



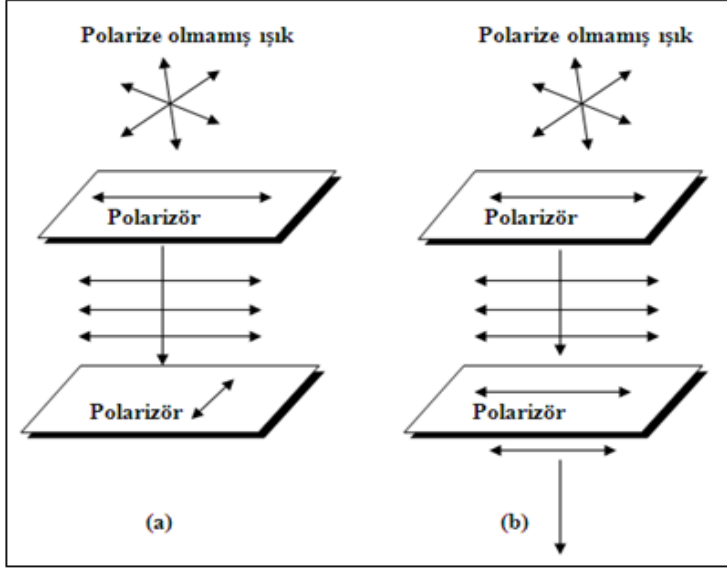
Şekil 2.9. Nematik bir ortamdan ışık geçişinin kutuplanma etkisi.

Eş-eksenli kristallerde ışığın ilerlemesi kırılma indisi elipsoidi kavramı kullanılarak açıklanabilir (Şekil 2.10). Eğer ışığın ilerleme doğrultusu optik eksenine paralel ise bu durumda yalnızca olağan ışığın kutuplanması söz konusudur. Bu durumda madde çift kırıcılık göstermez. Işık optik eksene dik olarak düştüğünde olağan ve olağan üstü iki kutuplanmış bileşene ayrılır ve çift kırıcılık ortaya çıkar.



Şekil 2.10. Eş-eksenli ortamda titreşim doğrultuları; (a) pozitif çiftkırıcılık, (b) negatif çiftkırıcılık, (c) optik eksen doğrultusu.

doğrultuları birbirlerine paralel olduğunda ortamdan ışık geçişi gerçekleşir (Şekil 2.12.b)



Şekil 2.12. Polarizör sistemi arasındaki izotropik bir ortamdan ışık geçişi: (a) çapraz polarizör konumu, (b) paralel polarizör konumu.

Bir maddenin çift kırıcılığı olağan ve olağan üstü ışınların kırılma indisleri arasındaki farka bağlı olarak karakterize edilir.

$$\Delta n = n_e - n_o \quad (2.9)$$

ile verilir. Burada $n_e = c/v_e$ ve $n_o = c/v_o$ olarak verilir. Olağanüstü bileşenin hızı olan v_e direktöre paralel kutuplanmış olarak, olağan bileşenin hızı olan v_o ise direktöre dik olarak kutuplanır. Eğer $n_e > n_o$ ise pozitif eş-eksenli kristal, $n_e < n_o$ ise negatif eş-eksenli kristal olduğu anlaşılır. Tipik bir nematik sıvı kristal için $\Delta n \sim 0,005-0,5$ aralığındadır.

Kristal maddenin uzunluğu önemli bir parametredir. Çünkü ışık çiftkırıcı maddede ilerlerken uzunluk arttıkça faz farkı artar. Herhangi bir kutuplama hali çift kırıcılık ve uzunluk parametrelerine bağlı olarak elde edilir. Bir çiftkırıcı maddede iki dalga bileşeni farklı hızlarla hareket ettiğinden, ortam içinde bir optik yol kavramını göz önünde bulundurmamak yararlıdır. Böylece optik yoldaki farklılık, dalga ortam içinde ilerlerken dalganın kutuplanma halinde değişime neden olur. Bir kristalde L uzunluğu

boyunca hareket eden dalga için optik yol $n \cdot L$ olarak tamamlanırsa, iki dalga bileşeni arasındaki optik yol farkı

$$L(n_e - n_o) = L \cdot \Delta n \quad (2.10)$$

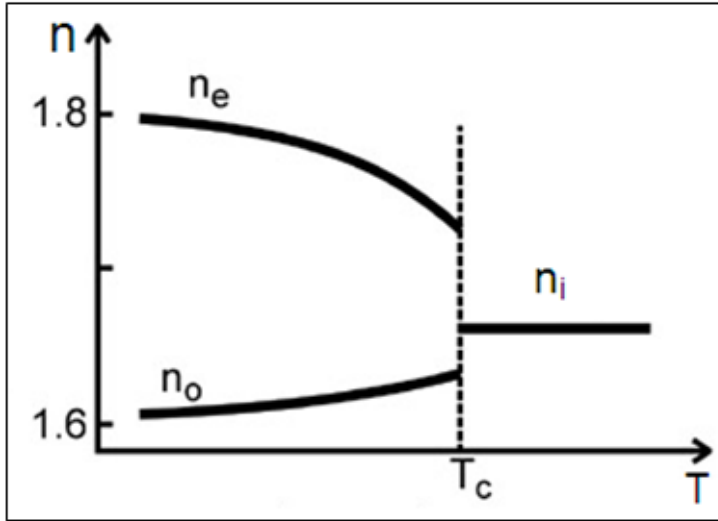
olarak belirtilir. İki bileşen arasındaki bu faz farkı $2\pi L \Delta n / \lambda$ ile verilir. Optik yol farkı optik geciktirici veya faz geciktirici levhalarda belirgin olarak ortaya çıkar.

Polarize optik mikroskobu sıvı kristal bir fazı incelemek için yaygın olarak kullanılır. Bu aygıtın çalışma ilkesi ışığın kutuplanmasına dayanır. Bu tür bir mikroskopta iki polarizör (kutuplayıcı) bulunur. Birinci polarizör ışığın belli bir doğrultuda kutuplanmasına neden olan filtredir. Sıvı kristal numune çapraz polarizör arasına konulduğunda, ilk polarizörün kutuplama doğrultusu gelen ışık demetine dik olacak şekildedir. Bu nedenle dik doğrultudaki dalgalar polarizörden geçer. İkinci polarizör gelen ışık demetine yatay bir yönelime sahip olduğundan, geçen dalga soğurulmuş olur. Sıvı kristal numunenin çift kırıcılık özelliğine sahip olması, dalga ortamdaki geçerken iki bileşene ayrılmasına neden olur ve böylece ışık filmden geçtikten sonra bileşenler arasında faz farkı oluşur. Ortamda çıkan dalga eliptik veya dairesel polarize olur. Düzlem polarize ışık ile çift kırıcı ortamın etkileşimi nedeniyle bir görüntü kontrastı oluşur, öyle ki analizörden bir miktar ışık geçer ve film üzerinde parlak bir bölgecik oluşur.

Polarizörlerin geçirgenlik eksenleri arasındaki açıya bağlı olarak bir sıvı kristal ortamın mikroskobik incelenmesi yapılır. Polarizör 0° 'den 90° 'ye döndürüldüğünde parlak bölgelerin şeklinde değişimler gözlenir. Dalgaların titreşim doğrultularındaki değişimden dolayı renkli bölgecikler gözlenir. Polarizör çevrilerek sıvı kristal yapı hakkında bilgi elde edilebilir. Daha önce belirtildiği gibi bir sıvı kristal numune iki çapraz polarizör arasına konulmuş olsun. Öyle ki polarizörlerin geçirgenlik eksenleri maddenin hızlı ve yavaş doğrultuları arasındaki bir açıda yönlenmiş olsun. Numunenin çift kırıcılık özelliğinden dolayı, gelen lineer polarize ışık eliptik polarize ışığa dönüşür. Bu ışın ikinci polarizöre geldiğinde ikinci polarizörden geçen bir bileşen mevcut bulunması nedeniyle ortam aydınlık gözükür. Monokromatik (tek dalgaboylu) bir ışık için faz farkı, maddenin kalınlığına ve çift kırıcılığına bağlıdır. Eğer numune çok ince ise olağan ve olağan üstü bileşenler arasında bir faz farkı oluşmaz. Numune kalın ise faz farkı büyük olabilir. Eğer faz fark 360° ise dalga orijinal kutuplama haline geri döner ve

ikinci polarizör tarafından engellenir. Faz farkının büyüklüğü ortamdaki geçen ışık şiddetini belirler. Eğer birinci polarizörün geçirgenlik eksenine olağan veya olağan üstü doğrultulara paralel ise ışık bileşenlerine ayrılmaz ve kutuplanma halinde bir değişim olmaz. Bu durumda geçen bir ışık bileşeni olmadığından ortam karanlık gözükür. Tipik bir sıvı kristal ortamda çift kırıcılık ve kalınlık bütün numune boyunca sabit olmadığından, çapraz polarizörler arasında konulan bir nematik sıvı kristal de bazı bölgeler aydınlık bazı bölgeler ise karanlık gözükür. Bu aydınlık ve karanlık bölgeler farklı direktör yönelimine sahip olan bölgelere karşılık gelmektedir.

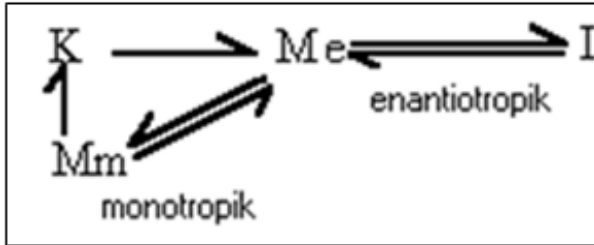
Sıvı kristal maddenin çift kırıcılığı sıcaklığa bağlı olarak değişir. Nematik-izotropik faz geçişinde çift kırıcılık yani $\Delta n = 0$ olur. Çift kırıcılığın sıcaklığa bağlı tipik bir değişimi Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Kırılma indislerinin sıcaklığa bağlılığı.

Çeşitli sıvı kristal fazları belirlemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Diferansiyel taramalı kalorimetri, faz geçişi sıcaklıklarını belirlemede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak çeşitli fazların yapısını incelemek amacıyla polarize mikroskoptan yararlanılır. İki cam levha arasında konularak elde edilen ince bir sıvı kristal film polarize mikroskop altında incelendiğinde, sınır koşullarına ve fazın yapısına bağlı olarak fazların kendine özgü yapıları hakkında bilgi elde edilebilir. Yine, çeşitli sıvı kristal fazlar ve bu fazlardaki moleküler düzenlenmeler X-ışını saçılma tekniği yardımıyla da incelenir. Bu yöntemle sıvı kristal ortamlardaki konumsal ve yönelimsel düzen hakkında bilgi elde edilir.

Akışkanlardaki aşırı soğuma olayları mezofazları incelemede kullanılabilir. İzotropik sıvılar dengede olmayan şartlarda kristalleşmeden önce aşırı soğumaya maruz kalırlar. Bu durum mezofazlar için de geçerlidir. Bunun anlamı kristalleşme sıcaklığı erime sıcaklığından küçüktür. Bazı bileşiklerde, bu aşırı soğuma noktası belirlenemeyecek kadar küçüktür. Ancak birçok bileşikte bu sıcaklık kolaylıkla belirlenebilir. Aşırı soğuma kararsız bir durum olduğundan, kristalleşme sıcaklığı soğuma hızı, titreşim ve numunenin geçmiş durumu gibi bazı parametrelere bağlıdır. Mezofazlar arasındaki geçişlerde genellikle aşırı soğuma olayına rastlanılmaz. Bu nedenle aşırı soğuma kristaller ile mezofazlar arasında bir ayırt edici özelliktir. Ancak yine de bazı istisnalar söz konusudur. Mezomorfik özellikleri belirlemede ilk amaç faz geçişlerinin kristal fazlardan ziyade mezofazlar içerdiğini belirlemektir. Akışkanların aşırı soğuması monotropik fazlar olarak adlandırılan bazı yeni mezofazların gözlenmesine yol açar. Bu tür mezofazlar kristallerin ısıtılması yoluyla değil, ancak bir numunenin erime sıcaklığının altında soğutulmayla elde edilirler. Bu geçişler kristalleşmeden önce olması durumunda geri dönüşümlüdürler. O halde, monotropik fazların erime sıcaklığı altında oluşan fazlar olduğu söylenebilir. Erime sıcaklığı üzerinde oluşan enantiotropik fazlar ise numunenin kristal ya da düşük sıcaklıktaki bir mezofazının erimesi ile ortaya çıkar (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Aşırı soğuma olayında ortaya çıkan fazlar.

