



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

FİZİK ANABİLİM DALI

**İKİLİ SIVI KRİSTAL KARIŞIMLARIN SPEKTROSKOPİK
YÖNTEMLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih ÇAKIRTAŞ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman YILMAZ

AKSARAY, 2014

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 122310301 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, "Mehmet Fatih ÇAKIRTAŞ", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İKİLİ SIVI KRİSTAL KARIŞIMLARIN SPEKTROSKOPİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	Prof. Dr. Süleyman YILMAZ	
	Aksaray Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Doç. Dr. Engin DELİGÖZ	
	Aksaray Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Doç. Dr. Oral OLTULU	
	Harran Üniversitesi	

Teslim Tarihi: 30 Ekim 2014

Savunma Tarihi:17 Kasım 2014

ÖNSÖZ

Sıvı kristaller bir sıvının özelliklerini ve çoğu katı kristalin özelliklerine eş zamanlı olarak sahip olan yapılardır. Sıvı kristaller organik bileşiklerden oluşur ve bir kristalin sıvı durumuyla katı arasındaki bir faz durumu olarak bilinir. Bir sıvı kristal, sıvı gibi akışkan özellik gösterirken molekülleri kristal yapıdaki gibi yönelime sahip olabilir. Bu yüzden sıvı kristaller bir sıvının özelliklerine ve bir katının anizotropik özelliklerine sahiptir. Termotropik sıvı kristal materyali bir katının eritilmesi sonucu sıvı kristal faza ulaşır. Sıcaklığın daha da artırılması sıvı kristal fazın izotropik sıvı faza geçmesine neden olur. İzotropik sıvı faza geçiş sıcaklığı temizleme noktası veya temizlik noktası olarak bilinir. Erime ve temizlik noktaları arasında malzeme sıvı kristal özelliği taşır. Sıvı kristaller dört temel faza ayrılır; Nematik, Smektik, Kolestorik ve Sütunsu fazlardır. Bu fazlar konum ve yönelim düzenine bağlı olarak belirlenir. Bu fazları açıklama için değişik modeller uygulanmıştır. Sıcaklık artırıldığında sıvı kristaller bilinen izotropik moleküler düzene geçerler. İzotropik fazda moleküller rastgele hareket eder ve sıvıya benzer akışkan davranış gösterir. Farklı sıvı kristal fazlar mezofaz olarak adlandırılır. Yüksek sıcaklıkların tersine çok düşük sıcaklıklarda çoğu sıvı kristal, katı kristal forma dönüşür. Sıvı kristallerin anizotropik davranışı ve akışkanlık özelliklerinin birlikte olması bunları karakteristik optik özelliklere sahip kılmıştır. Bu özelliklerinden dolayı teknolojik alanda birçok uygulama alanı bulmuştur. Bunlar sıvı kristal ekranlar, sıcaklık ölçüm sensörleri, hesap makinelerinin ekranların yapımında kullanılmaktadır. Bu yüzden teknolojide daha geniş uygulama sahası bulabilmesi için bunların özelliklerinin daha iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu özellikler faz geçişlerinin anlaşılmasıyla mümkün olacaktır. Bu çalışma bu yüzden sıvı kristal fazda ışık geçirgenliğinin dalga boyu ve elektrik alan bağıllığını araştırmıştır.

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışımında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Mehmet Fatih ÇAKIRTAŞ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmam sürecinde her türlü konuda bilgi ve deneyimleriyle bana destek olan Sayın hocam Prof. Dr. Süleyman YILMAZ' a, aynı özveriyle ve hoşgörüyü bilgi ve deneyimlerini paylaşan Doç. Dr. Oral OLTULU' ya ve bana her konuda destek olan eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
DOĞRULUK BEYANI.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Sıvı Kristaller.....	1
1.2. Sıvı Kristallerin Genel Özellikleri	3
1.3 Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması.....	4
1.4 Termotropik Sıvı Kristaller.....	5
1.5 Sıvı kristal Faz Türleri	6
1.5.1 Smektik faz.....	7
1.5.2 Nematik Faz	8
1.6 Nematik Düzen Parametresi	10
2. LİTERATÜR ÖZETİ	12
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	17
3.1 Malzeme.....	17
3.2 Yöntem.....	18
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
5.SONUÇLAR	31
KAYNAKLAR	32
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

İKİLİ SIVI KRİSTAL KARIŞIMLARIN SPEKTROSKOPİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ

Optik anizotropi araştırmalarında kullanışlı metotlardan biride spektroskopik ölçümlerdir. Bunun için uygun bir teknik ultraviyole/görünür spektroskopisidir. Bu çalışmada 5CB ve 8CB nematik sıvı kristalleri belirli bir sıcaklıkta değişken elektrik alan altında çalışılmıştır. 387-780nm dalgaboyu aralığında, nematik sıvı kristal ikili karışımlarının optiksel anizotropisi bir sıcaklık kontrolörü ve UV/Vis spektrometresiyle incelendi. Bu çalışmanın temel amacı uygulanan bir alternative gerilimde nematik sıvı kristalin elektro optik geçirgenliğini araştırmaktadır. Ölçümler dalga boyunun bir fonksiyonu olarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Spektroskopi, AC Elektrik Alan, Nematik Sıvı Kristaller, İkili Karışımlar

ABSTRACT

INVESTIGATION OF BINARY MIXTURES OF LIQUID CRYSTALS BY A SPECTROSCOPIC METHOD

One of the useful methods in the investigation of the optical anisotropy is the spectroscopic measurements. A convenient technique for this is the ultraviolet/visible spectroscopy. In this study, nematic liquid crystals 5CB and 8CB were studied at a determined temperature under variable electric field. At the wavelength interval of 387-780nm, the optical anisotropy of binary mixtures of nematic liquid crystals has been studied by utilizing a UV/Vis spectrophotometer and a thermal controller. The main purpose of this study is to investigate the electrooptical transmission of a nematic liquid crystalline in applied AC voltages. Measurements were carried out as a function of the wavelength.

Keywords : Spectroscopy, AC Electric Field, Nematic Liquid Crystals, Binary Mixtures

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: Katı, Sıvı Kristal ve Sıvının Molekül Yönelimi.....	4
Şekil 1.2: Katı ve İzotropik Sıvı Faz Arasındaki Sıvı Kristallik Mezofazlar	4
Şekil 1.3: Sıvı kristallerin sınıflandırılması	5
Şekil 1.4: Termotropik sıvı kristallerin molekül şekilleri.....	5
Şekil 1.5: Temsili olarak Smektik A fazının gösterimi. Direktör (n vektörü) katman normaline (k vektörü) paralel	7
Şekil 1.6: Smektik C fazının gösterimi. Direktör (n vektörü) katman normaline (k vektörü) paralel değil	8
Şekil 1.7: Nematik düzenin şematik görünümü gösterimi. Direktör (n vektörü) ile molekül arasındaki açının değişimi	9
Şekil 1.8: Düzen parametresini tanımlamak için kullanılan geometri.....	11
Şekil 1.9: Termotropik sıvı kristallerde nematik düzen parametresinin,S, sıcaklığın,T, fonksiyonu olarak gösterimi.....	11
Şekil 3.1: Numune tutucunun kapalı durumda şematik görüntüsü.....	19
Şekil 3.2: Numune tutucunun açık durumda şematik görüntüsü.....	19
Şekil 3.3: Sıcaklık kontrolü için kullanılan termostat	20
Şekil 3.4: Sıvı kristal hücre, ısıtıcı ve örnek tutucu içersinde. Yönlendirme için sıvı kristal hücrenin güç kaynak bağlantısı	20
Şekil 3.5: Sıvı kristal moleküllerinin elektrik alan içersindeki davranışı.....	21
Şekil 3.6: Deneysel sistem UV/Vis spektrometrenin temsili çizimi gösterilmiştir ...	22
Şekil 4.1: %100 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) sıvı kristalinin dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Ölçümler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır	23
Şekil 4.2: %100 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır ...	24
Şekil 4.3: %100 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır.....	25
Şekil 4.4: %100 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır ...	25
Şekil 4.5: %65 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl- C18H19N) ve %35 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır	26
Şekil 4.6: %65 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %35 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır	27

Şekil 4.7: %35 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %65 8CB (4-octyl- 4' cyanobiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır	27
Şekil 4.8: %35 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %65 8CB (4-octyl- 4'-cyanobiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır	28
Şekil 4.9: %50 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %50 8CB (4-octyl- 4'-cyanobiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır	29
Şekil 4.10: %50 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %50 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalga boyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır	29

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Farklı sıvı kristal malzemeden hazırlanan örnekler	18

SİMGELER DİZİNİ

$\mathbf{k}$	Dalga vektörü
S	Düzen parametresi
φ	Direktörün normalle yaptığı açı
n_e	Sıradan olmayan kırılma indisi
n_o	Sıradan kırılma indisi
T	Sıcaklık
θ	Direktör ve molekül arasındaki açı

KISALTMALAR DİZİNİ

5CB	4-Cyano-4'-pentylbiphenyl
8CB	4-cyano 4-octylbiphenyl
8OCB	4'-(n-octyloxy)-4-cyanobiphenyl
Sm	Smektik

1. GİRİŞ

1.1 Sıvı Kristaller

Katı, sıvı ve gaz fazları maddenin en bilinen halleridir. Fakat bilinenin aksine maddenin bunların dışında halleri de vardır. Maddenin tüm bu halleri birbirlerinden farklıdır çünkü her bir halde moleküller farklı bir düzene sahiptirler. Yeryüzünde doğal olarak bulunan ve kimyasal yolla elde edilen bazı organik maddeler; katı, sıvı ve gaz fazının dışında dördüncü bir faz özelliği gösterirler. Katı ve sıvı fazların karışımı ara faz özelliği sergileyen bu malzemelere sıvı kristaller denilmektedir.

Sıvı kristaller ve gösterdikleri ilginç faz değişimleri araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Her türlü mekanik etkiye, sıcaklık ve basınç değişimlerine son derece duyarlı olmaları, öte yandan elektriksel, manyetik ve optik özelliklerinde gözlenen anizotropik davranışlar nedeniyle sıvı kristaller, giderek artan bir ilgi ve geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Sıvı kristaller, ekran endüstrisinde yeni bir devir başlatmış ve temel bilimcilerde büyük ilgi uyandırmıştır (Lueder, 2001).

Bilim adamları uzun yıllar maddenin doğadaki halleri için genellikle sınır hallerini göz önüne almışlardır. Bunlar atomların periyodik bir örgü içinde üç boyutlu bir yerleşim gösterdiği kristal yapıları katılar ve diğer taraftan atom ve moleküllerin tümüyle düzensiz bir yerleşim gösterdiği akışkanlardır. Kristal yapıları katılardaki konumsal düzenden dolayı anizotropik bir davranış sergilerken, akışkanda herhangi bir düzenin olmaması nedeniyle izotrop bir karakter mevcuttur. Yani; madde her doğrultuda aynı özelliğe sahiptir. Katı fazda madde belirli bir yapıya sahip olup maddeyi oluşturan moleküller arasındaki bağ enerjileri oldukça büyüktür. Bir katının molekülleri üç boyutta düzenli tekrarlanıyorsa kristal, molekülleri arasında uzun mesafe düzeni yoksa amorf (şekilsiz) katı olarak bilinirler. Demir, bakır, altın gibi metaller kristallere; cam, kağıt, odun gibi katılar amorf katılara örnektir. Sıvıların ise belirli bir şekli yoktur, ancak bulundukları kabın şeklini alırlar. Molekülleri çubuksudur ve aralarındaki bağ enerjisi küçük olduğundan kolay buharlaşabilir.

Üzerine etkiyen basıncı aynen iletir ve sıkıştırılamazlar. Bazı organik bileşiklerin katı (kristal) halden izotropik sıvı hale geçişleri esnasında, tek basamaklı (doğrudan) bir geçiş yerine, her birinde maddenin yeni ve alışılmışın dışında bazı özellikler sergilediği "basamaklı" bir geçiş gösterdikleri uzun süredir bilinmektedir.

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

Bir sıvı kristal ortam, sıvıların tüm özelliklerini bünyesinde taşır. Buna karşın, örneğin kırılma indisi, dielektrik sabiti ve manyetik duyunluk gibi bazı fiziksel parametreleri, belirlenen doğrultulara bağılı olarak değiştiğinden anizotropik karakterdedir. Ortaya çıkışı çok öncelere dayanan sıvı kristal maddelerin, gelişen laboratuvar olanaklarına paralel olarak son yıllarda önem kazandığı görülmüştür.

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

Sıvı kristallerde moleküller arası kuvvetler zayıf olduğundan dış etkilere karşı yüksek hassasiyet gösterirler. Bu özelliklerinden yararlanılarak sıcaklık, basınç, elektrik ve manyetik alan gibi dış etkileri izlemek için çeşitli sensor uygulamalarında kullanılırlar (Köysal, 2007).

Günümüzde sıvı kristal gösterge cihazları (LCD'ler), teknolojinin birçok alanında kendine uygulama sahası bulmuştur. Amerika, Japonya ve Avrupa'nın birçok ülkesinde bu alanda devamlı ve sürekli araştırmalar başlatılmış, çok yönlü gelişmeler sağlanmıştır. Sıvı kristallerin elektro-optik, manyeto-optik özellikleri üzerinde yoğunlaşan çalışmalar, hızlı anahtarlama, yüksek çözünürlüklü renkli görüntü cihazlarının yapımı için önemini daha da arttırmıştır. Sıvı kristal ekranların düşük güç tüketimi gerektirmeleri, küçük boyutları ve karmaşık devre elemanları ile uyumlu çalışabilmeleri onların öneminin bir kat daha artmasını sağlamış yakın

gelecekte teknolojik uygulamalardaki yerini daha da sağlamlaştırmıştır (Priestley ve ark., 1975).

1.2 Sıvı Kristallerin Genel Özellikleri

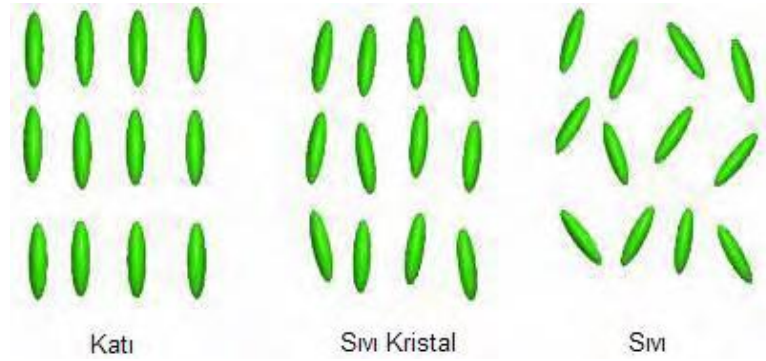
Sıvı kristaller; viskoz, jelatinsi materyaller olup, sıcaklığı artırılırken saydam hale dönüşerek sıvılara benzerler. İlk olarak, 1888'de Avusturyalı Botanikçi Friedrich Reinitzer tarafından keşfedilmişlerdir. Reinitzer, Cholesteryl-Benzoate incelemesinde iki farklı erime noktası gözlemlemiş (145°C '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

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

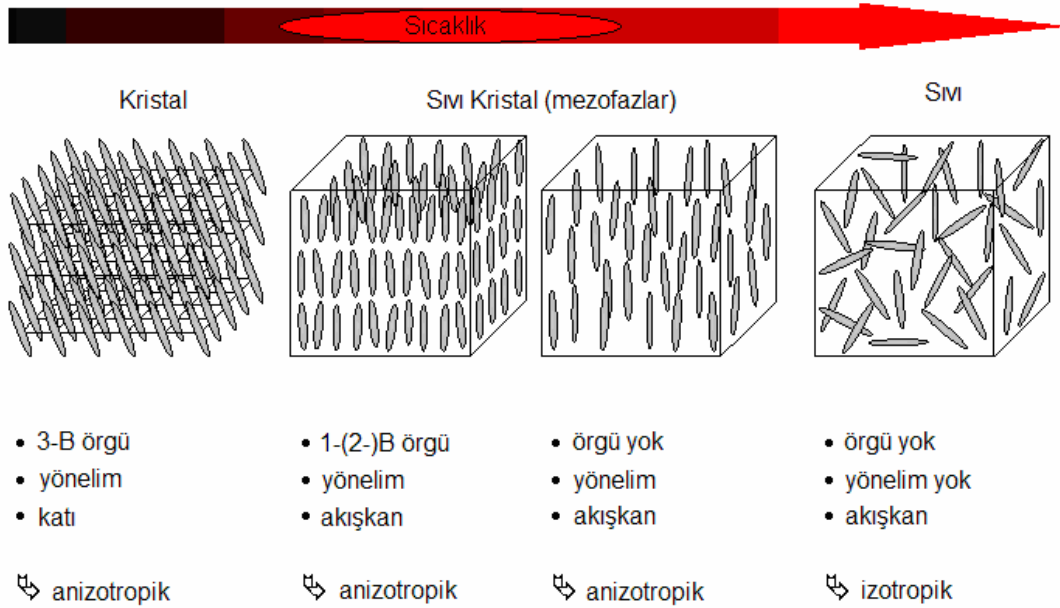
Polarize ışıktaki çift kırılma özelliğine sahip olup, girişim renkleri verebilir. Üzerine düşen ışığa göre spektrumdaki renkleri sırasıyla sergiler. Soğutmada gösterdiği renkler tersinirdir. Karakteristik yönelim düzeni, genel olarak, düzenli yapıdaki kristaller ile düzensiz yapıdaki sıvılar arasındadır. Buna mezojenik faz denir. Bu fazda moleküller sıralı düzene sahip olmasına rağmen hareketlidirler. Sıvı kristalin özellikleri, ölçülen yönelime bağlıdır. Moleküler yönelimin genel eksen direktör olarak isimlendirilir ve n ile gösterilir. Geometrik olarak anizotropiktirler. Yani sıvı kristaller optik özellikleri moleküllerin ışık kaynağına göre yönelimlerine bağlıdır.

Sıvı kristal malzemeler genellikle bazı ortak özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin arasında çubuk şekilli molekül yapısı ve güçlü dipoller veya kolayca polarize olabilir içeriklerdir. Sıvı kristallik durumu farklı yapan karakteristik moleküllerin, yönlendirici diye adlandırılan ortak eksen boyunca yönelme eğilimleridir. Sıvılarda ise moleküller düzensizdir. Katılarda moleküller oldukça düzenli bir şekilde dizilmişlerdir ve çok az serbestlik derecesine sahiptirler. Sıvı kristallerin karakteristik

yönelim düzenleri, geleneksel katı ve sıvı fazlarının arasında yer almaktadır. Her bir faz için moleküllerin yönelimi aşağıdaki diyagramda verilmiştir.