2.4.2. Nematik sıvı kristallerde elektro-optik olaylar

Nematik sıvı kristal bir filmin çalışma ilkesini anlayabilmek için bu tür maddelerin optik özelliklerine ilaveten dielektrik ve esneklik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Dielektrik özellikler maddeye elektrik alan uygulandığında önemlidir. Esneklik özelliği ise mekaniksel kuvvetlerin varlığında önemli rol oynar. Elektrik ve mekanik kuvvetlerin her ikisi ortamdaki direktör yönelimini değiştirme etkisine sahiptir. Nematik

bir madde uygulanan alanın direktöre paralel veya dik olmasına bağlı olarak farklı tepki gösterir. Bu durumda ortam iki dielektrik sabiti ile

tanımlanabilir. Dilektrik anizotropi, alan doğrultusunun direktöre paralel ϵ_{\parallel} veya dik ϵ_{\perp} olmasına bağlı olarak aşağıdaki gibi verilir:

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\perp} - \epsilon_{\parallel} \quad (2.11)$$

Bu tür ortamlar elektrik alan uygulandığında önemli bir davranış gösterir. Eğer $\Delta\epsilon > 0$ ise direktör elektrik alana paralel, diğer durumda alana diktir. Diğer taraftan esneklik özellikleri ise mekaniksel kuvvetlerin varlığında ortaya çıkar. Her iki kuvvet direktörün yönelimini etkiler. Nematik bir madde iki levha arasında konulup, uygun yüzey etkinlik işlemleri ile direktörün bu levhalara paralel olması sağlanmış olsun. Eğer bu levhalarda dik bir elektrik alan uygulanırsa dielektrik anizotropisi negatif olan bir madde için ($\Delta\epsilon < 0$) mevcut durumu destekleyecektir. Ancak eğer $\Delta\epsilon > 0$ ise, alan direktörü cam levhalara dik olacak şekilde zorlayacak ve var olan durumu bozacaktır. Elektrik alanın zayıf şiddetlerinde herhangi bir şey gerçekleşmez. Ancak belirli bir eşik değerinin üzerinde direktör orijinal konumdan sapmaya başlar ve daha kuvvetli alan durumunda direktör alana paralel yönelir. Bu durum direktörün konumunda değişiklik yapmak için gerekli mekaniksel şekil değişimi enerjisi ile açıklanabilir.

Nematik maddeler optikçe aktiflik, çift kırıcılık, termal iletkenlik, elektrik ve manyetik alanlar, ısı enerjisi ya da akustik enerji sonucunda edindikleri optik etkileşimler nedeniyle çeşitli uygulama alanına sahiptirler. Günümüzde görsel amaçlı çeşitli sistemlerin tasarımı ve uygulamaları çok küçük güç kayıpları ile bu tür sistemlerde gerçekleşebildiğinden, sıvı kristalli elektro-optik sistemler giderek önem kazanmaktadır. Sıvı kristal bir ortamda ortaya çıkan elektro-optik olaylar, dielektrik kuvvetler veya dielektrik kuvvetler ile iletkenlik kuvvetlerinin birleşimi ile ortaya çıkan olaylardır. Bunlar sırasıyla:

- a) Alan etkimeli çift kırıcılık
- b) Bükümlü nematik etki
- c) Konuk-evsahibi (guest-host) olayı
- d) Dinamik saçılma

ile verilmektedir. Şimdi bunları kısaca inceleyelim.

2.4.2.a. Alan etkimeli çift kırıcılık

Pozitif dielektrik anizotropiye sahip bir sıvı kristal için $\Delta\varepsilon > 0$, \vec{n} vektörü daima alan doğrultusunu alır. Buna karşılık $\Delta\varepsilon < 0$ ise, \vec{n} vektörü alana diktir. Eğer madde negatif dielektrik etkiye sahip ise, bu durumda levhalar arasına bir \vec{E} alan uygulanırsa \vec{n} yön vektörü alana dik bir konum almaya zorlanır ve bu etkiye alan etkimeli olay denir. Bu durumda \vec{n} vektörünün 90° 'ye kadar dönüşleri mümkün olduğundan; $V=0$ için çapraz polarizörler nedeniyle ortamdaki ışık geçmez, ancak elektrik alanı uygulanmasıyla

$$V_{th} = \pi \sqrt{\frac{K_{33}}{\varepsilon_0 \Delta\varepsilon}} \quad (2.12)$$

bağıntısıyla verilen bir eşik voltaj değeri üzerinde, yönelimlerin ortaya çıkması sonucu ortamdaki ışık geçer. Burada ε_0 izotropik faza karşılık gelen dielektrik sabiti, K_{33} eğilme esneklik sabitidir. Geçen ışığın şiddeti aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$I = I_0 \sin^2 2\phi \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (2.13)$$

$$\delta = \left| \frac{2\pi d \Delta n}{\lambda} \right| \quad (2.14)$$

Bu bağıntıda d sıvı kristal filmin kalınlığı, $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$ ve I_0 ise gelen ortama düşen ışık şiddetidir. Şayet ϕ açısı 45° ise gelen ışık maksimum olur. ϕ açısı gelen ışığın optik dalga vektörü ile \vec{n} vektörünün film duvarındaki izdüşümü arasındaki farktır. Bu sistemler için $\Delta n = 0,2 \sim 0,3$ arasındadır. Bu değerler film üzerine düşen ışığın dalgaboyunun değişmesi ile geçen ışık şiddetinde birçok maksimum ve minimumların oluşmasına yol açar. Beyaz ışık kullanılırsa elektrik alan etkimeli bu tür bir etkide levha uçlarına uygulanan voltajın fonksiyonu olarak çeşitli renkler ortaya çıkar. Yani alan etkimeli çift kırıcılık olayı, voltaj kritik değeri aştığı zaman ortamdaki ışık yayılımını kuvvetle etkileyerek muhtelif renk dönüşümlerinin meydana gelmesine neden olurken, çiftkırıcılık etkisi ikinci derecede önemlidir. Eşik voltajı $V_{th} = 1 - 3 V$ arasında değişen değere sahiptir.

2.4.2.b. Bükümlü nematik etki

Bu olay çok düşük eşik voltajlarına gerek duyulması ve yansıma modunun geniş açılı, güç kayıplarının oldukça düşük oluşu nedeniyle önemli bir olaydır.

Her yüzeydeki nematik sıvı kristal moleküller belirli bir doğrultuda yönelmekle birlikte, iki yüzey arasındaki yönelim doğrultusu arasındaki açı 90° 'dir. Levhalar arasında bir elektriksel gerilim olmadığı zaman, aradaki sıvı kristalin yönelme durumu hafifçe değişecek biçimde, bir yüzeyden diğer yüzeye paralel tabakalar biçiminde bir dönme hareketi gösterir.

Pozitif dielektrik anizotropiye sahip nematik bir ortamda uygulanan voltajın eşik değerini aşan değerleri için nematik yön vektörü moleküllerin elektrik alan doğrultusunda olmasını sağlar.

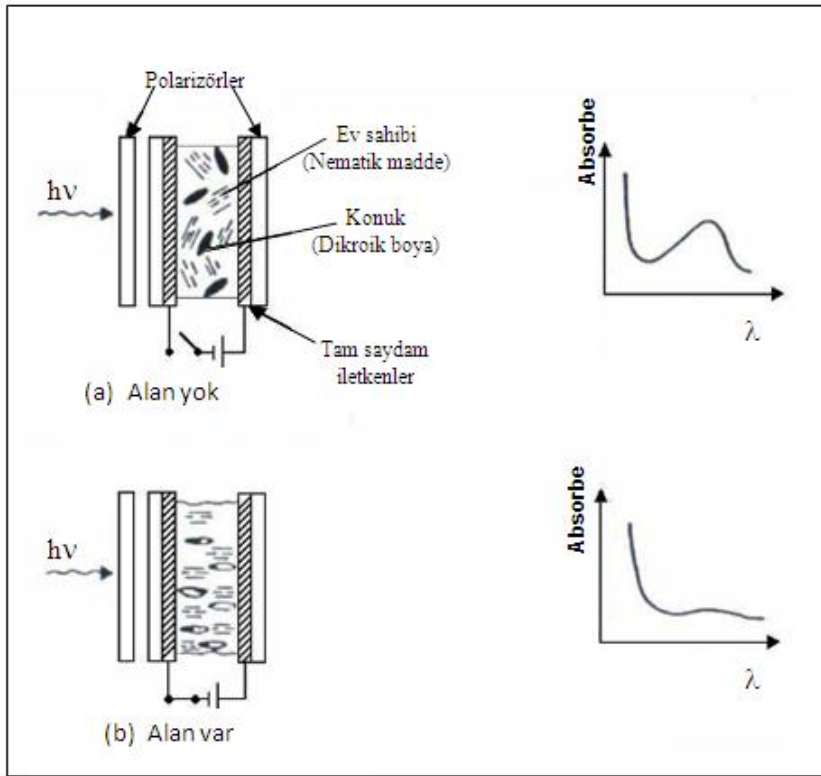
Eşik voltaj aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$V_{th}^2 = \frac{1}{\Delta\epsilon \epsilon_0} [K_{11}\pi^2 + (K_{33} - 2K_{22})\psi_0^2] \quad (2.15)$$

Burada, K_{11} açılma esneklik sabiti, K_{22} burulma esneklik sabiti, K_{33} eğilme esneklik sabiti ve $\psi_0 = \frac{\pi}{2}$ büküm açısıdır.

2.4.2.c. Konuk-evsahibi olayı

Dielektrik kuvvetlerle ilgili olarak gözlenen bir başka olay, konuk-evsahibi olayıdır. Burada nematik materyal ile dikroik boya molekülleri bir arada bulunur. Boyalar birbirlerinden farklı soğurma katsayılarına sahip olduklarından, optik eksen boyunca ve buna dik doğrultuda soğurma özellikleri önemli derecede değişen maddelerdir. Elektrik alan yokken ($V = 0$) düzgün paralel yönelme durumundaki boya molekülleri, çizgisel polarize ışığın optik vektörünün doğrultusuna paralel olarak yönelmiş olup, n direktörü bu doğrultudadır. Bu biçimlenmede, boya moleküllerinin görünür bölgede soğurulma bantlarına sahip olduğu gözlenir (Şekil 2.15). Eşik voltajının üzerinde, pozitif dielektrik anizotropiye sahip nematik ortamda yönelim alan doğrultusuna paraleldir. Bu konum düşük boya soğurulmasının olduğunu belirtir. Her iki durum arasında farklı dalgaboylarına karşılık gelen renk değişimi önemli ölçüdedir. Uygun boya konsantrasyonu için eşik voltajı ~ 2 V civarındadır.



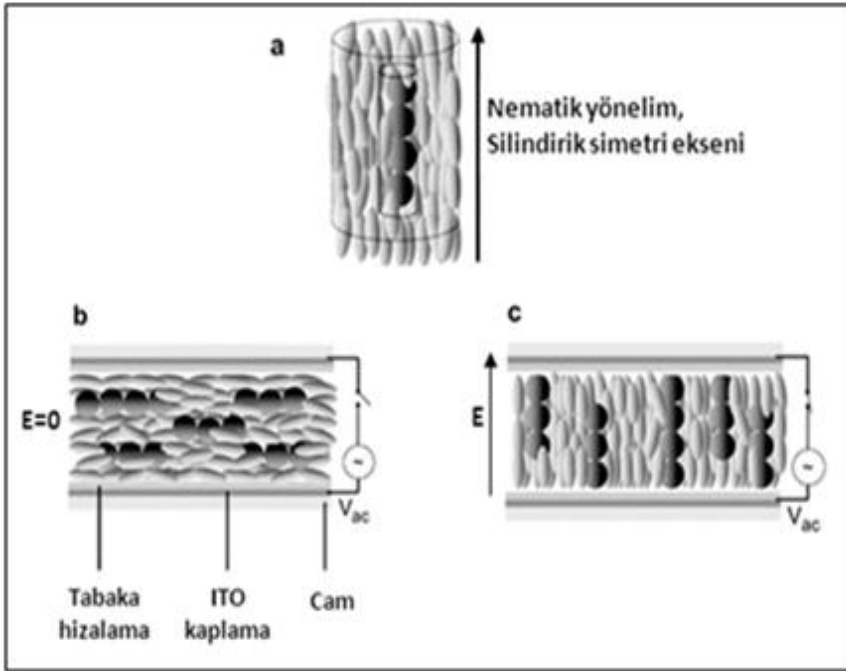
Şekil 2.15. Konuk-ev sahibi olayı (a) $E = 0$ (b) $E \neq 0$.