Şekil 1.1: Katı, Sıvı Kristal ve Sıvının Molekül Yönelimi

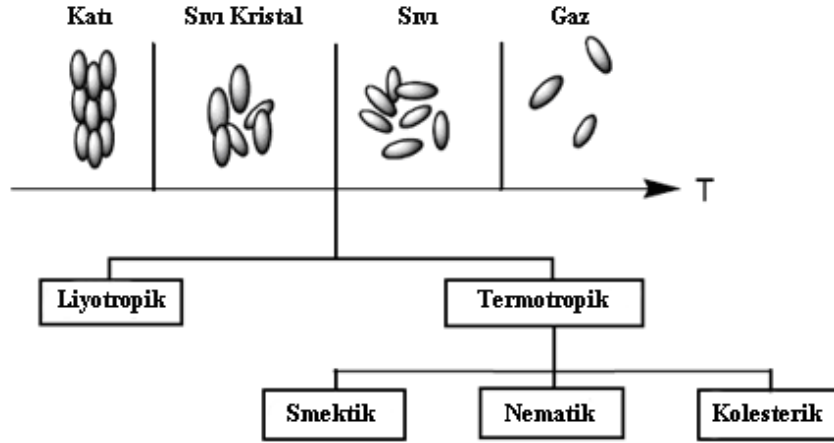


Şekil 1.2: Katı ve İzotropik Sıvı Faz Arasındaki Sıvı Kristallik Mezofazlar

1.3 Sıvı Kristallerin Sınıflandırılması

Sıvı kristaller oluşum nedenlerine bağlı olarak iki ana gruba ayrılırlar. Termotropikler ve Liyotropikler. Termotropik sıvı kristaller ince-uzun (çubuksu) yapıda veya sıvı kristal biçimindeki moleküllerden oluşan ve farklı alt gruplar içeren sistemlerdir. Liyotropik sıvı kristaller ise bir kısım amfibilik nitelikteki uzun zincirli

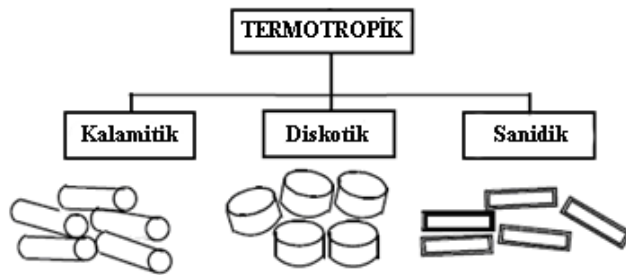
moleküller olup, insan vücudu gibi canlı sistemlerdeki rolü oldukça önemlidir. Termotropik sıvı kristaller, ortamdaki sıcaklık değişimine bağlı olarak bazı ara fazlar gösterir. Sıvı kristaller bir ortamdaki ince-uzun (çubuksu) yapıdaki moleküller, konumsal veya yönelimsel düzenlenmeler sergiler. Bu sıvı kristal grubunda smektik, nematik ve kolesterik mezofazlar yer almaktadır. Şimdi bu gruptaki sıvı kristallerin yapılarına kısaca bir göz gezdirelim.



Şekil 1.3: Sıvı kristallerin sınıflandırılması.

1.4 Termotropik Sıvı Kristaller

Lineer olduğu kadar non-lineer optik özelliklerinden dolayı çok fazla incelenen ve en geniş kullanım alanına sahip olan sıvı kristaller termotropik sıvı kristallerdir (Khoo, 1995). Onlar sıcaklığın fonksiyonu olarak çeşitli sıvı kristal fazlar sergilemektedirler. Termotropik sıvı kristallerin üç tip molekül şekli vardır: Kalamitik (katı çubuk gibi), Diskotik (disk gibi) ve Sanidik (tuğla veya briket gibi).



Şekil 1.4: Termotropik sıvı kristallerin molekül şekilleri.

Moleküler yapıları oldukça karmaşık olmasına rağmen, termotropikler çoğunlukla “katı çubuklar” olarak tanıtılmaktadırlar. Bu katı çubuklar birbiriyle etkileşerek farklı, düzenli yapılar oluşturmaktalar. Bunlar termotropik sıvı kristallerin üç ana sınıfıdır: smektik, nematik ve kolesterik. Smektik sıvı kristallerin, moleküllerin konumsal ve yönelimsel düzenine bağlı olarak bazı alt sınıflandırmaları vardır. Bu mezofazlar tanımlanmış ve uzun- ve kısa-erimli düzen, yönelimsel dağılım fonksiyonu gibi çok sayıda fiziksel parametre ile karakterize edilmiştir.

Sıvı kristallerde sıcaklık artısına bağlı olarak katı fazdan izotropik faza doğru bir faz geçişi vardır. Sıcaklığın değişimine bağlı olarak soğutulma işlemi ise sıvı davranış sergileyen izotropik fazdan, daha kararlı bir yapıya sahip olan nematik faza geçiş gözlenir. Moleküler simetrisinin gereği olarak, izotropik fazdan nematik faza geçişte birinci dereceden faz geçişi gözlenir. Bunun nedeni, izotropik ile nematik geçiş sırasında entalpinin yüksek, entropinin düşük olmasıdır. İzotropik sıvı ile smektik A fazı arasındaki geçişler yine birinci dereceden geçişlerdir. Nematik fazdan smektik-A fazına geçişte hem birinci dereceden (enerjinin zamanla değiştiği), hem de ikinci dereceden (enerjinin hızının zamanla değiştiği) faz geçişleri gözlenir. Bu geçişler, özellikle nematik fazın genişliğine, yönelim düzenine ve yerleşim düzenine bağlı geçişlerdir (Chandrasekhar, 1992).

Termotropik sıvı kristaller; hesap makinesi, bilgisayar ve saat ekranları, sıvı kristal renk termometreleri gibi cihazlarda yaygın bir kullanım bulmaktadır. Bugün için elektronik cihazların görüntüleme sisteminde en çok kullanılan materyal nematik sıvı kristallerdir. Nematiklerin optik ve ısı özelliklerinin uygulanan elektrik veya manyetik alanla yapısal ve fiziksel değişim sergilemesi, bu sıvı kristallerin daha çok kullanımına neden olmaktadır.

1.5 Sıvı Kristal Faz Türleri

Sıvı kristaller sınıflandırılması konumsal düzene bağlılık sergiler. Farklı konumsal düzene bağlı olarak farklı sıvı kristal fazları ortaya çıkar. Bu yüzden sıvı kristaller üç temel faza ayrılır. Bunlar sırasıyla;

- 1- Smektikler
- 2- Nematikler
- 3- Kolesterikler

olarak adlandırılır. Bu fazlar bazen Nematik düzen, Smektik düzen ve Sütunsu (columnar) düzen olarak da adlandırılabilir.

1.5.1 Smektik faz

Smektik kelimesi yunanca bir kelime olup, sabunsu veya sabun gibi anlamına gelir. Smektik fazda moleküller nematik fazda olduğu gibi uzun menzilli yönelimsel düzene sahiptir. Ancak bu fazda moleküller nematik faza göre biraz daha fazla düzenlilik gösterir. Smektik sıvı kristallerin sabunsu yapısı yani bulanık yapısı bunları nematik fazdan farklı kılar. Smektik faz nematik fazdan daha düşük sıcaklıklarda oluşur. Smektik fazlar kendi içinde

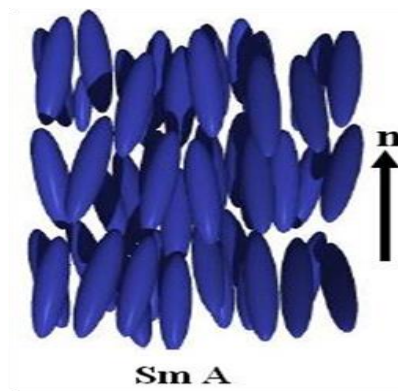
a) Sm-A

b) Sm-B

c) Sm-C

olarak ayrılır.

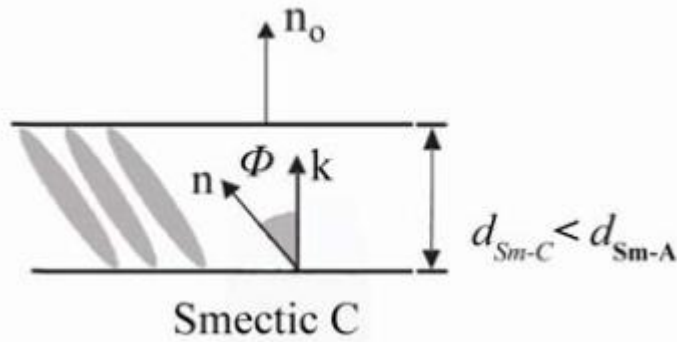
Smektik A mezofazı katmanlı yapılı ve iki boyutlu kristallere benzerdir. Moleküllerin ağırlık merkezleri bir tabakada yerleşir, tabakanın kalınlığı yaklaşık olarak moleküllerin uzunluklarına eşittir. Moleküllerin dizilmesini karakterize eden $\hat{n}$ yönelim vektörü tabakalara dik olarak yönelmiştir. Smektik A'lar optiksel olarak bir eksenlidir ve optik eksen, tabakalara dik olarak yönelmiştir. Çok kısa uzaklıklar dışında smektik mezofazının moleküllerinin kütle merkezleri ile ilişkileri yoktur. Böylece tabakalar tek tek sıralanmıştır. Simetrik A fazı, tabaka normaline paralel eksenindeki sonsuz katlı dönme simetrisinden dolayı, ısısal denge durumunda optiksel olarak tek eksenlidir.



Şekil 1.5: Temsili olarak Smektik A fazının gösterimi. Direktör (n vektörü) katman normaline (k vektörü) paraleldir.

Smektik B mezofazında, tabakaların artık akışkan olmadığı, A ve C fazlarının tersine, smektik B fazının mekanik özelliklerinin üç boyutlu düzene sahip maddelerden beklenenden oldukça farklı olduğu görülür. Smektik B fazları sonlu yönelim açısına bağlı olarak iki eksenli ve tek eksenli olabilir. Smektik B fazında da direktör katman düzlemine diktir. Ancak molekülleri sahip olduğu düzen katman boyunca hekzagon şeklinde bir sistemdir. Sm-B fazı dolayısıyla hekzagonal simetri gösterir. Smektik A ve C fazının tersine, katmanlar artık sıvı halinde değildir. Smektik faz çalışmaları 1970'li yıllarda yapılmıştır ve ilginç sonuçlar bulunmuştur. Buna göre moleküller katmanlarda üçgenimsi örgülerde yer almaktadır. Katmanlar düzleminde konumsal düzen uzun mesafe boyunca vardır. Moleküller katmanlara dik olup ortalama konumlarından bir kaç derece değişim gösterir ve bu moleküller uzun eksenlerinde hızlıca dönerek hekzagonal simetriyi sağlar.

Smektik C mezofazının düzeni, moleküllerin belli bir açıda yönelimini temsil eder. Smektik C mezofazının, smektik A mezofazı ile oldukça yakın benzerliği vardır. En önemli fark, smektik C moleküllerinin tabaka normaline göre uzun moleküler eksenle bir q açısı altında yönelmiş olmasıdır. Moleküllerin ağırlık merkezleri bir tabaka üzerinde yerleşir, tabakaların kalınlığı moleküllerin uzunluğundan azdır. Moleküllerin hareketliliği smektik A fazına benzerdir. Yine de uzun eksenler etrafındaki dönmeler, smektik A fazına göre biraz daha fazla engellenir. Smektik C mezofazı, optiksel olarak iki eksenlidir.

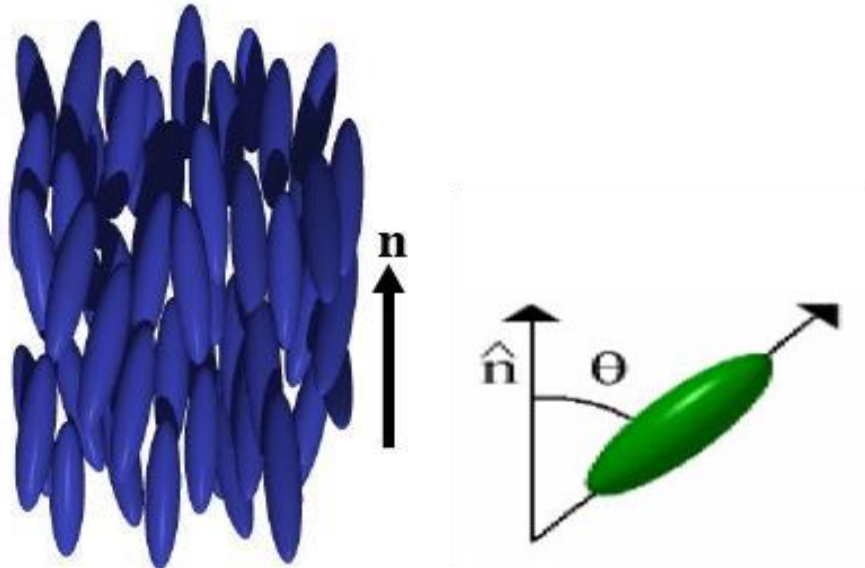


Şekil 1.6: Smektik C fazının şematik görünümü. Direktör (n vektörü) katman normaline (k vektörü) paralel değildir.

1.5.2 Nematik faz

Nematik kelimesi Yunancadan gelen bir kelime olup iplik veya lif anlamına gelir. Bu çubuksu uzun bir yapıyı kastetmektedir. Bu fazda konumsal bir düzen yoktur ve en basit sıvı kristal faz olarak bilinir. Bu nematik faz literatürde (N) ile temsil

edilmektedir. Nematik faz için konumsal düzen yoktur denildiğinde genellikle hiçbir konuma bağılı düzenin olmadığı sanılır. Oysaki konumsal düzen yoktur denildiğinde kastedilen ötelenme düzeni yoktur anlamına gelir. Ancak uzun menzile sahip bir yönelimsel düzen vardır. Nematik fazda moleküller kabaca kendiliğinden uzun eksenleri paralel olacak şekilde sıralanır. Şekil 1.5 nematik sıvı kristalde moleküllerin durumunu göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi moleküller aynı doğrultuda yönelme eğilimi göstermektedir. Bu yönelim şekilde dikey doğrultutadır. Yönelimsel düzen olmasına rağmen moleküllerin özel bir dizilim düzeni olmadığı net bir şekilde görülmektedir. Düzgün hizalanmış nematik faz moleküllerinin tercih ettiği bir yönelim söz konusudur. Bu yönelim bir birim vektör ile ifade edilir. Direktör adı verilen bu birim vektör n ile gösterilir. Bu direktör bir manyetik alan yönü olabilir veya yüzeyinde mikroskopik kanalların yer aldığı yüzeydeki kanal doğrultuları olabilir. Bu yönelim istenilen şekilde ayarlanabilir.



Şekil 1.7: Nematik düzenin şematik görünümü gösterimi. Direktör (n vektörü) ile molekül arasındaki açının değişimi.

Nematik fazda sıvı kristal izotropik sıvılar gibi akışkanlığa sahiptir. Ancak bunlar bir manyetik alan veya elektrik alanla kolayca yönlendirilebilir. Moleküllerin uzun ekseninin ortalamada direktör yönünde olması ve makroskopik optik ekseninde direktör yönünde olması demektir. Nematik faz direktörün yönünün tam tersi bir yönelimde yapılması durumunda fiziksel özellikleri ayırt edilemeyeceğinden merkezi

simetriye sahiptir. Sıcaklık düşürüldüğünde fazdaki düzen artar. Birçok nematik kristaller tek eksenlidir (uniaxial). Eksenlerden biri diğerlerinden daha uzun olup diğer iki eksen eşdeğerdir ve iki farklı optik eksen vardır. Nematik kristaller polarize olmuş ışığın çifte kırılımına yol açar. Buna çift kırılma (birefringence) denir. Molekülün uzun eksenini boyunca kırılma indeksi (ordinary refractive index) çubuğu molekülün genişliği yani eni doğrultusundaki (molekülün uzun eksenine dik olan eksen) kırılma indeksinden (extraordinary refractive index) farklıdır. Düşük frekanstaki elektrik alanlara hassastırlar ve birefringence yüksektir. Yönlendirilmiş moleküllerin tek eksenli kristallerdeki özelliklere sahip olması bunları sıvı kristal ekran (LCD) yapımında oldukça önemli kılar. Ancak bazı nematikler bu durumdan farklılık gösterir ve çift eksenli (biaxial) nematikler olarak bilinirler. Bunların üç farklı optik eksen vardır. Bilinen ilk çift eksenli nematik 2004 yılında bumerang şekline benzetilen oxadiazole bent-core mesogen molekülüdür. Birefringence olayı iki farklı durum olan uniaxial ve biaxial durumlarında da meydana gelmektedir.

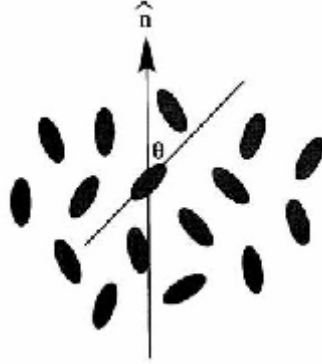
Moleküllerin çift kırılma özelliği olan birefringence kırılma indisleri arasındaki fark olan Δn ile gösterilir. Burada, $\Delta n = n_e - n_o$ ile hesaplanır. Işık, çift kırılmalı bir malzemeye girdiğinde olağan ışınlar ile ve olağandışı ışınlar olarak bileşenlerine ayrılır. Bu ışınların bu şekilde ayrılmış gibi gözükmesinin sebebi olan olağan kırılma indisleri olan n_o ile n_e dir. Olağan kırılma indisi olan $n_o = c/v_{\perp}$ yönlendiriciye dik olan dalgalar biçimindeyken; olağandışı kırılma indisi $n_e = c/v_{\parallel}$ biçimindedir. Kırılma indislerinin birbirinden bu şekilde farklılık göstermesinden dolayı optik yol farkı ortaya çıkar.