2.4.2.d. Dinamik saçılma

Negatif dielektrik anizotropiye sahip ve elektriksel öz direnci $\rho = 1 \sim 2 \cdot 10^{10}$ Ohm.cm mertebesinde bulunan iletim etkimeli bir nematik akışkan, uygulanan gerilim altında dinamik saçılma olayı gösterir. Bu olayda elektro- dinamik akışla birleşik bir girdap hareketi gözlenir. Girdabın oluştuğu akışkan ortamda, mikron boyutundaki küçük bölgecikler içerisinde çift kırıcı bölgenin belirgin olarak ortaya çıkması bir ışık saçılmasına neden olur (Şekil 2.16). Türbülans olayında etkin olan tanecik hareketi elektriksel yük taşıyıcıların hareketleridir. Bu etki çok kısa yanıt süresine sahiptir. Olayın oluşumu için eşik voltajı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V^2 = \frac{V_0^2}{\rho - 1} = \frac{\pi^2 / \Delta \epsilon \epsilon_0 \frac{\epsilon_{\parallel}}{\epsilon_{\perp}} K_{33}}{\left[1 - \frac{\epsilon_{\parallel}}{\Delta \epsilon + n/\gamma_1}\right] \left[1 - \frac{\sigma_2 \epsilon_{\parallel}}{\sigma_{\parallel} \epsilon_{\perp}}\right] - 1} \quad (2.16)$$

Burada σ : elektrik iletkenlik, $\gamma_1 = \alpha_2 - \alpha_3$ ve $\gamma_2 = \alpha_2 + \alpha_3$ Leslie katsayılarıdır.



Şekil 2.16. Dinamik saçılma (a) nematik ortamın simetri eksenini, (b) $E=0$, (c) $E \neq 0$.

2.4.3. Nematik fazla ilgili teoriler

Genel olarak nematik sıvı kristal yapı ile ilgili bir gerçekçi bir teorinin, yüzey ve dış kuvvetler etkisiyle ortaya çıkan fiziksel özelliklerdeki küçük değişimleri hesaba katması gerekir. Sıvı kristal üzerine dış alanların etkisi ve ışık saçılması gibi birçok olayın açıklanması için ilk olarak kümelenme teorisi ileri sürülmüştür, ancak günümüzde geçerliliğini korumamaktadır. Bu teoriye göre, nematik bir ortamın her biri yaklaşık olarak birbirlerine paralel olarak dizilmiş 10^4 - 10^6 molekülden oluştuğu kabul edilir. Moleküllerin ortalama yönelim doğrultusu küme eksenini olarak adlandırılır ve bu eksenler termik dalgalanmalara bağlı olarak değişim gösterir. Küme sınırları tümüyle sabit olmayıp, moleküler difüzyon ve Brown hareketlerine bağlı olarak değişim gösterir. Kümeleşme teorisi elektrik ve manyetik alanların ortam üzerindeki etkisini açıklama için de kullanılmıştır. Ortamdaki net momentler kümelerin alan doğrultusunda yönelimlerine neden olmaktadır. .

Sıvı kristal bir ortamın sürekli bir ortam olduğunu ön gören süreklilik teorisi geliştirilmiştir. Bu teoride bir etki altında bulunmayan bir sıvı kristal ortamdaki her bir noktada, moleküllerin uzun eksenlerinin yönelimi için tercih edilen bir doğrultunun var olduğu ve bu doğrultunun konum ile sürekli değiştiği varsayılır. Süreklilik teorisi,

ortamdaki yönelim doğrultusunun bir noktadan diğer noktaya yavaşça değişebildiğini ve bu doğrultunun dış kuvvetler ve yüzey etkileri ile sınırlanabildiğini öngörmektedir.

Örnek olarak bir nematik faz daha önce belirtildiği gibi, belirli bir uzun mesafeli yönelim düzenlemesi ile belirlenir. Tek eksenli ideal bir nematik kristalde, moleküller \vec{n} birim vektörü ile verilen genel bir doğrultu boyunca yönelirler. \vec{n} yönündeki düzenleme miktarı S düzen parametresi ile belirlenir. Bununla birlikte birçok durumlarda bu ideal yönelim, sıvı kristalin yerleştirildiği kabın duvarları tarafından oluşturulan sınırlamalar ve dış alanlar (elektrik ve manyetik alanlar) tarafından yapılan sınırlamalar ile uyumlu değildir. Bu durumda her bir noktada \vec{n} ve S bazı değişiklikler sergiler. \vec{n} 'nin değişimleri; makroskopik uzunluklar (tipik olarak birkaç mikron) cinsinden oluştuğu için ilginçtir. Böylece bu tip değişimler optik olarak kolayca gözlenebilir. Bu tip bükülmeler zayıf dış pertürbasyonlarla elde edilir (örneğin 10 V). Böylece, çeşitli sinyal tiplerini optik olarak görülebilen sinyallere çevirebilmek için uygun yollar sağlanır. Teorik olarak, bu makroskopik bükülmeler katılar için klasik esneklik durumuna benzer olan sıvı kristallerde süreklilik teorisi ile açıklanmaktadır.

S'nin değişimleri uzayda uzun mesafelerde oluşmadığından pek ilginç değildir. Bu durumu daha kesin bir biçimde anlamak için nematik bir kristal bir ortamdaki küçük bir cismi ele alalım. Ortamdaki moleküler düzenlenmede bazı bükülmeler olur.

$$\vec{n}(\vec{r}) = \vec{n}_0 + \delta\vec{n}(\vec{r}) \quad (2.17)$$

Burada \vec{n}_0 pertürbe olmayan direktörü ve \vec{r} cismin merkezine olan uzaklığı göstermektedir. Eğer dış momentler tarafından cisim üzerine etki uygulanırsa $\delta\vec{n}(\vec{r})$ ile yavaşça azalır. Benzer olarak S cisim yakınında değişir;

$$S(r) = S_0 + \delta S(r) \quad (2.18)$$

Fakat $\delta S(r)$, r ile çabuk azalır. Ortalama alan yaklaşımında

$$\delta S \approx \frac{1}{r} e^{-r/a} \quad (2.19)$$

ile verilir. Burada a moleküler uzaklıktır. Böylece, cisimden ileri gelen etkilerin yalnızca uzun mesafedeki kısmı ile ilgilendiğimizde, δS 'yi göz önüne almayabilir ve yalnızca $\delta\vec{n}$ ile ilgileniriz. Daha genel olarak zayıf olarak bükülmüş bir nematikte, uzay değişimleri a' ya göre yavaşça olursa, materyal optik eksen $\vec{n}(\vec{r})$ ' ye göre tek eksenlidir. Bu durum, nematikler için süreklilik teorisinin temelini oluşturur.

Yine, sıvı kristal bir ortamdaki herhangi bir şekil değişimi direktör doğrultusunun değişimine yol açmaktadır. Bu tür gerilme türü şekil değişimleri eğrilik esneklik teorisi ile açıklanmaktadır. Nematik sıvı kristallerde başlıca üç tür mekaniksel şekil değişimi söz konusudur. Bunlar splay (açılma), twist (bükülme) ve bend (burulma) olarak tanımlanır. Her tipe bir esneklik sabiti karşılık gelir (K_{11}, K_{22}, K_{33}). Genellikle nematik ortamın esneklik enerjisi ortamdaki moleküler düzenlemeye bağlı olarak ifade edilebilir. Bu model katılar için uygulanan olağan esneklik teorisi ve Hooke yasası ile benzerlik kurularak geliştirilmiştir. Burada şekil değişiminin uygulanan gerilme kuvvetleri ile orantılı olduğu ve esneklik enerji yoğunluğunun bu gerilimlerin karesi biçimde yazılacağı kabul edilir. Böylece ortamdaki serbest enerji yoğunluğu

$$F_d = \frac{1}{2}K_{11}(\text{div}(\vec{n}))^2 + \frac{1}{2}K_{22}(\vec{n} \cdot \text{rot}(\vec{n}))^2 + \frac{1}{2}K_{33}(\vec{n} \times \text{rot}(\vec{n}))^2 \quad (2.20)$$

denklemini biçiminde yazılabilir. Burada K_{11} , K_{22} , K_{33} sırasıyla açılma, burulma ve eğilme türü şekil değişikliklerine karşılık gelmektedir. Buradaki esneklik sabitleri kuvvet boyutun da olup, 10^{-6} dyn mertebesinde değer alır. Esneklik sabitlerinin boyutu enerji/uzunluk veya dyn olarak verilir. Tipik bir nematik sıvı kristal bileşik olan PAA için değerler,

$$\begin{aligned} K_{11} &= 0,7 \times 10^{-6} \text{ dyn} \\ K_{22} &= 0,43 \times 10^{-6} \text{ dyn} \\ K_{33} &= 1,7 \times 10^{-6} \text{ dyn} \end{aligned}$$

olarak ölçülmüştür. Bükülme sabiti K_{33} en büyük iken, burulma sabiti K_{22} en küçüktür.

Nematik bir ortam üzerine bir dış elektrik alan etkide bulunursa, ortamın serbest enerji yoğunluğu

$$g_e = -\frac{1}{8\pi} \Delta \varepsilon (\vec{n} \cdot \vec{E})^2 \quad (2.21)$$

ile verilir. Burada $\Delta \varepsilon$ dielektrik sabitindeki anizotropi, E ise elektrik alan şiddetidir. Elektrik alanı uygulamasında nematik ortam maddenin pozitif veya negatif anizotropiye sahip olması durumuna bağlı olarak uygulanan alana paralel veya dik yönelebilir. Dielektrik anizotropi negatif ise optik eksen enerjinin minimum olması için E 'ye dik olarak yönelir. Bununla birlikte elektrik alandaki düzenleme etkileri, elektriksel iletkenlik ile oluşan belirli kararsızlıklardan dolayı karışıktır. Genellikle dielektrik sabiti optik eksen boyunca daha büyük olduğundan, elektrik alanı direktörü dielektrik sabitinin maksimum olduğu elektrik alan doğrultusunda yöneltir. Ortamdaki bükülmeler elektrik polarizasyonları oluşturabilir ve böylece nematik sıvı kristaldeki yükleri

azaltabilir. Bu yükler arasındaki uzun mesafeli Coulomb etkileşimleri bazı enerji terimlerine yol açar. Pratikte, birçok nematik maddenin sonlu iletkenliğinden dolayı ($\approx 10^{-8} \text{ohm}^{-1}$), yükler arasındaki etkileşimler büyük mesafeler için ortadan kalkar.

Bir H dış manyetik alan varlığında bükülme enerjisi maddenin diamanyetik tepkisini belirten F_m terimi ile tanımlanır. Ortama manyetik alan uygulanması halinde serbest enerji yoğunluğunun manyetik alana ait bileşeni

$$g_m = -\frac{1}{2} \Delta X (\vec{n} \cdot \vec{H})^2 \quad (2.22)$$

Burada $\Delta X = X_{\parallel} - X_{\perp}$ olup, X_{\parallel} ve X_{\perp} sırayla manyetik alana paralel ve dik susseptibilitelerdir. Nematik ortamlarda ΔX pozitif, 10^{-7} cgs mertebesinde dir. Sıvı kristaller diamanyetik özellik gösterirler. Düzlemine normal bir manyetik alan etkisinde kalırsa, üzerinden geçen manyetik alan kuvvet çizgilerini, dolayısıyla da o noktadaki manyetik akıyı azaltacak yönde bir etki gösterir. Birçok benzen halkasına sahip olan sıvı kristal bileşik için, molekül böyle bir alan etkisiyle uzun eksenini alan doğrultusunda yönelir. Şayet mıknatıslanma vektörünü \vec{M} ile gösterirsek; $\vec{M}_{\parallel} = X_{\parallel} \vec{H}$ ise alana paralel, $\vec{M}_{\perp} = X_{\perp} \vec{H}$ ise alana diktir.