1.6 Nematik Düzen Parametresi

Nematik sıvı kristal moleküllerinin ortalama yönelimine yön eksenini veya yönlendirici denir. Nematik sıvı kristallerde yönelim düzeninin miktarı makroskopik moleküler yönelimin bu yöne göre ortalamasının alınmasıyla elde edilebilir. q ve $-q$ yönelimleri eşdeğerdir. Bu da fiziksel özelliklerinin $+\mathbf{n}$ ve $-\mathbf{n}$ yönlerinde aynı olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla sistemin enerjisi de aynıdır. Bu, nematik düzen parametresinin, q açısının çift fonksiyonu olması gerektiğini göstermektedir (Kumar, 2001). Düzen parametresi ikinci mertebeden Legendre polinomunun ortalaması denklem 1.1'de gösterildiği gibi elde edilebilir (Klysubun, 2002):

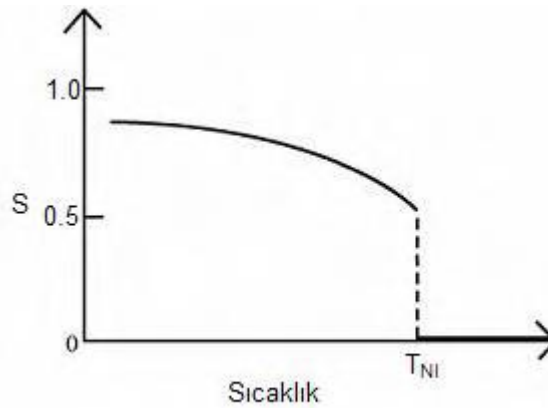
$$s = \frac{1}{2}(3\cos^2\theta - 1) \quad (1.1)$$

Burada θ molekülün çubuk eksenini ile yönlendirici arasındaki açıdır.



Şekil 1.8: Düzen parametresini tanımlamak için kullanılan geometri.

Eğer nematik sıvı kristalin tüm molekülüleri kusursuz bir şekilde yönlendiriciye paralel yönelmişlerse, $S=1$, ki bu da maddenin katı halde olduğunu gösterir. Tüm molekülüleri tamamen rasgele yönlerde iseler, çubuk eksenleri tüm yönlerde eşit olasılıklarda bulunurlar, $S=0$. Yani madde izotropik, başka ifadeyle sıvı halledir. Genellikle termotropik sıvı kristal fazlarında düzen parametresi 0.3 ile 0.9 değerleri arasındadır. Hem katı hem de sıvı halde iken S 'nin nümerik değeri, izotropik faza yaklaştıkça azalmakta ve izotropik faza geçiş sıcaklığında süresiz bir şekilde kaybolmaktadır ve izotropik fazda sıfıra eşittir. Bu da *aydınlanma sıcaklığı* (*clearing point*) olarak da bilinen nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığına (T_{NI}) karşılık gelmektedir (Kumar, 2001).



Şekil 1.9: Termotropik sıvı kristallerde nematik düzen parametresinin, S , sıcaklığın, T , fonksiyonu olarak gösterimi. (Kumar, 2001).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

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

Tusuruta vd., (1996) sıcaklık ve voltaj değişimine bağlı olarak nematik sıvı kristallerin faz dönüşümlerini ve bu faz dönüşümü sonucu oluşan fiziksel davranışlardaki değişikliği hem kalorimetrik, hem de spektroskopik yöntemler uygulayarak incelemiştir. Ayrıca ortaya çıkan faz dönüşümü yardımıyla da, nematik sıvı kristallerin morfolojik yapılarındaki değişimleri de deneysel olarak incelemiştir.

Wang vd., (1998) nematik sıvı kristal hücrelerde homojen yönelimi diphenyl ether içeren polyimide (PI) kaplı sıvı kristal hücreleri 366 nm linear polarize ışığa maruz bırakmışlar ve Ultraviole-visible spektrumunda PI soğurmasındaki değişimi incelemiştir. Çalışmalarında PI yapısında çok önemli bir değişim olmaksızın sıvı kristallerin homojen yöneliminin etki ile oluşturabileceklerini göstermişlerdir.

Ionescu vd. (2004) simetrik olan yapılarda elektrik alan uygulandığında homotropik yapının değiştiğini gözlemlemiştir. Simetrik olmayan yapılarda ise eşik enerji etkisi olmadığından enerji değeri yüksektir ve homotropik yapı korunur. Elektrik alan uygulandığında polarizör ve analizör arasındaki açı 45° olduğunda ışık geçişi olur. Elektrik alan uygulanıp kaldırıldığında ise yüzeyin iç yapısından dolayı karakteristik yapı kısa zamanda eski haline dönme eğilimi gösterir. Bu süre milisaniye düzeyindedir. Kullanılan ITO camın bir yanı polimer (Polianilin) malzemeye kaplanırken diğer tarafı ortokromik karışımla kaplanır. Polimer yüzeye voltaj uygulandığında, yapıda anormal değişim etkisi gözlenir. 50 Hz- 15 kHz arasında alternatif gerilim (10V-100 V) uygulandığında hızlı yükseliş zamanını verdiği gözlenmiştir. Lokalize olmayan elektronlar elektriksel iletimde önemli rol oynar. Bunun nedeni; Van Der Wals bağlarıdır. Voltaj arttırılınca elektronlar

polimerin karşısında bir atma (puls) oluşturur. Oluşan puls moleküler yönelimin değişmesini hızlandırır.

Yılmaz vd., (2007) nematik sıvı kristalin yapıyı AC ve DC voltaj uygulayarak değişken elektrik alanlarda nematik yapının elektro-optik geçirgenliğini 380-780 nm aralığında çalışmışlardır. Yapının UV-Vis spektrumu belirlenen bir sıcaklıkta ölçülmüş ve ışık geçirgenliği belirlenmiştir.

Yılmaz vd., (2008) nematik sıvı kristallerde faz geçişini ve optik anizotropiyi UV/visible spektrometre ile çalışmışlardır. $C_{21}H_{25}NO$ ve $C_{21}H_{27}NO_2S$ Nematik sıvı kristal yapıları ısıtarak, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak iletilen ışıktaki değişimi gözlemlemişlerdir.

Blinov vd., (1975) çalışmış oldukları (IV) ve (VI) grubundaki Nematik matrislerin görünür ve yakın UV ($\lambda \geq 330$ nm) bölgede transparan olduğunu ve lokal anizotropik bölgelerin incelenmesinde uygun olduğunu göstermişlerdir. Bu yöntemle dikroizm çalışmanında mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Diğer malzemeler 430 nm altındaki dalga boylarında soğurma göstermektedir. Bu yüzden seçilen band aralığı sıvı kristalin dalga boylarına saydam (transparan) olduğu bölgeler arasındadır. Çalışma için seçilen moleküller kimyasal olarak benzer özelliklere sahip olup zincir uzunluğu bakımından farklılık göstermektedir.

Abhoff vd., (2013) kolesterik düzendeki bozulmayı, UV/VIS spektroskopisi yardımıyla deneysel olarak göstermişlerdir. Sıvı kristale yapılan katkı (dopant) malzemeler fotonlara karşı duyarlı olduğundan heliks yapı tersinirliğini artırmakta ve UV ışıkla etkileşime girdiğinde yansıma veren spektral konumları değiştirmektedir. Bu da yansıyan ışığın dairesel polarizasyonun sağa ya da sola olmasını değiştirmektedir.

Bhattacharyya vd., (2011) saf ferroelektrik ve kadmiyum sülfid (CdS) katkılı nano kompozit sıvı kristal örneklerde UV Visible soğurma spektrumlarını incelemişler ve 285 nm UV bölgede farklı soğurma spektrumuna sahip olduklarını gözlemişlerdir. Saf ferroelektrik sıvı kristal örnek görünür bölgede soğurma piki göstermezken, CdS katkılı ferroelektrik sıvı kristal 408 nm görünür bölgede soğurma piki göstermiştir. Böylece çalışmalarında CdS nano kristallerin indüklenme ile foton hassasiyetine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

El-Kallassi vd., (2007) azobenzen moleküllerin UV ve görünür ışığa maruz kaldığında trans (çubuk şeklinde) ve cis (bükülmüş şekilde) şekilleri arasında tersinir fotoizomerizasyona uğradığını belirterek BMAB moleküllerinin trans ve cis

formlarının soğurma spektrumlarını ölçmüşlerdir. Trans izomerin UV çevresinde 350 nm ana soğurma bandına sahip olduğunu (π - π^* moleküler geçişi), cis izomerinin ise 450 nm görünür bölgede (n - π^* moleküler geçişi) soğurma pikine sahip olduğunu bulmuşlardır.

Gupta vd., (2011) sıvı kristal örneklerin farklı kombinasyonlarıyla elde ettikleri çok sayıdaki örnekte yaptıkları UV/VIS analizlerinde, ortalama soğurma genişliğinin örneği oluşturan bileşenlerin oranlarına bağlı olduğunu göstermişlerdir. İnfrared soğurma ilave olarak FTIR spektroskopisi ile de çalışılmıştır.

Chilaya vd., (2011) kolesterik sıvı kristaller ayarlanabilir dye lazerlerde geri besleyici ortam ve salınıcı olarak kullanılabildiğinden, kolesterik sıvı kristallere dye molekülü eklendiğinde ortaya çıkan etkiyi çalışmışlardır. Bu amaçla Cyclohexylcyclohexanes, Phenylcyclohexanes, Esters, Biphenyls, Shiff bazların soğurma kenarlarını 10 mikrometre kalınlıktaki örnekler için ölçmüşler ve cyclohexylcyclohexanes tabanlı nematik sıvı kristallerin soğurma kenarı ölçümlerinden görünür ve UV bölgede 200 nm'ye kadar saydam olduğunu bulmuşlardır.

Hanczyc vd., (2011) süper sarmal (supercoiled) plasmid DNA örneklerini pBSK (2958 bp) ve pGEM (3000 bp), Polarizasyon Işık Mikroskopisi (PLM), Dairesel dikrosim (CD) ve UV-Vis spektroskopi teknikleri ile çalışmışlardır. UV-Vis spektroskopisinde hiperkromik etkiyi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gözlemlemişlerdir. Çalışmalarının temeli sıvı kristal fazların yüksek konsantrasyona sahip örneklerde oluşumunu incelemek olmuştur. Grup şu ana kadar ilk kez, konsantrasyonun 60 mg/ml olduğu değerlerde kolesterik parmak izi yüzey yapısının kendiliğinden oluştuğunu rapor etmiştir.

Lu vd., (1996) UV-VIS spektroskopisi, x-ışını fotoelektron spektroskopisi, ve elektron-spin-rezonans ölçümleriyle, havada UV ışığa maruz kalmış polimid filmlerde (SE7210, OCG284, DuPont 2555 and 2540) bağ kırılmasının ve oksidasyon reaksiyonlarının olduğunu göstermişlerdir. Polimerlerin UV ışığa maruz kalması, polimerik malzemelerin yoğun fiziksel ve kimyasal değişimlerine yol açabileceğinden önem taşımaktadır.

Gharde vd., (2014) kolesterik sıvı kristalleri incelemişlerdir. Çalışmalarında nano parçacık eklenmiş ve eklenmemiş kolesterik sıvı kristallerin özelliklerini UV-VIS spektroskopisi ve diğer tekniklerle incelemişlerdir. Bunun için ferroelektrik nano-toz Strontium-titanate (SrTiO_3) materyalini, Oleik asitle ve Heptane ile uygun oranda karıştırarak kolesterik sıvı kristale katkı malzemesi olarak kullanmışlardır. Bu

malzemenin faz geçiş sıcaklıkları ve tekstür özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçların belki sıvı kristal ekran tasarımlarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Gharde vd., (2013) polimer katkılı sıvı kristallerin yönlendirilebilmesi için polyimide ve ekstra benzeri kaplama işlemlerine gerek kalmadan, polimer katkılı sıvı kristal süspansiyonu oluşturarak bunun mümkün olduğu fikrinden hareket ederek bir monomer veya polimer içinde dağıtılmış sıvı kristalleri incelemişlerdir. Kolesterik-nematik faz geçişlerini sıcaklığa bağlı olarak incelemişlerdir. Örnek malzeme olarak kolesterik sıvı kristaller Cholesteryl pelargonate (97%) (A) ve 4 – cynophenyl – 4n hexyl benzoate (97%) (B) ve bunların karışımlarını monomer (M) var ve monomer yokken uygun ağırlık oranlarında da [A+B] ve [A+B+M] olacak şekilde çalışmışlardır.

Plosceanu vd., (2009) cholesteryl chloride ve cholesterylnonanoate karışımında çözülmüş bazı azodyes malzemelerin optik dikroikliğini elektrik alan etkisi altında incelemiş ve dye malzemenin S düzen parametresinin elektrik alana bağlılığını araştırmıştır. Tüm ölçümler 30 derecede UV-VIS Zeiss-Jena Spektrofotometrede polarize olmayan ışıkla yapılmıştır. Ölçümler için deneysel düzenek ışığın yayılma doğrultusu ve elektrik alan sıvı kristal cam hücreye dik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sıvı kristal hücrede elektrik alan arttırıldığında optik soğurmada azalma olduğu gözlenmiştir. 120 volt değerinden büyük voltaj değerlerinde optik soğurmada bir değişim tespit edilmemiştir. Ayrıca karışımlar üzerinde de elektrik alanı etkisi gözlenen soğurma bandlarının konumunu değiştirmemiştir.

Hanemanna vd.,(1992) UV/VIS bölgede sıvı kristallerin ve stilbene dye moleküllerin elektronik geçişlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın önemi bu ticari ve uygulamaya yönelik bir araştırma olup, incelemeleri teorik hesaplamaya dönük yarı deneye dayalı (ampirik) INDO CI yaklaşımı yardımıyla olmuştur. Deneysel olarak elde edilen polarize UV/VIS spektranın teorik modelle güvenilir bir şekilde tekrarlanabileceğini göstermişlerdir. π - π^* geçişlerinde ölçülen ve hesaplanan farkın genellikle 30 nm'den küçük olduğunu belirtmişlerdir. Ana soğurma bandının temel moleküler eksene paralel ve polarize olduğunu bulmuşlardır.

Song ve Lee (2006), Zolotko ve arkadaşlarının (1980) nematik sıvı kristal hücre üzerine odaklanmış lazer demeti gönderdiğinde çoklu kırınım halka-desenlerinin (multiple diffraction ring-pattern) indüklendiğini rapor etmiştir. Dielektrik anizotropisinden dolayı Freedericksz eşik değerinin üzerinde bir değere sahip

elektrik alan değerleri nematik sıvı kristal hücrenin moleküllerini yeniden yönlendireceği deneysel olarak bilinmektedir. Freedericksz eşik değeri, elektrik alanının, sıvı kristal hücre moleküllerinin yönelimini değiştirdiği değere karşılık gelmektedir. Eğer uygulanan elektrik alan belirli bir eşik değerinin üzerine çıkarsa yapı içerisinde domain denilen bölgeler oluşabileceği ve bu bölgelerinde kuvvetli bir şekilde ışık saçılmasına neden olacağı Williams tarafından gözlenmiş ve benzer sonuçlar Song ve Lee tarafından rapor edilmiştir. Bununla birlikte nematik sıvı kristal hücresi üzerinde elektrik alanının etkileri özellikle de pozitif dielektrik anizotropi ve homeotropik yönelim tam olarak anlaşılmamıştır (Medya ve ark., 1999). Song ve Lee (2006) homeotropik nematik sıvı kristal hücrede lazerle indüklenmiş öz-faz modölasyonuna bağlı halka deseni üzerinde uygulanan elektrik alanının etkilerinin sonuçlarını ortaya koymuşlardır. Elektrik alanın genel olarak halka deseni üzerinde iki tür etkisinin olduğunu deneysel olarak gösterdiler. 4'-(n-pentyl)-4-cyanobiphenyl (5CB) ve 4'-(n-octyloxy)-4-cyanobiphenyl (8OCB) nematik sıvı kristallerin % 65 ve % 35 oranında karıştırılması sonucu elde edilen ikili karışım (nematik aralık: 5-50 °C) kullanılmıştır. Homeotropik dizilim, indiyum-tin oksit kaplamalı (ITO) lameller üzerinde sörfaktan (surfactant-bir sıvının yüzey gerilimini azaltan madde) octadecyltrichlorosilane sürölerek oluşturulan 100µm kalınlıklı nematik sıvı kristal hücrede elde edilmiştir. Hazırlandıktan sonra malzemenin homeotropik yönelimi çapraz-polarize optik mikroskopla da doğrulanmıştır. Deneyler sırasında ortamın sıcaklığı kontrollü olarak 24.0±0.5 °C'ta sabit tutulmuştur. Genel olarak, elektrik alan, büyüklüğine bağlı olarak nematik sıvı kristal hücreler üzerinde üç tür etkiye sahiptir:

- (1) Freedericksz eşik değerinin üzerinde bir büyüklüğe sahip elektrik alan nematik sıvı kristal hücrelerini yönlendirir;
- (2) Daha büyük ve yeterli değerlerde domain oluşumu ortaya çıkıyor ve bu da yoğun ışık saçılmasıyla sonuçlanıyor;
- (3) Daha da büyük değerlerde ise nematik sıvı kristal hücrede türbülant akım ortaya çıkıyor ki, bu da dinamik ışık saçılmasıyla sonuçlanıyor.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Malzeme

Ultraviole görünür (UV-VIS) spektroskopisi güçlü, doğru ve hassas bir yöntem olup malzeme analizi yapan tekniktir. Yöntem genellikle incelenen örnek tarafından soğurulma, yansıma ve iletim veya salma spektrumlarını inceler. Ultraviole ve görünür ışığın soğurulması düşük enerji seviyesindeki elektronun daha yüksek enerji seviyesine çıkarılması ile olur. Atom veya molekülün spektrumu o malzeme için parmak izi gibi olduğundan bilinmeyen malzemeleri belirlemek içinde kullanışlı ve pratik bir metottur.

Ultraviole–görünür spektroskopisi, ultraviole-görünür spektrofotometre (UV-VIS veya UV/VIS) ultraviole-visible görünür spektra bölgede soğurma spektroskopisi, yansıma spektroskopisi adları ile de kullanım amacına bağlı olarak adlandırılabilir. Bu yöntemin görünür bölgede ışığı ve komşuluğunda ise yakın UV ve yakın infrared (NIR) kullanması demektir. Görünür bölgede yansıma ve soğurma özellikle çalışılan kimyasalların renginin algılanmasını doğrudan etkilemektedir. Elektromagnetik spektrumun bu bölgesinde moleküller elektronik geçiş yapma aralığındadır. Bu teknik, bir anlamda floresans spektroskopisininde tamamlayıcısıdır. Tek fark, floresans uyarılmış kuantum durumundan taban enerji durumuna geçişle ilgilenmektedir. Diğer yandan absorpsiyon taban durumdan uyarılmış duruma geçişe karşılık gelmektedir.