Termotropik sıvı kristal bir ortamdaki faz değişimlerini açıklamak için çeşitli teoriler mevcuttur. Termotropik fazlar; kendilerine özgü fiziksel özellikleri ve farklı arafazlar göstermeleri nedeniyle, faz değişimi olaylarının incelenmesi için uygun ortamlardır. Maddesel yapıda meydana gelen faz değişimleri, ortamın bazı fiziksel büyüklüklerinde herhangi bir kesiklik olmaksızın ve bir gizli ısıya gereksinim olmadan gerçekleşebilir. Bir maddenin sıvı ve gaz fazlarını birbirinden ayıran geçişler buna örnek verilebilir. Belirli bir T_c kritik sıcaklığında, madde her iki faza ait nitelikleri ortak olarak gösterebilmekte, ancak bu sıcaklığın altında veya daha üstündeki sıcaklıklarda yalnızca sıvı veya gaz özellikler göstermektedir. Ortamda herhangi bir gizli ısı olmaksızın gerçekleşen bu tür değişimlere ‘ikinci dereceden faz değişimleri’ denir. Ancak belirli bir iç enerji değişimi ile gerçekleşen faz geçişleri ise ‘birinci dereceden faz değişimleri’ olarak adlandırılır.

Çeşitli sıvı kristal arafaz geçişlerini açıklamak için ortamdaki moleküler düzenlenmeler için belirli bir simetrinin varlığını ele alan Landau-de Gennes teorisi geliştirilmiştir. Bu teoride ortamdaki simetri ψ gibi bir düzen parametresi ile temsil

edilmektedir. Öyle ki $\psi = 0$ izotropik durumu, $\psi \neq 0$ ise diğer moleküler düzenlenmeleri belirtmektedir. Bu durumda, termodinamik potansiyeldeki değişim miktarı ϕ ; basınç (P), sıcaklık (T) ve düzen parametresinin (ψ) bir fonksiyonu olarak;

$$f(\psi, T) = -\bar{S}dT + VdP + \psi dN \quad (2.23)$$

bağıntısı ile verilir. Burada S entropi, V hacim ve N molekül sayısını belirtmektedir. ψ 'nin alabileceği değerler, öngörülen bir sıcaklık ve basınç değeri için için f Gibbs serbest enerjisinin minimum olmasını sağlayan özel değerlerdir. İkinci dereceden faz değişimleri için maddenin sürekliliği dikkate alınarak ve yine f 'nin faz değişimi noktası yakınında sonsuz küçük değişimler gösterebileceği dikkate alınarak aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$f(P, T, \psi) = \phi_0 + \alpha\psi + A\psi^2 + B\psi^3 + C\psi^4 + \dots \quad (2.24)$$

Burada α , A , B ve C sıcaklık ve basıncın fonksiyonu olan katsayılarıdır.

Landau-de Gennes teorisinde nematik-izotropik (N-I) faz değişimleri için; ortamın moleküler serbest enerjisinin S düzen parametresinin kuvvetleri cinsinden bir kuvvet serisine açılabilirini öngörmektedir:

$$f = f_i + \frac{1}{3}AS^2 - \frac{2}{27}BS^3 + \frac{1}{9}CS^4 - \dots \quad (2.25)$$

Burada f_i izotropik faza ait değeri, A , B ve C sıcaklık ve basıncın fonksiyonu olan katsayıları belirtmektedir. Serbest enerjinin minimum olması koşulundan,

$$\begin{aligned} AS - \frac{1}{3}BS^2 + \frac{2}{3}CS^3 &= 0 \\ S &= 0 \quad (\text{izotropik faz}) \\ S &= (B/4C) \left(1 + \sqrt{1 - 24AC/B^2} \right) \end{aligned} \quad (2.26)$$

yazılabilir. Nematik sıvı kristal bir ortamda sıcaklığın azalması ile N-I faz değişimi sıcaklığı (T_c) yakınında, ortamdaki moleküllerin bazı kısa menzilli bölgesel yönelim hareketleri yaptığı NMR ve ışık saçılması deneyleri ile ortaya konulmuştur. Nematik-izotropik faz değişimi, belirli bir gizli ısı ile yapılması nedeniyle birinci derecedendir. Ancak bu geçişlerde gizli ısı ve entropideki değişimler küçüktür. Örneğin, birçok

nematik bileşik için $\Delta\bar{S} \cong 0.3-2$ cal/mol^oK değerinde iken, diğer organik bileşikler için $\Delta\bar{S} \cong 25$ cal/molK değerindedir.

Ortalama alan teorisinde ise iki anizotropik molekül arasındaki etkileşmenin, dipol-dipol ve dispersiyon kuvvetlerinin bir sonucu olarak meydana geldiği ve bu etkileşmelerin nematik moleküllerin yönelmeleri üzerinde etkili olan bileşenin $P_2(\cos \theta_i)$ ikinci Legendre polinomu ile orantılı olduğu belirtilmektedir:

$$S = \frac{1}{2} \langle 3 \cos^2 - 1 \rangle = \langle P_2(\cos \theta_i) \rangle \quad (2.27)$$

S 'nin sıfırdan farklı olduğu en yüksek sıcaklık değeri ise aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$T_m = A_0 / 4.4876 k_B V^2 \quad (2.28)$$

Burada k_B Boltzman sabiti, V molar hacim, A_0 maddeye özgü bir potansiyel sabitidir. T_m için $S \approx 0.43$ iken, deneysel olarak S sıcaklığa bağlı olarak 0.8-0.3 arasında değişir.

Nematik-Simektik A (N-A) faz değişimi için; simektik fazda moleküllerin tabakalı bir yerleşim düzenine sahip olması ve yalnızca tabaka düzlemleri arasındaki öteleme hareketlerinin mevcut olduğu düşünülerek, bu faz için düzen parametresi için moleküllerin hem yönelimsel hem de konumsal durumu göz önüne alınmıştır. Diğer taraftan, ortalama alan teorisi, nematik maddenin nematik-izotropik (T_{NI}) ve nematik-simektik A faz değişimi (T_{NA}) sıcaklıklarının, $T_{NA}/T_{NI} \leq 0.87$ koşulunu sağlaması halinde, faz değişiminin ikinci dereceden olacağını öngörmektedir.

3. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Nematik sıvı kristaller maddelerin günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahip olduğundan, bu tür maddelerin elektro-optik özelliklerinin incelenmesine yönelik çalışmalara gittikçe artan bir ilginin olduğu gözlenmektedir. Bu amaca yönelik olarak yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen deneysel veriler, çeşitli elektronik göstergelerin tasarımında teknolojik açıdan büyük önem taşımaktadır. Nematik maddelerin en bilinen uygulama alanı, küçük bilgi içeriğine hesap makinesi gibi aygıtlara ek olarak, yüksek bilgi yoğunluğuna bilgisayar gibi görsel amaçlı elektro-optik devrelerdir.

Nematik bir ortamdaki moleküllerin yönelmelerini sağlamak üzere uygulanan işlemlerin moleküllerin yönelme konumlarını nasıl etkilediği tam olarak belirlenmiş değildir. Genel olarak levha yüzeyleri ile moleküller arasında Van der Waals, hidrojen bağları, dipol-dipol etkileri gibi fiziko-kimyasal kuvvetlerin etkili olduğu belirtilmektedir (Kahn, 1972).

Nematik bir göstergenin farklı bükülme durumları arasındaki elektro-optik davranışın teorik bir incelemesi verilmektedir. Bükümlü faza bağlı modülasyonu Pezzaniti ve Chipman (1993) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada oldukça geniş bir video voltaj bölgesinde faza bağlı modülasyonun elde edilebileceği yine bükümlü nematik hücrenin polarizasyon halleri optik bir düzenele incelenmiştir. Çeşitli parlaklık ve kontrast değerleri ve uygulanan voltaja bağlı olarak ışık geçirgenliği rapor edilmiştir.

Bu deneysel çalışmalara ek olarak bükümlü nematik bir filmin üzerine çeşitli teorik çalışmalar yapılmıştır. Monte-Carlo simülasyon modeli kullanılarak bükümlü nematik bir filmin çapraz polarizörler arasındaki optik yapıları hesaplanmıştır (Berggen ve ark., 1994). Andrienko ve ç.a. (2000) sıvı kristal direktör dalgalanmaları ve yüzey bağlanma enerjisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Allen (2000) nematik- izotropik arayüz teorisi üzerine bir yaklaşım gerçekleştirmiştir. Mongkolsakulvonga ve Tangb (2007) nematik sıvı kristallerin ortalama alan teorisi için yeni bir yaklaşım yolu ile bazı termodinamik parametreleri hesaplamıştır. Gelbart (1982) nematik sıvı kristal bir maddenin moleküler teorisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Schopohl ve Sluckin (1987) nematik sıvı kristal bir ortamdaki kusur yapılarını inceleme konusu etmiştir. Sarman

(1998) sıvı kristal fazların akışkanlık özelliklerini ele alan bir çalışma yapmıştır. Verhoeff ve ç.a. (2009) kolloid sistemlerde sıvı kristal faz geçişlerini incelemiştir.

Nematik maddelerin çeşitli visko-elastik ve elektro-optik özelliklerinin incelenmesi geniş bir araştırma alanını oluşturmaktadır (Gündüz ve ark., 1991, Karapınar ve Gündüz, 1994; MacGregor, 1988). Nematik sıvı kristal maddelerin çeşitli gösterge devrelerindeki kullanımı üzerine yapılan çalışmalar özellikle bükümlü nematik bir göstergenin çalışması ve yanıt süresi gibi parametreler üzerinedir. Bu alanda yoğun bir araştırma potansiyelinin olduğu gözlenmektedir (Khoo, 1996; Barbero ve ark., 1999; Zhang 2000; Pagliusi ve Cipparone, 2002). Nematik bir ortamdaki dinamik akış ile direktör arasındaki etkileşmeye bağlı olarak filmin elektro-optik yanıtı çeşitli araştırmalarda incelenmiştir (Qian ve ark., 1997).

Nematik sıvı kristalin bir yüzey üzerindeki voltaja bağlı bağlanma enerjisi Bryan-Brown ve ark., (1998) tarafından incelenmiştir. Söz konusu çalışmada geniş bir video voltaj bölgesinde faza bağlı modülasyonun elde edilebileceği ve bükümlü nematik televizyonun polarizasyon halleri optik bir düzenele incelenmiştir. Levha yüzeylerinin PVA gibi bazı polimer maddeler ile kaplanması sonucunda uygulanan sürtme yöntemi ile elde edilen yönlendirme işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalara yoğun bir ilginin olduğu gözlenmektedir (Paek ve ark., 1997; Hirosawa ve ark., 1999).

Yine yüksek performanslı geçirgen iki kararlı (bistable) bükümlü nematik göstergenin yapımı Guo ve Kwok (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu tür bir cihaz diğer bükümlü nematik göstergelerden farklı olarak çapraz polarizöre gereksinim duymamaktadır. Bu cihazın yüksek kontrast oranına ve oldukça yüksek ışık geçirgenliğine sahip olduğu rapor edilmiştir. Farklı ışık dalga boylarına bağlı olarak cihazdan geçen ışık geçirgenliği deneysel olarak incelenmiştir. Bu tür bir filmin istenilen kalınlıkta yapılabileceği ve kontrast oranının 60:1 olduğu deneysel olarak ölçülmüştür.

Son yıllarda levha yüzeylerinin morötesi ışığa duyarlı polimer maddeler ile kaplanması ile elde edilen ince filmlerin polarize morötesi ışık ile işlem görmesi sonucu film yüzeylerinde anizotropik yönelim doğrultusunun olduğu deneysel olarak belirlenmiştir. İlk olarak Schadt ve ark. (1992) tarafından ortaya konulan bu yöntem

çeşitli elektro-optik amaçlı uygulamalarda son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür foto-etkimerli yönlendirme işleminin neden olduğu fiziksel etkiler Hindmarsh ve ark. (1999) tarafından incelenmiştir.

Bükümlü nematik bir filmin kutuplanmaya bağlı elektro-optik davranışı deneysel olarak incelenmiş ve bu tür sistemin ışık geçirgenliği uygulanan voltaja ve dalga boyuna bağlı olarak araştırılmıştır (Wang ve ark., 2004). Başka bir çalışmada ise yansıma modlu bükümlü nematik bir filmin yüksek voltaja bağlı davranışı teorik olarak incelenmiştir (Zhu ve ark., 2003). Bükümlü nematik sıvı kristal bir ışık modülatörünün kıvılcık ötesi bölgede bir lazer demetini modüle etmesine yönelik bir çalışma Brugioni ve Meucci (2004) tarafından yapılmıştır.