Bu çalışmada ITO kaplı camlar, kimyasal formülü $C_{18}H_{19}N$ olan 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) nematik sıvı kristali ve kimyasal formülü $C_{21}H_{25}N$ olan 8CB (4-cyano 4-octylbiphenyl) nematik sıvı kristali kullanılmıştır. 5CB molekülünün uzunluğu yaklaşık olarak 20 Å kristalin durumdan nematik duruma 18 derece civarında, nematik durumdan izotropik duruma ise 35 derece civarında faz geçişi yapar. 5CB molekülü 8CB molekülünden yaklaşık 1,2 kat daha uzundur. İlgili malzemeler Aldrich firmasından temin edilmiştir. ITO kaplı camların ideal temizliğinin sağlanabilmesi için bu temizlik işlemi ultrasonik havuz içerisinde yapıldı. Ultrasonik havuza konulan saf su ve bir miktar temizleme maddesi yardımıyla 30 ile 40 dakika süreyle temizleme işlemi gerçekleştirildi. Temizlenen

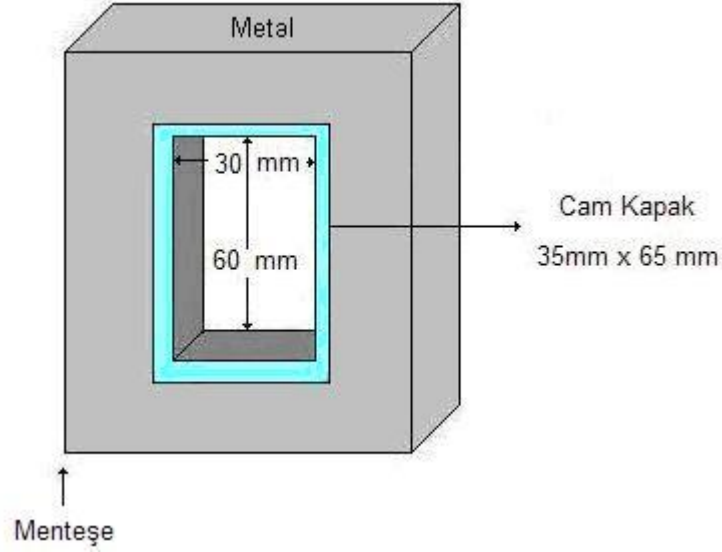
ITO cam saf sudan geçirildi ve son durulama izopropanol yardımıyla yapıldı. Temizlenen ITO camlar kurutulularak hücre oluşturmak için kullanıldı. Kullanılan ITO camlar 30-60 Ω direnç değerindedir. Kurutulan camların arasına çift taraflı yapışkan bir band konularak iki cam arasında bir d kalınlığı sağlandı. Camların iki yan tarafı yapıştırılarak kurumaya bırakıldı. Cam etrafındaki yapışkan malzeme kuruduktan sonra camların arasına 5CB malzemesi konuldu. Bu işlem kapiler aksiyon metoduyla sağlandı. Daha sonra açık kalan iki uçta yapıştırılarak sıvı kristal hücre elde edildi. Benzer işlemler diğer hücreler içinde gerçekleştirilerek aşağıdaki tabloda verilen örnekler hazırlandı.

Çizelge 3.1: Farklı sıvı kristal malzemeden hazırlanan örnekler

Örnek No:1	% 100 5CB
Örnek No:2	% 65 5CB + % 35 8CB
Örnek No:3	% 50 5CB + % 50 8CB
Örnek No:4	% 35 5CB + % 65 8CB
Örnek No:5	% 100 8CB

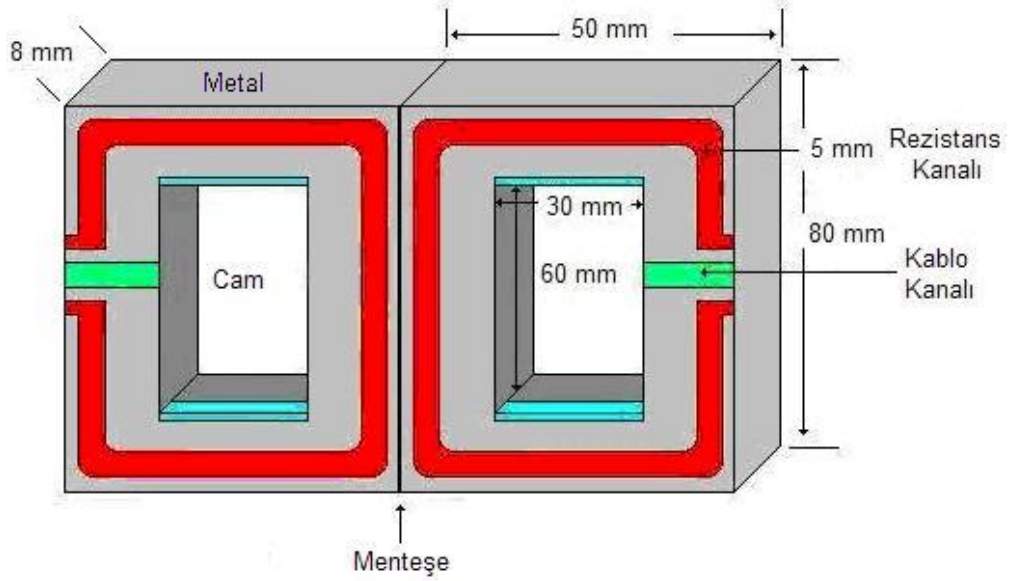
3.2 Yöntem

Hazırlanan örnekler laboratuvarımızda tasarlanmış olan antimon örnek tutucu içerisinde yerleştirildi. Bu örnek tutucu aynı zamanda örneği ısıtmaya da yarayan bir sistem olarak kullanıldı. Şekil 3.1' de tasarlanmış olduğumuz numune tutucuyu temsili olarak göstermektedir. Numuneyi ısıtırken ve elektrik alan uygulanırken çevre koşullarından etkilenmemesi amacıyla yalıtım yapmak için açılıp kapanan iki kollu çerçeve şeklinde olan numune tutucu hazırlandı. Numune tutucu yapılırken yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması açısından antimon alaşım kullanıldı. Şekil 3.2 numune tutucunun durumda olan görünümü göstermektedir.



Şekil 3.1: Numune tutucunun kapalı durumda şematik görüntüsü.

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



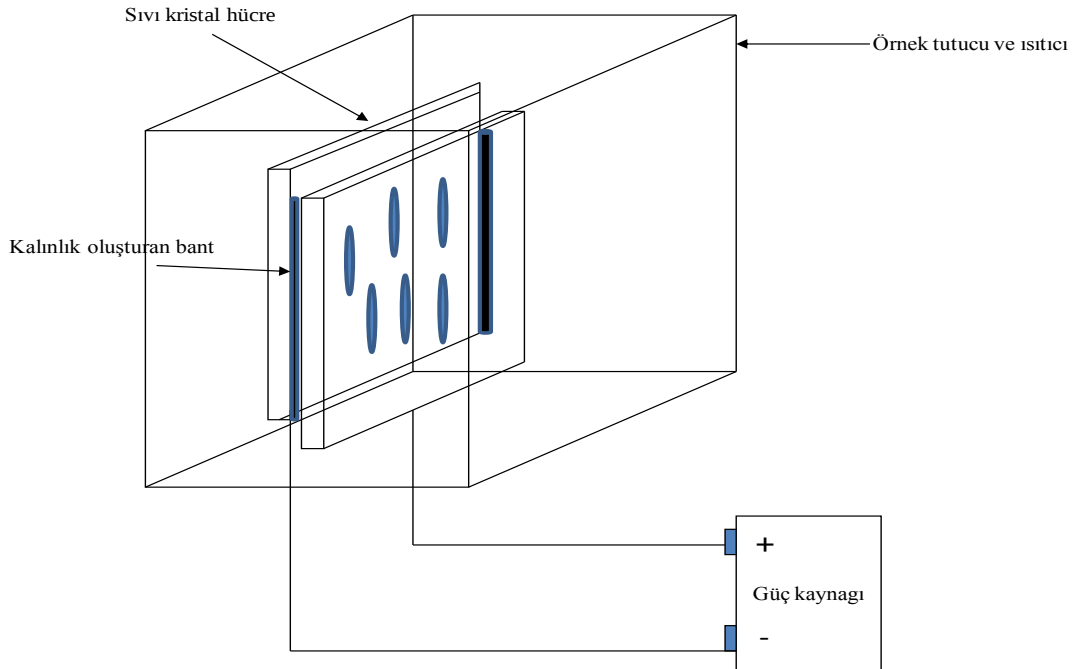
Şekil 3.2: Numune tutucunun açık durumda şematik görüntüsü.