Bükümlü nematik bir filmin elektrik alanındaki elektro-optik davranışları Chen ve Lee (2005) tarafından incelenmiştir. Nematik bir filmin optik modülasyonu ve bununla ilgili çalışma mekanizması Merlin ve ark. (2005) tarafından incelenmiştir. Bazı nematik sıvı kristal bileşiklerin optik kırılma indislerinin ölçümü Brugioni ve ark. (2006) tarafından yapılmıştır. Bu tür optik sabitlerle ilgili Cauchy denklemleri Lin ve Wu (2004) tarafından incelenmiştir. Buna ek olarak Larsen ve ç.a. (2003) sıvı kristal fotonik fiberlerden oluşan çeşitli optik sistemlerin analizini yapmışlardır. Dierking ve ç.a. (2005) karbon nanoparçacıkların sıvı kristal bir ortamdaki dağılımını incelemiştir. Khatua ve ç.a. (2010) nanoparçacık-sıvı kristal kompozit yapıları araştırmışlardır. Fedorenko ve ç.a. (2006) boya katkılı nematik maddelerde ışık etkimerli bağlanma olayını araştırmışlardır.

Yine Karapınar (2005), Karapınar ve Gülebağlan (2004) tarafından yapılan çalışmalarda bükümlü nematik filmlerin bazı optiksel özellikleri incelenmiştir. Bu araştırmada, Nematik sıvı kristal bir filmin bazı elektro-optik özellikleri sözü edilen araştırmalar kapsamında çalışma konusu edilmektedir. Lucchetta ve ç.a. (2002) sıvı kristal bir ortamdaki faz modülasyonunu deneysel olarak ölçmüşlerdir. Karapınar ve ç.a. (2009) yüksek kontrast oranına sahip bir elektro-optik devrenin yapımını rapor etmişlerdir.

Nematik maddelerin çeşitli gösterge devrelerindeki kullanımı üzerine yapılan çalışmalar özellikle bükümlü nematik bir göstergenin çalışması ve yanıt süresi gibi parametreler üzerinedir. Nematik ortamlarda ışık etkimerli bağlanma etkisi Fedorenko

ve ç.a (2006) tarafından incelenmiştir. Nematik sıvı kristal modulatörün çalışma dinamiği üzerine bağlanma enerjisinin etkisi Olyaeefar ve Khoshsima (2012) tarafından incelenmiştir.

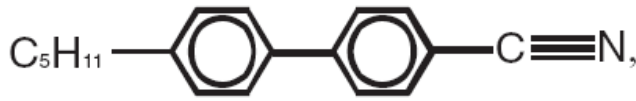
Yine nanoparçacık katkılı nematik sıvı kristalin polimer üzerindeki yönelim özellikleri Lee (2013) tarafından incelenmiştir. İlgili çalışmada, nematik maddenin eğilme açısı, mikroskopik yapısı ve elektro-optik özellikleri araştırılarak, bükümlü nematik bir göstergenin eşik voltajı ve yanıt süresi rapor edilmiştir.

Bu tez çalışmasında nematik sıvı kristal bir filmin bazı elektro-optik özellikleri sözü edilen araştırmalar kapsamında çalışma konusu edilmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

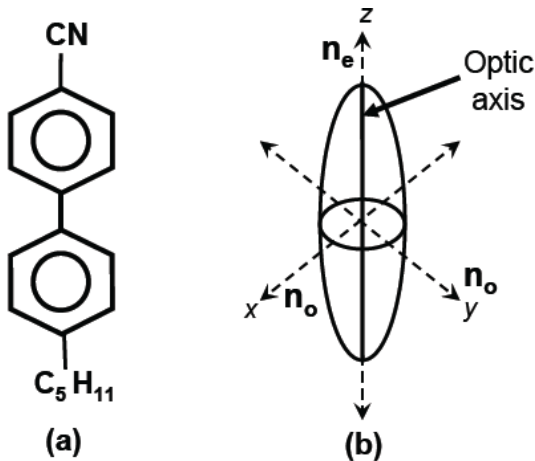
4.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan nematik madde K15 kod adı ile bilinen 4-siyano-4'-pentilbifenil bileşiğidir ve bileşiğin molekül yapısı Şekil 4,1'de verilmektedir. Kimyasal formülü $C_{18}H_{19}N$ olarak verilen bu bileşiğin molekül uzunluğu 20 \AA mertebesindedir. Bu bileşik için dielektrik anizotropi $\Delta\epsilon = 11.92$ değerindedir.



Şekil 4.1. K15 bileşiğinin molekül yapısı.

K15 basit faz geçiş özellikleri gösterir. Maddenin kristal katı fazdan nematik sıvı faza geçişi $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçekleşir ve $34 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ise erime ile izotropik sıvı faza geçiş yapar. Katı halde iken mikroskopik düzeyde çubuksu moleküller sabit bir doğrultuda yönelmişlerdir. Numune nematik faza geçtiğinde moleküller serbestçe öteleme ve dönme hareketleri yaparlar, ancak yine de ortaklaşa olarak bir yönelim düzenini korurlar. Ancak, numune eridiğinde moleküller arası bağların ortadan kalkması sonucu bütün yönelimsel düzen kaybolur. Şekil 4.2' de K15 bileşiğine ait optik kırılma indislerinin temsili gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.2. (a) K15 bileşiği ve (b) optik kırılma indislerinin gösterimi.

Siyanobifenil ve siyanoterfenil sıvı kristal maddeler oda sıcaklığında kimyasal ve fotokimyasal kararlılığa sahip nematik faz gösteren maddelerdir. Oda sıcaklığında da

nematik faz gösteren maddeler olup, çeşitli elektro-optik gösterge devrelerinde kullanımı tercih edilmektedir. Bu maddeler beyaz renkli, düşük vizkositeli ve büyük pozitif dielektrik anizotropi göstermeleri nedeniyle alan-etkimeli gösterge devrelerinde kullanılma avantajına sahiptirler.

Nematik molekülün alkil zinciri uzunluğu ve eşik voltajı değeri arasında bir ilişki bulunmaktadır. Çift sayılı zincire sahip bileşikler (K6, K12, M3, M9 gibi), tek sayılı zincirli bileşiklerden (K9, K15, M6, M12 gibi) daha düşük eşik voltajına sahiptirler. Bifenil bileşiklerin temizlenme sıcaklığı artan zincir uzunluğu ile değişim gösterir. Öyle ki çift zincirli bifenil karışımları tek zincirli karışımlardan yaklaşık 10 °C daha düşük N-I faz geçişi sıcaklığına sahiptir. Yine kısa alkil zincirine sahip bifenillerin erime sıcaklığı daha yüksektir. Bu nedenle düşük erime noktalı karışımlarda bu bileşiklerin kullanımını sınırlar.

Nematik faz aralığını genişletmek için kullanılan bileşiklerin sayısının artması vizkoziteyi artırmaktadır. Bazı bifenil bileşikler için ideal termodinamik davranış gözlenmesine rağmen, kristal polimorfizm ve izomorfizm ve yine katı çözeltili oluşumu gibi durumlarda bazı anormal davranışlar ortaya çıkar. Bu nedenle çok bileşenli eutektiklerin belirlenmesi deneysel açıdan problemler taşımaktadır. Karışım içindeki bileşenlerin seçimi bu açıdan önemlidir.

Herhangi çok sürücülü devrede gösterge için iki voltaj düzeyi önemlidir. Seçilmiş voltaj (select voltage), göstergenin tümüyle çalışır durumda olduğu maksimum voltajdır. Seçilmemiş voltaj (non-select voltage) ise göstergenin çalışır olmadığı zaman kabul etmesi gereken minimum voltajdır. Çapraz polarizörler arasındaki mikrometre kalınlığındaki bir filmde ışık geçişi ölçümleri yapıldığında, ölçüm şartları $V_{90,45,20}$ gibi bir gösterim biçimi ile belirtilir. Bunun anlamı ışığın film yüzeyine normal geliş doğrultusu ile 45° açı yaptığı ve 20 °C'de ölçülen ışık geçirgenliğinin % 90 olduğu voltaj (eşik voltajı) olarak verilmesidir.

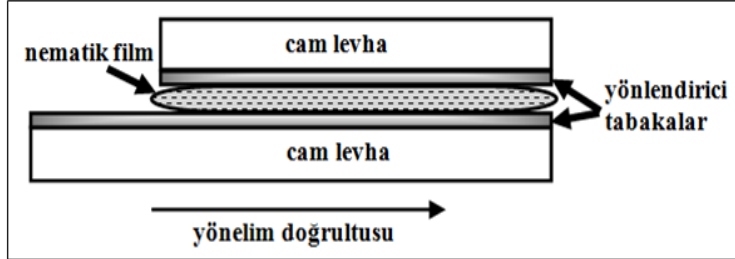
Nematik bir ortamdaki elektro-optik özelliklerin araştırılması için nematik ortamdaki moleküllerin durağan denge konumlarının önceden belirlenmiş olması gerekir. Yine ortamın türbid bir görünüme sahip olması nedeniyle, moleküllerin hareketlerinin optik yöntemlerle incelenebilmesi için kullanılan nematik filmlerin saydam olması gereklidir. Bu durum ise ince filmlerin hazırlanmasını gerekli

kılmaktadır. Nematik elektro-optik sistemlerin çalışma ilkesi, moleküler direktörün yönelim durumuna bağlıdır. Levha yüzeylerine yakın direktörün yönelim hareketi, elektro-optik devrenin verimini önemli ölçüde etkiler. Eğer nematik madde iki düz levha arasına konulur ve direktörün bu yüzeylere paralel olacak şekilde yönelimi sağlanırsa planar bir yapı elde edilir. Eğer moleküller levha üzerine dik olarak yönelirse bu tür elde edilen yapıya homeotropik yönelim adı verilir. Nematik sıvı kristal ortamda molekülerin aynı doğrultuda yönelimlerini sağlamak ve böylece bir mono kristal oluşumu elde etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin moleküllerin levha yüzeylerine dik olacak bir yönelimini sağlamak için Cetil Trimetil Amonyum Bromit (CTAB) gibi bileşikler kullanılmaktadır. Bu durumda levha yüzeylerindeki dik yönelim, nematik moleküllerin negatif kısımları ile pozitif bromit grupları arasındaki çekim kuvvetinden ileri gelmektedir.

Bu tez çalışmasında nematik moleküllerin cam levha yüzeylerine paralel yönelimini sağlayabilmek için bir polimer madde ile kaplı levha yüzeylerine yüzey etkinlik işlemi uygulanmaktadır. Böylece nematik mono kristal eksenini belirleyen bir doğrultuda sürtme işlemi uygulanarak planar bir yapı elde edilmektedir. Moleküler eksen ortamın optik eksenine ile aynı doğrultuda olup, levha yüzeylerine paraleldir. Genel olarak levha yüzeylerinde oluşan mikro-olukların veya levha yüzeyindeki moleküller ile sıvı kristal moleküller arasındaki fiziko-kimyasal kuvvetlerin bu yönelime neden oldukları belirtilmektedir. Mekaniksel sürtme işleminin yüzeydeki nematik moleküllerin esneklik enerjisini minimuma indirmediği öngörülmektedir. Genel olarak sürtme işlemi levha yüzeyi üzerinde polimerin ana ve kenar gruplarının mikroskopik yönelimlerine neden olmaktadır. Planar yönelim için eğer moleküler direktör levha yüzeylerine paralel olması durumunda esneklik enerjisi minimum olmakta, direktörün paralel olmadığı durumda ortamda moleküllerin açılma ve eğilme türü şekil değişimleri ortaya çıkmakta ve bu durum esneklik enerjisinde bir artışa neden olmaktadır.

Deneyleerde spin kaplama yöntemi ile (30 s süresi ve 2000 devir/dakika dönme hızı) SE130 poliamidi ile kaplanmış cam levha yüzeylerine aynı doğrultuda sürtme işlemi uygulanarak planar yönelimli yüzeyler elde edilmiştir. Daha önceden kesilerek hazırlanmış mylar şeritler cam levhalar arasına uygun biçimde yerleştirilerek sabit kalınlıklı ($d = 23 \mu\text{m}$) bir filmin oluşumu gerçekleştirilmiştir. Levhaların birbirlerine yapıştırılması amacıyla yüksek sıcaklığa dayanıklı bir yapıştırıcı kullanılmıştır.

Nematik madde mylar şeritlerle sınırlanan hücre içerisine kapiler yolla doldurulmuştur. Bu işlem sürecinde film içinde herhangi bir hava kabarcığının kalmamasına özen gösterilmiştir. Deneylede inceleme amacıyla hazırlanan nematik filmin şematik gösterimi Şekil 4.3' de verilmektedir.



Şekil 4.3. Nematik ince bir filmin gösterimi.

4.2. Yöntem

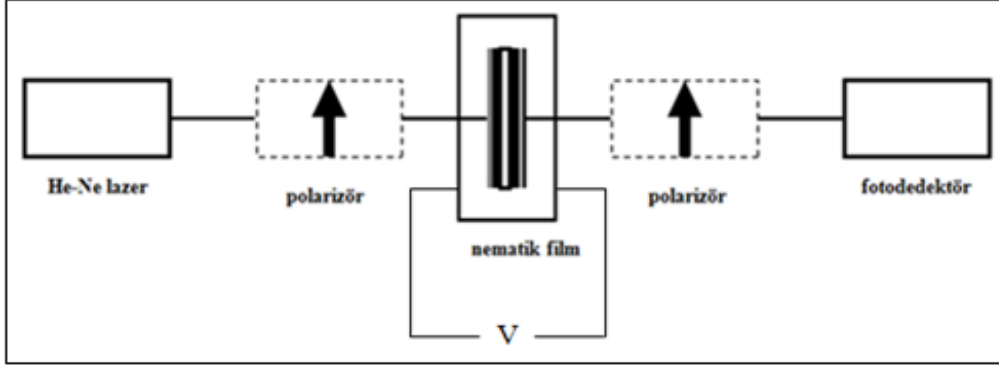
Deneyde yapımı gerçekleştirilen nematik filmlerdeki moleküler yönelimi durumu bir polarize mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Nematik filme ait yapısal desen görüntüleri Motic BA300Pol mikroskobu ve bir kamera yardımıyla elde edilmiştir.

Nematik sıvı kirstal filmin elektro-optik özelliklerini incelemek için kullanılan optiksel yöntem, nematik filme bir elektrik alan uygulanması ve filmde geçen çizgisel kutuplanmış tek-renkli He-Ne lazer ışığının ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) bir fotodedektör ile ölçülerek analiz edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Elektrik alan uygulanması bir sinyal üreticisinden alınan gerilimler ile sağlanmıştır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4,4'de verilmektedir. Deneylede planar ve bükümlü nematik filmler inceleme konusu edilmiştir.

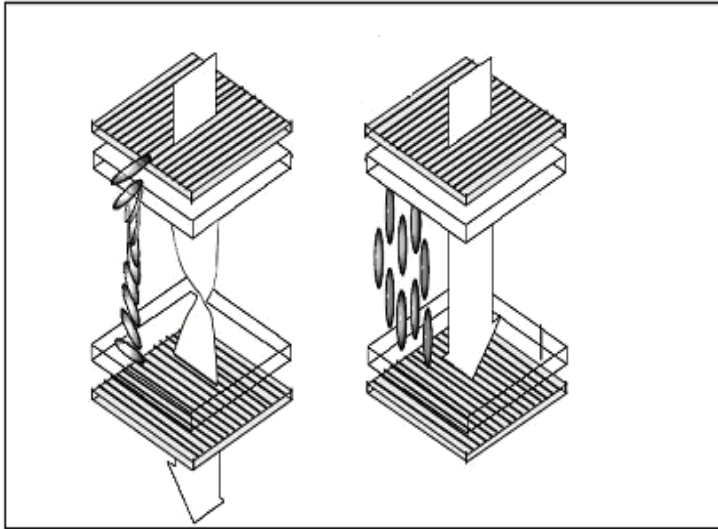
Bükümlü nematik film, nematik maddenin konulduğu yüzeylerin birbirlerine göre 90° bükülmesi ile oluşan, ancak her bir film yüzeyinde planar bir yönelimin bulunduğu bir yapıya sahiptir.

Eğer ışığın polarizasyon doğrultusu direktöre paralel ise ışığın polarizasyon hali direktörün bükülme durumunu izleyecektir. Bu ise ışık demetinin kutuplanma halinde bir dönmeye yol açacaktır. Polarizör ve analizörün birbirine göre 90° lik bir açıyla konumlandığı bükümlü nematik bir ortamda demetin kutuplanma doğrultusu 90° lik bir dönmeye uğrar. Ancak bu tür bir yapıya bir elektrik alan uygulanması durumunda,

molekülerin yönelimi değişir. Moleküllerin alan doğrultusu boyunca yönelmeleri sonucu daha önceki bükümlü yapı bozulur ve çapraz polarizör sistemi arasındaki bu tür bir filmde ışık geçişi gerçekleşmez (Şekil.4.5).



Şekil 4.4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.



Şekil 4.5. Bükümlü bir nematik filmin çalışma ilkesi.

Fiziksel optiğin ilkeleri üzerine yapılan birçok deney, kutuplanmış ışık ile ilgilidir. Örneğin çeyrek dalga veya yarım dalga levhalar, bir kristal içindeki olağan ve olağanüstü ışınların yayılması etkisine dayanır. Nematik sıvı kristal bir ortamın kırılma indisindeki anizotropi de bu açıdan oldukça ilginçtir. Düzenli yönelime sahip nematik sıvı kristal bir ortamda, optik eksenin uzun moleküler eksen veya direktör ile belirtilen doğrultudaki eş-eksenli karaktere sahip olması nedeniyle, bu düzenli hal çift kırıcı özellik sergiler. Birçok sıvı kristal elektro-optik aygıtın optik yanıt özellikleri sıvı kristal tabaka içindeki direktörün yeniden yönelme hareketine dayanmaktadır. Direktörün levha yüzeyindeki yeniden yönelim hareketi aygıtın verimi üzerine önemli

etkiye sahiptir. Moleküllerin yüzey üzerindeki bağlanma enerjileri aygıtın verimi açısından önemlidir. Daha önce belirtildiği gibi, sıvı kristal bir gösterge, iki levha yüzeyi arasındaki bir ince sıvı kristal tabakasından oluşur. Bu yüzeylerdeki direktör yönelimi düzgün optik özelliklerin ortaya çıkmasına neden olur. Polimer kaplamalı levha yüzeylerindeki planar yönelime levhanın uygun biçimde sürtülmesi ile elde edilir.

Nematik sıvı kristal bir ortamda optik çift kırılmanın işareti optik anizotropiye bağlıdır. Tek eksenli pozitif malzemelerde olağan ışınlar, olağan üstü ışınlardan daha büyük hıza sahiptir. Negatif malzemelerde ise tersi doğrudur. Çift kırılmanın işareti polarize ışık mikroskopunda konoskopik gözlem ile belirlenebilir. Çapraz polarizörler altındaki nematik sıvı kristal örneğin homeotropik yönelimi söz konusu ise girişim deseni oluşmaktadır. Bu desen, görüş alanının dört çeyrek parçadan oluşur. Bu desen Malta haçı olarak adlandırılmaktadır. Bu gözlem, analizörün üzerindeki Bertrand merceği ile yapılmaktadır. Oluşan görüntü kuvvetli bir şekilde yakınsayan ışık demeti ile oluşturulmaktadır.

Nematik sıvı kristal bir filme giren ışık demeti olağan ve olağanüstü olmak üzere iki bileşene ayrılır. Polarizörlerin titreşim düzlemleri birbirlerine göre 90° lik açı ile konumlandırıldığında ortamdaki geçen ışık şiddeti

$$I(\theta) = \frac{1}{2} \sin^2(2\theta) \sin^2(\pi \Delta n d / \lambda) \quad (4.1)$$

ile verilir. İki ışın arasındaki faz farkı $\delta = (2\pi \Delta n d / \lambda)$ ile verilir. Burada d filmin kalınlığı $\Delta n = n_e - n_o$ olağanüstü ve olağan ışınlar arasındaki fark ve gelen λ ışığın dalgaboyudur.

Şimdi direktörün polarizörün geçirgenlik eksenine paralel olduğu nematik bir filmdeki geçiş durumunu inceleyelim. Polarize olmamış demet ilk polarizör tarafından lineer polarize ışık demetine dönüştürülür. Demet hücre içerisinde ilerlerken 90° lik kutuplanma dönmesine maruz kalarak lineer polarize demet haline gelmiş olur. Bu durum

$$\phi \ll \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n d \quad (4.2)$$

sınırında geçerlidir. Burada ϕ toplam dönme açısı, d tabakanın kalınlığı, Δn nematik maddenin çift kırıcılığı ve λ ışığın dalga boyudur. Bu eşitsizlik Mauguin koşulu olarak bilinir ve 90° lik bükümlü nematik hücrede

$$\frac{\lambda}{2} \langle \Delta n d \rangle \quad (4.3)$$

olması halinde ortamdan çıkan demet eliptik kutuplanmaya uğrar. Birçok nematik elektro-optik aygıtta kullanılan hücreler Mauguin şartını sağlayamayabilir. Bu durum gösterge veriminin azalmasına neden olur. Bu durumda parlaklıkta ve kontrasta azalma ortaya çıkabilir. Ek olarak ışık geçişinin dalgaboyuna bağlı olması nedeniyle istenmeyen bir renk durumu oluşabilir.

Eğer nematik film çapraz polarizör sistemi arasına konulursa, ortamdaki ışık geçişi nedeniyle bu tür filme beyaz modlu film denir. Bu durumda hücrenin giriş yüzeyindeki direktör polarizörün geçirgenlik eksenine paralel, ancak çıkıştaki direktör ise analizörün geçirgenlik eksenine paraleldir. Böyle bir hücreden ışığın geçişi

$$T = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{\sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \sqrt{1+u^2} \right]}{1+u^2} \quad (4.4)$$

bağıntısı ile verilir. Burada u Mauguin parametresi olup,

$$u = 2d \frac{\Delta n}{\lambda} \quad (4.5)$$

ile tanımlanır.

Nematik bir madde oda sıcaklığında bulutsu bir görünüm sergilemektedir. Film levhaları arasına konulan nematik maddede çok sayıda bölgecik her biri kendine ait bir düzene sahiptir. Ancak, ortam içinde uzun menzilli bir düzen elde edebilmek için tüm nematik moleküllerin aynı yönelime sahip olmaları gereklidir. Böylece moleküllerin aynı yönelime sahip olması amacıyla, uygun yöneltici levhalara sürtme işlemi uygulanır. Sürtme işlemi ile yöneltici madde olarak kullanılan polimer zincirlerinin dizilimi moleküllerin uzun eksenlerinin sürtme doğrultusu boyunca yönelimine neden olur. Bu ise levhalar arasına konulan nematik maddede düzgün yönelimli bir ortam oluşur. Yönelmiş bu tür numuneler polarize mikroskop altında incelendiğinde, yönelmiş numunedeki düzenin kuvvetli bir çift kırıcılık etkisine neden olduğu gözlenir.

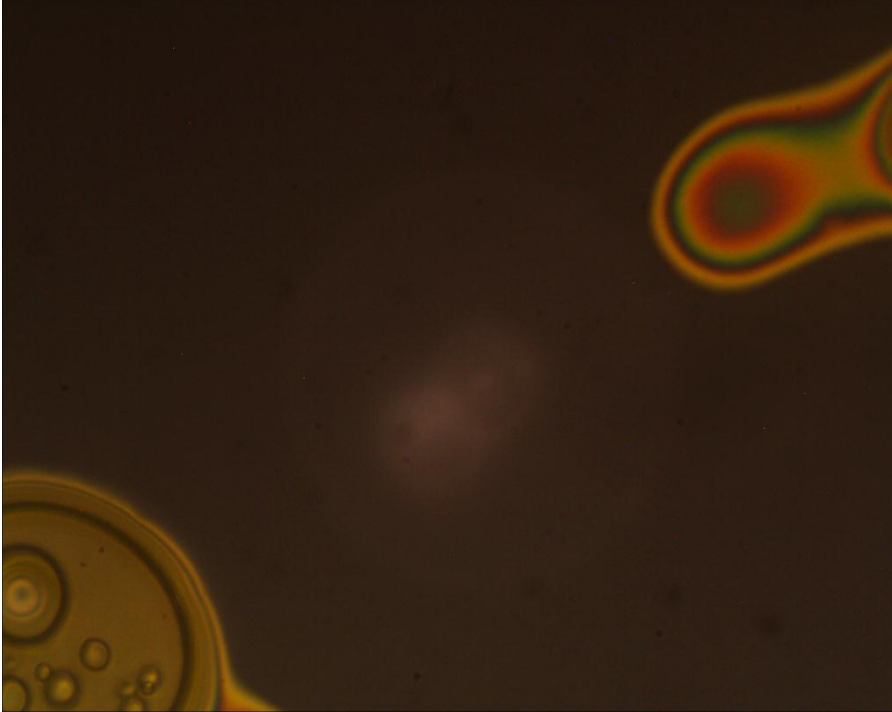
Bu tez çalışmasında nematik sıvı kristal bir filmde sürtme yöntemi ile planar bir yönelim gerçekleştirilmiştir. Nematik filmdeki yönelim durumu çapraz polarizörler arasındaki bir mikroskop altında incelenmiştir. Nematik faza ait yapısal desenler

görüntülenmiştir. Bu tür bir filmin elektrik alan etkimeli ışık geçirgenliği bir optik sistem yardımıyla araştırılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