Ölçümlerde sıcaklık ayarı bir sıcaklık kontrolör tarafından sağlandı. Çift kontaklı dijital sıcaklık kontrol cihazı olarak 7272 D tipi endüstriyel elektronik sıcaklık denetleyicisi kullanılmıştır. Kullanılan cihaz Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



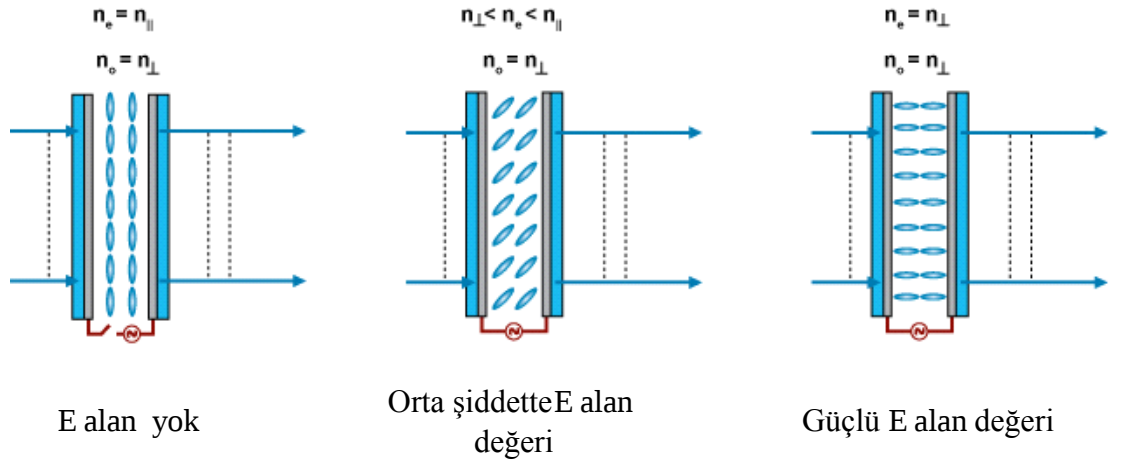
Şekil 3.3: Sıcaklık kontrolü için kullanılan termostat.

Bu çalışmadaki ITO camlar iletken özelliğe sahip olduğundan ve hücre içersine konulan sıvı kristalin moleküller dipol yapıya sahip olduğundan bir elektrik alan içersine konulduğunda üzerlerine etkiyecek tork'tan dolayı alan yönünde dönmeye çalışacaklardır. Bunun nedeni sistemin enerjisini en uygun değerde tutmaya çalışmasıdır. Dipol momente sahip sıvı kristaller örnekler Şekil 3.4 de gösterilen örnek tutucu içersine yerleştirildi. Bir elektrik alan uygulandığında moleküller hep birlikte yönelimlerini değiştirecektir. Bu durum Şekil 3.5`de temsili olarak gösterilmektedir.

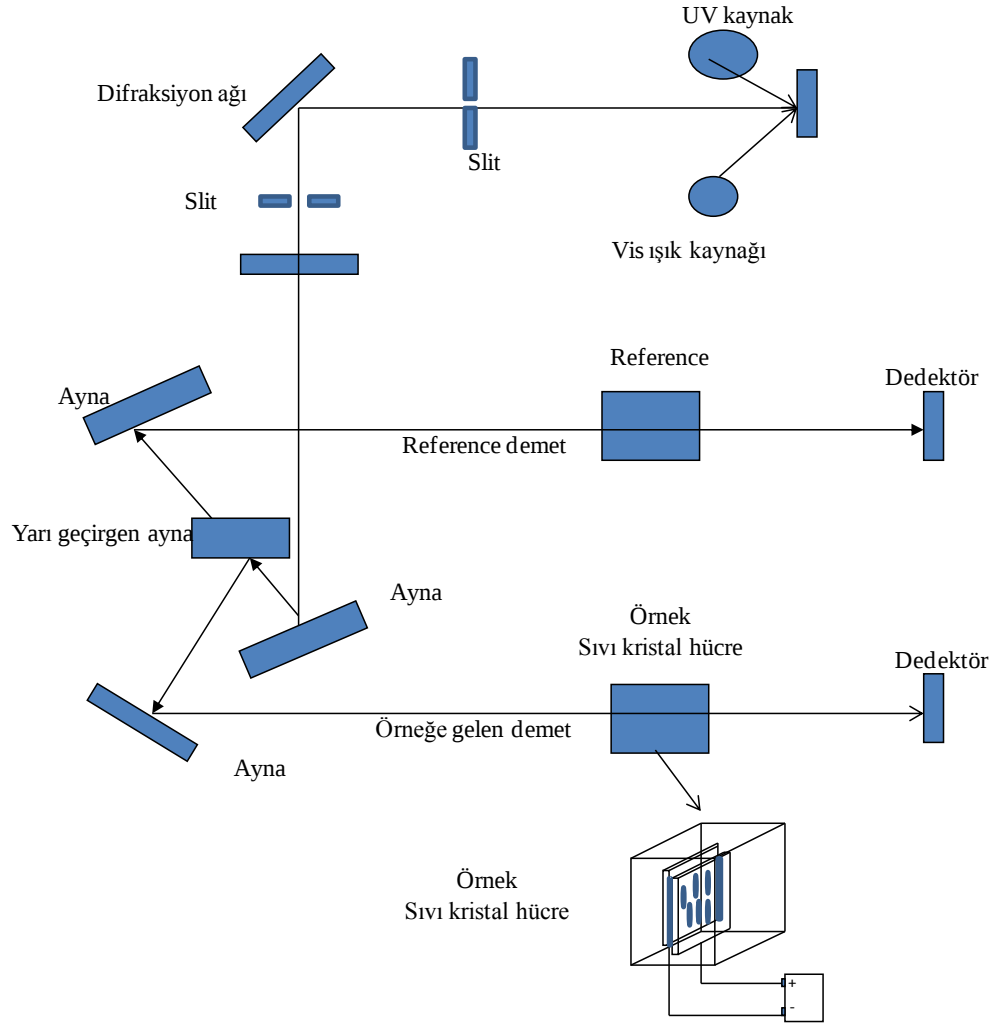


Şekil 3.4: Sıvı kristal hücre, ısıtıcı ve örnek tutucu içersinde. Yönlendirme için sıvı kristal hücrenin güç kaynak bağlantısı gösterilmektedir.

Şekil 3.4 deki sistemin tamamı temsili bir çizimle şekil 3.6` da gösterilmiş olan UV-VIS spektrometresinin içine yerleştirildi. Benzer bir sistem sıvı kristal konulmadan boş hücre olacak şekilde spektrometrenin referans bölümüne konularak kullanıldı. Yapılan ölçümlerde bu ölçüm referans ölçüm olarak değerlendirildi. Spektrometrik olarak UV radyasyonun dalgaboyu 300 ile 400 nm, görünür (Visible-Vis) radyasyonun 400 ile 765 mm ve yakın infrared (NIR) radyasyonun dalgaboyu ise 765 ile 3200 nm arasındadır. Bu çalışmada 300 ile 1000 nm arasındaki bölgede deneysel ölçümler gerçekleştirildi.



Şekil 3.5: Sıvı kristal moleküllerinin elektrik alanı içindeki davranışı.



Şekil 3.6: Deneysel sistem UV/VIS spektrometrenin temsili çizimi gösterilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

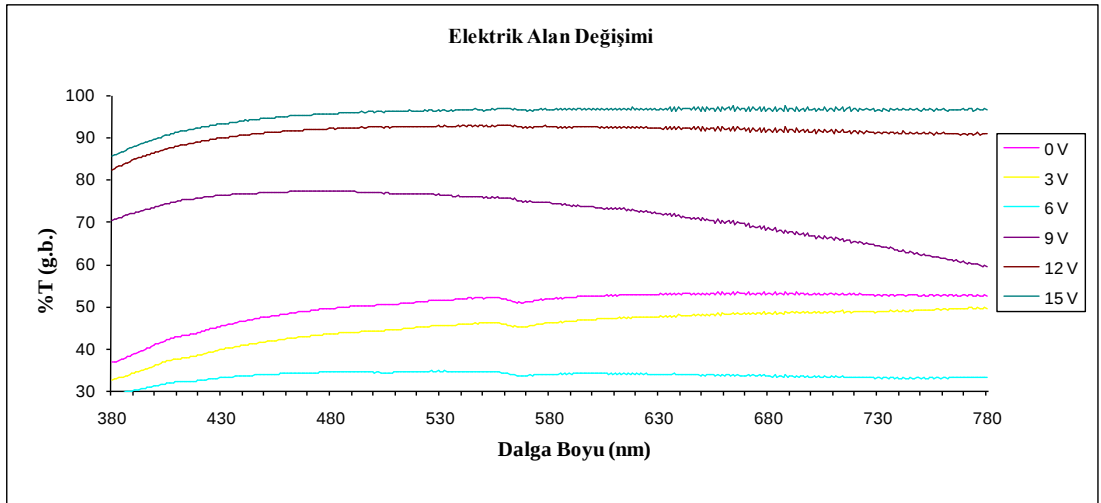
Nematik sıvı kristallerin en yaygın uygulama alanları optik ve opto-elektronik sistemleri kapsamaktadır. Bu açıdan nematik sıvı kristallerin fiziksel özellikleri arasında optik ve elektro-optik özellikler en önemli özelliklerdendir. Bu çalışmada materyal ve metod bölümünde anlatılan yöntem ve deney setleri kullanılarak aşağıdaki ölçümler gerçekleştirilmiştir:

1. Optik geçirgenlik;
2. Sabit elektrik alanda (DC) elektro-optik etki;
3. Değişken elektrik alanda (AC) elektro-optik etki.

Bu ölçümler nematik sıvı faz geçişlerini içine alan sıcaklık aralığında yapılmıştır.

Deneysel veriler genel olarak 0, 3, 6, 9, 12 ve 15 Volt değerlerinde farklı büyüklükteki elektrik alanlar için alınmıştır. Her bir örnek karışım için alınan verilerde düşey eksen transmittans yani ışık iletim ekseni olup birimi göreceli birim (g.b.) olarak kullanılmıştır.