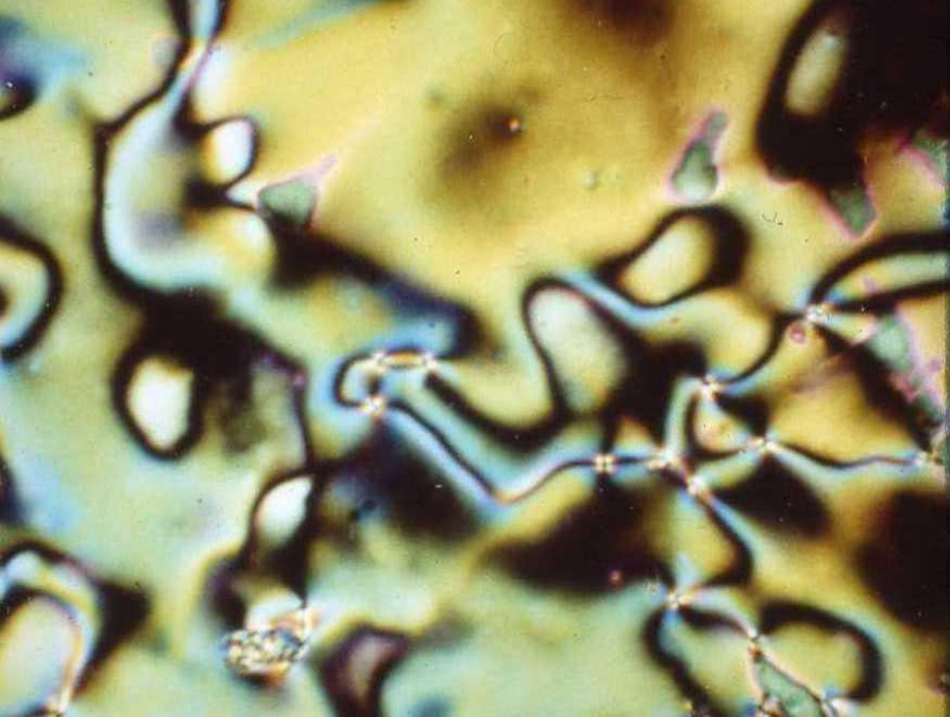
Nematik sıvı kristallerin optik özellikleri oldukça ayırt edici bir özelliğe sahiptir. Bu tür maddelerin çiftkırıcı özelliği nedeniyle, ortam üzerine düşen ışık ortam içinde farklı hızlarla ilerleyen ve birbirlerine dik olarak polarize olmuş iki bileşene ayrılmaktadır. Çift kırıcılık ortamda farklı desenlerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Sıvı kystal yapılar polarize mikroskop altında incelendiğinde, farklı fazların belirlenebilmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, çapraz polarizör sistemi arasındaki birkaç mikrometre kalınlığındaki numuneden geçen lineer polarize ışık birbirlerine dik kutuplanmış iki bileşene ayrılır ve farklı hızlarla ortamda yayılır. İkinci polarizör bu iki ışını ortak bir kutuplanma düzlemine geri getirir. Girişim nedeniyle ortamda renkler ortaya çıkar. Oluşan renkler filmin kalınlığına ve optik anizotropiye bağlıdır. Gözlenen renkler ve kusurlar karakteristik desenlerin oluşuma neden olur.

İzotropik sıvıdan soğuma yapılarak gözlem yapıldığında ilk olarak dairesel çift kırıcı bölgeler ortaya çıkmaktadır (Şekil 5.1). Aşağıdaki şekilde nematik fazda bu tür anizotropik yapıların oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 5.1. İzotropik fazda soğumayla ortaya çıkan nematik yapı oluşumu.

Faz geçişi tamamlandığında ortaya çıkan desenlerin biçimi tabaka kalınlığına da bağlıdır. Daha kalın nematik sıvı kristal filmlerde Schlieren deseni olarak bilinen ipliksi bir yapı ortaya çıkmaktadır. Deneyde kullanılan nematik madde için mikroskop altında çekilen ilgili desene ait tipik fotoğraf Şekil 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5.2. Nematik bir ortamda Schlieren deseni.

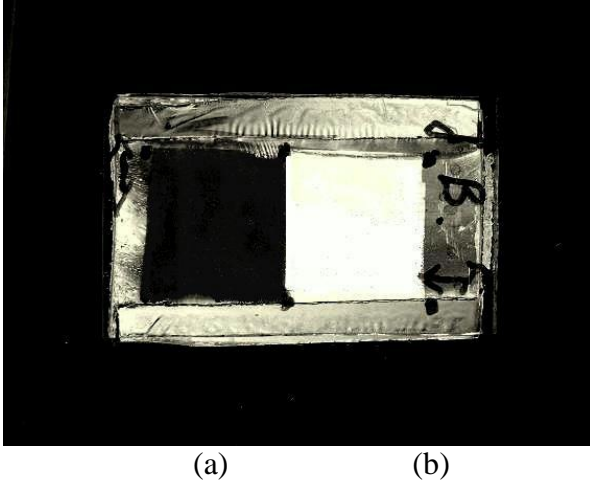
Gözlenen bu iplikler esneklik özelliğine sahiptir. Bir nematik iplik, bir kısmı altta ki cam yüzeye diğer kısmı ise bir damlacığın üst yüzeyine bağlıdır. Bu iki parça sıvı hacmi içerisinde yumuşak bir iplik ile bağlıdırlar. Sıvının akışkanlığından dolayı iplik kavisli bir görünümde olmasına rağmen sıvı durgun olduğunda iplikler düzgün bir görünüme sahip olur. İnce filmlerde ise bu ipliksi desen nokta kusurlarına sahip Schlieren desenine dönüşür. Çapraz polarizör arasında bu desen, noktalardan başlayan karanlık fırçalar şeklinde karakterize edilir. Bu tür filmlerde genellikle 2 ya da 4 karanlık fırçaya sahip noktalar gözlenebilir. Polarizör ve analizörü eş zamanlı çevirmek kusurlardaki fırçaların doğrultusu (disclination) aynı veya zıt doğrultuya dönüşür. Kusurların etrafındaki daire boyunca kontrast farkı sürekli ortaya çıkar. Dört saçaklı bir kusur etrafındaki tam bir dönüş için $\mp 2\pi$ lik bir dönüş gösterir. İki saçaklı bozulmamış kusurların varlığı nematik moleküler yapıda kutuplanmanın varlığı anlamına gelir.

Çünkü optik eksen doğrultusunda 180° lik bir değişimden sonra eşdeğer noktaya ulaşılmış olur.

Uygun yüzey işlemleri yapılarak düzgün moleküler yönelime sahip ince filmler elde etmek mümkündür. İpliksi çift çizgiler inversiyon duvarlarına karşılık gelen durumu gösterir. Optik eksenin doğrultusu bu duvarlara göre 180° döner. Herhangi bir işlem uygulanmamış yüzeyler arasındaki filmlerde ise mermer görünümlü yapılar ortaya çıkar. Optik eksenin yüzeye dik olduğu düzgün yönelmiş filmler elde etmek mümkündür. Bu tür filmler dikey olarak gözlemlendiğinden ortoskopik gözlemlerde herhangi bir çift kırıcılığa sahip olmayan izotropik yapılar ortaya çıkar. Bu durum nematik sıvı kristalin eş eksenli özelliklerini ortaya koymuş olur.

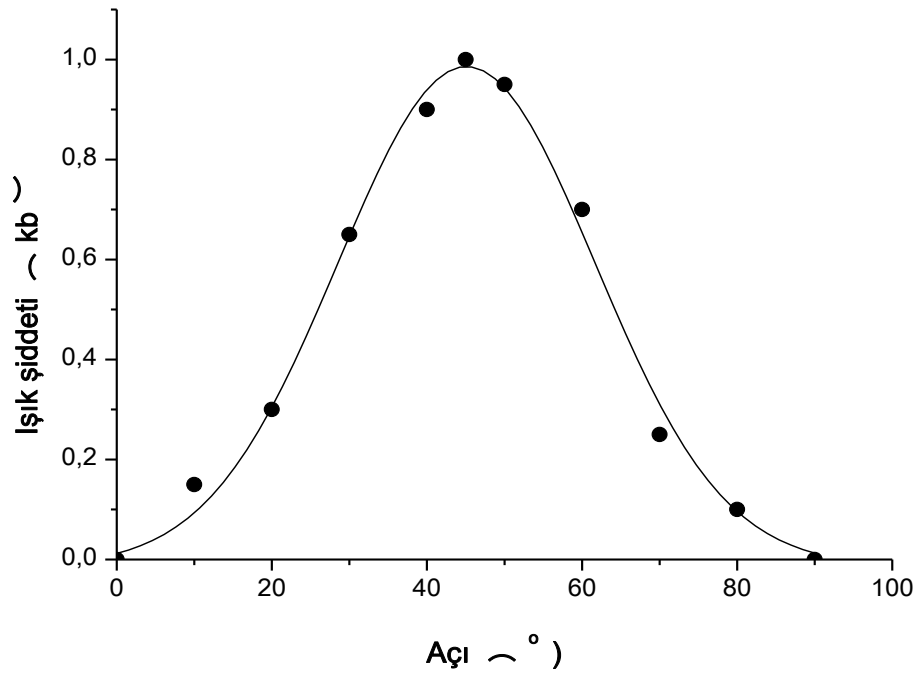
Çapraz polarizör arasındaki filmin üstteki cam levhasına hafifçe dokunulduğunda ani bir parlaklık elde edilebilir. Eğer numune hafif bir yöne eğilirse gözlem eksenini optik eksen ile küçük bir açı yapacağından çapraz polarizörler arasında mavimsi bir renklenme ortaya çıkar. İzotropik desenler nematik–simektik A faz geçişlerinde ortaya çıkar. Filmin yüzeyine paralel veya dik moleküler yönelimin olduğu durumlara ilaveten eğimli moleküler yönelimlerin olduğu filmler de mümkündür. Örneğin düşük sıcaklıklarda simektik C fazı gözlenen bileşikler sıcaklıktan bağımsız nematik fazdaki bir yönelim ortaya koyabilir. Nematik faz temizleme noktasında düzgün paralel bir yönelime sahip olur. Ancak düşük sıcaklıklarda moleküler yönelim eğimli durum nedeniyle daha az düzgün bir hale gelir. Yani yüzeylerdeki moleküler yönelim nematik filmin içindeki yönelimleri değiştirir. Nematik bir fazda belirli düzenlemeyi gösteren Schlieren deseni direktörün ortam içerisinde farklı yönelimlere sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Filme uygulanan sürtme işlemi doğrultusu polarizörlerden birisinin geçirgenlik eksenini boyunca olacak biçimde seçildiğinde, ortamdaki ışık geçişi maksimum olmaktadır. Bu durum, filmdeki optik eksen doğrultusunun sürtme doğrultusu boyunca ortaya çıktığını belirtmektedir. Şekil 5.3.(a)'da planar ve 5.3.(b)'de bükümlü nematik filmin fotoğrafı gösterilmektedir.



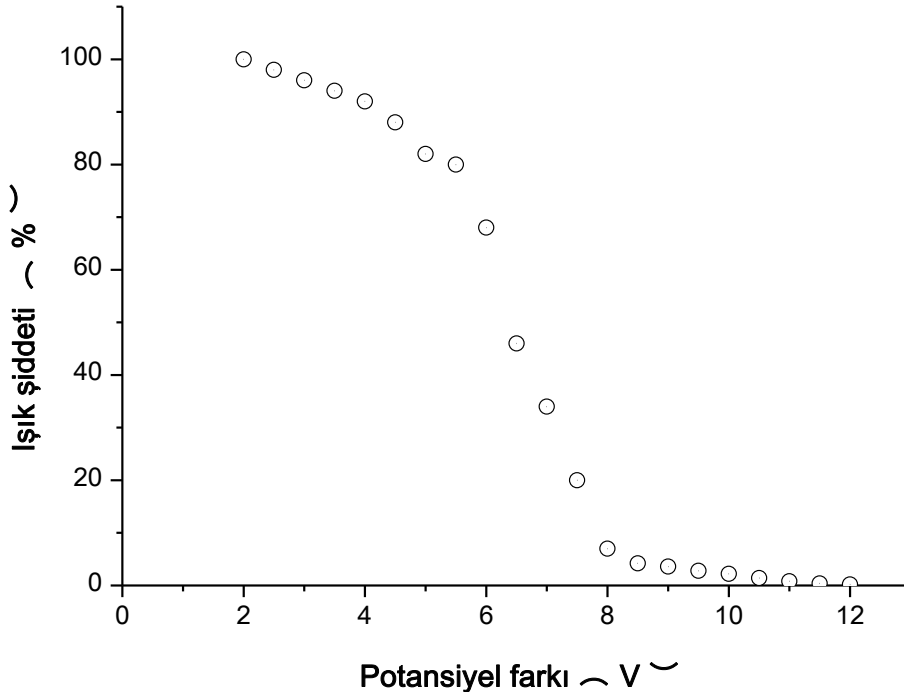
Şekil 5.3. Nematik filmin makroskopik fotoğrafı: (a) planar (b) bükümlü yapı.

Çapraz polarizör sistemi arasındaki nematik filmdeki ışık geçirgenliği direktör yönelimine bağlı olarak incelenmiştir. Filmdeki direktör yöneliminin, polarizörün geçirgenlik eksenine 45° açı yapması durumunda ışık şiddeti maksimum olmaktadır. Ancak, direktörün polarizör eksenine paralel olması durumunda ışık şiddeti minimum olmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Nematik filmde geçen ışık şiddetinin açıyla değişimi.

NSK filmin uygulanan potansiyel farkına bağlı optik geçirgenliği Şekil 5.5’de gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Nematik filme uygulanan potansiyel farkının fonksiyonu olarak ışık geçirgenliği.

Nematik sıvı kristal bir göstergenin tepkisini incelemede önemli nicelikler V_{10} ve V_{90} sırasıyla optik geçirgenliğin %10 ve %90 değerlerine karşılık gelmektedir. $\Delta V = V_{90} - V_{10}$ parametresi nematik bir filmin görüntü kalitesini belirler ve uygulamalarda bu değer büyük olması tercih edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan K15 bileşiği için eşik voltajı $V_{10} = 4,2$ V olarak bulunmuştur. Yine V_{90} değeri 7,9 V olarak ölçülmüştür. Böylece nematik film için görüntü kalite faktörü ise $\Delta V = 3,5$ V olarak hesaplanmıştır. Bu değerler daha önce üzerinde benzer çalışma yapılan BL001 gibi bileşiklerle karşılaştırıldığında büyüktür. Bu bileşik için dielektrik anizotropi $\Delta\epsilon = 11,92$ iken BL001 için bu değer $\Delta\epsilon = 13,8$ olduğundan K15 bileşiğinin elektrik alandaki tepkisi bakımından diğer siyanibifenil bileşiklere göre optik veriminin nispeten daha az olduğu görülmüştür. Yine bu durum kullanılan bileşiğin yüzey bağlanma enerjisi ve deneysel olarak hazırlanan filmin kalitesi ve filmdeki eş-eksenli direktör yöneliminden ileri geldiği düşünülmektedir. Diğer taraftan bu çalışmada kullanılan film kalınlığının büyük olması ($d=23$ μm) filme uygulanması gereken elektrik alanının değerinin büyük olmasına neden olmaktadır ($E_{th} \sim d$).

Sonuç olarak, nematik fazdaki moleküller tipik olarak belirli bir yönelim doğrultusunda yönelmiş moleküllerden oluşmaktadır. Ancak bu yönelim ortam içinde uzun menzilli değildir. Moleküler yapıdaki rijid yapı ve moleküldeki dipol moment ve kutuplanabilme özelliği, moleküller arası zayıf bir etkileşime neden olmaktadır. Dış sınırlayıcı kuvvetlerin bulunmadığı bir durumda, ortam içinde rastgele dağılmış bölgecikler söz konusudur. Yönlendirme işlemi uygulandığında ortam içinde yönelim gerçekleşir. Bir dış alan etkisiyle ortam içinde bir şekil değişimi (deformasyon) gerçekleşir. Böylece ortam içinden geçen ışığın optik özellikleri değişime uğrar. Bu tez çalışmasında nematik bir sıvı kristal filmin elektro-optik davranışı incelenmiştir.

KAYNAKLAR

- Allen, M.P., 2000. Molecular simulation and theory of the isotropic-nematic interface. *J. Chem. Phys.*, **112**: 5447–5453.
- Andrienko, D., Germano, G., Allen, M.P., 2000. Liquid crystal director fluctuations and surface anchoring by molecular simulation. *Phys. Rev. E*, **62**: 6688–6693.
- Barbero, G., Zvezdin, A.K., Evengelista, L.R., 1999. Ionic adsorption and aquilipruim distributionof charges in a nematiccell. *Phys. Rev.*, **E 59**: 1846-1849.
- Berggren, E., Zannoni, C., Chiccoli, C., Passini, P., Semeria, F., 1994. A Monte Carlo simulation of a twisted nematic liquid crystal display. *Int. J. Mod Phys.*, **6**: 135-141.
- Brugioni, S., Meucci, R., 2004. Liquid crystal twisted nematic light modulator for the infrared region. *J.Opt.A: Pure. Appl. Opt.*, **6**: 6-9.
- Bryan-Brown, G.P., Brown, C.V., Sage, I.C., Hui, V.C., 1998. Voltage-dependent anchoring of a nematic liquid crystal on a grating surface. *Nature.*, **392**: 365-367.
- Chandrasekhar, S., 1977. *Liquid Crystals*, Cambridge University Press, Cambridge. 341s.
- Chen, H., Y., Lee, W., 2005. Electrooptical characteristics of a twisted nematic liquid-crystals cell doped with carbon nanotubes in a dc electric field. *Opt. Rev.*, **12**: 223-225.
- Clark, N. A., S. T. Lagerwall (1980). Submicrosecond bistable electro-optic switching in liquid crystals. *Appl. Phys. Lett.* **36**: 899-901.
- Dierking, I., Scalia, G., Morales, P., 2005. Liquid crystal–carbon nanotube dispersions. *J. Appl. Phys.*, **97**: 044309- 044312.
- Fedorenko, D., Ouskova, E., Reshetnyak, V., Reznikov, Y., 2006. Evolution of light-induced anchoring in dye-doped nematics. *Phys. Rev. E.*, **73**: 031701-031708.
- Gelbart, W.M., 1982. Molecular theory of nematic liquid crystals, *J. Phys. Chem.*, **86** (22): 4298–4307.
- Guo, J. X., Kwok, H. S., 2000. High performance transmittive bistable twisted nematic liquid displays. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39**: 1210-1216.

- Hindmarsh, P., Owen, G.J., Kelly, S.M., Jackson, P.O., O'Neill, M., Karapınar, R., 1999. New coumarin alignment layers for liquid crystals. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **332**: 439-446.
- Hirosawa, I., Matsushita, T., Miyairi, H., Saito, S., 1999. Effects of soaking in solvents on molecular orientation of rubbed polyimide film. *Jpn. J. Appl.*, **38**: 2851-2855.
- Kahn, F.J., 1972. Orientation of liquid crystals by surface coupling agents. *Appl. Phys. Lett.*, **22**:386-388.
- Karapınar, R., 2005. Bükümlü nematik sıvı kristaller. (Çağrılı Konuşma), *Geleneksel Erzurum Fizik Günleri-II*, 25-28 Mayıs 2005. Erzurum.
- Karapınar, R., Gülebağlan, S.E., 2004. Bükümlü nematik sıvı kristal bir filmin incelenmesi. **22. Türk Fizik Kongresi**, 14-17 Eylül 2004. Bodrum.
- Karapınar, R., Gündüz, E., 1994. An acousto-optic modulator with a liquid crystal. *Opt. Commun.*, **105**: 29-32.
- Karapınar, R., O'Neill, M., Hird, M., 2009. Measurement of electro-optical parameters of a high contrast FLC film. *Opt. Commun.*, **282**: 1345-1348.
- Kawamoto, H., 2002. The history of liquid crystal displays, *Proc. IEEE*, **90**: 460-500.
- Khoo, I.C., 1996. Orientation photorefractive effects in nematic liquid crystal films. *IEEEJ. Quant. Elect.*, **32**: 525-534.
- Larsen, T.T., Bjarklev, A., Hermann, D. S., Broeng, J., 2003. Optical devices based on liquid crystal photonic bandgap fibres. *Opt. Express*, **11**, 2589-2596.
- Lee, J.W., 2013. Electro-optical properties of twisted nematic liquid crystal displays fabricated with TIPS-pentacene doping, *Trans. Electr. Electron. Mater.*, **14(2)**: 82-85.
- Lin, J., Wu, S.-T., 2004. Extended Cauchy equations for the refractive indices of liquid crystals. *J. Appl. Phys.*, **95(3)**: 896-901.
- Lucchetta, D.E., Karapınar, R., Manni, A., F. Simoni, F., 2002. Phase only modulation by nano-sized polymer dispersed liquid crystals. *J. Appl. Phys.*, **91**: 6060-6065.
- MacGregor, A.R., 1988. Modeling of the optical properties of twisted nematic guest-host liquid crystals. *J. Phys.D: Appl. Phys.*, **21**: 1438-1446.

- Merlin, J., Chao, E., Winkler, M., Singer, K.,D., 2005. All-optical switching in a nematic liquid crystal twist cell. *Opt. Express*, **13** (13):5024-5029.
- Mongkolsakulvong S., Tangb I.M. 2007. A new approach to the mean field theory for nematic liquid crystals *ScienceAsia* **33**: 321-327.
- Olyaeefar, B., Khoshsima, H., 2012. Anchoring effect on switching dynamics of a nematic liquid crystal intensity modulator, *Opt. Commun.*, **285**: 284–287.
- Paek, S.H., Durning, C.J., Lee, K.W., Lien, A., 1997. A mechanistic picture of the effects of rubbing on polyimide surfaces and liquid crystal pretilt angles. *J.Appl. Phys.*, **83**: 1270-1280.
- Pagliusi, P., Cipparone, G., 2002. Charge transport due to photoelectric surface activation in pure nematic liquid crystal cell. *J. Appl. Phys.*, **92**: 4863-4869.
- Pezzaniti, J. L., Chipman R. A., 1993. Phase-only modulation of a twisted nematic liquid- crystal TV by use of the eigenpolarization states. *J. Opt. Soc. Am. B: Opt. Phys.*, **18**: 1567-1569.
- Qian, T. Z., Xie, Z. L., Kwok, H. S., Sheng, P., 1997. Dynamic flow and switching bistability in twisted nematic liquid crystal cells. *Appl. Phys.*, **71**: 596-598.
- Sarman, S., 1998. Flow properties of liquid crystal phases of the gay-berne fluid. *J. Chem. Phys.*, **108**:7909–7916.
- Schadt, M., Schmitt, M., Kizinkov, V., Chigrinov, V., 1992. Surface-induced parallel alignment of liquid crystals by linearly polymerized photopolymers. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**: 2155-2164.
- Schopohl, N., Sluckin, T. J., 1987. Defect core structure in nematic liquid crystals. *Phys. Rev. Lett.*, **59**: 2582–2584.
- Verhoeff, A.A., Wensink, H. H., Vis, M., Jackson, G., Lekkerkerker, H. N. W., 2009. Liquid crystal phase transitions in systems of colloidal platelets with bimodal shape distribution, *J. Phys. Chem. B*, **113**: 13476–13484.
- Wang, Q. H., Wu, T. X., Zhu, X., Wu, T., 2004. Achromatic polarization switch using a film- compensated twisted nematic liquid crystal cell. *Liq. Cryst.*, **31**: 535-539.

- Zhang, J., Ostroverkhov, V., Singer, K.D., Reshetnyak, V., Reznikov, Yu., 2000. Electrically controlled surface diffraction gratings in nematic liquid crystals. *Opt. Lett.*, **25**: 414-416
- Zhu, X., Hong, Q., Huang, Y., Wu, S. T., 2003. Eigenmodes of a reflective twisted nematic liquid crystal cell. *J. Appl. Phys.*, **94**: 2868-2873.

ÖZ GEÇMİŞ

1978 yılında Trabzonda'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2000 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden mezun oldu. 2011 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı.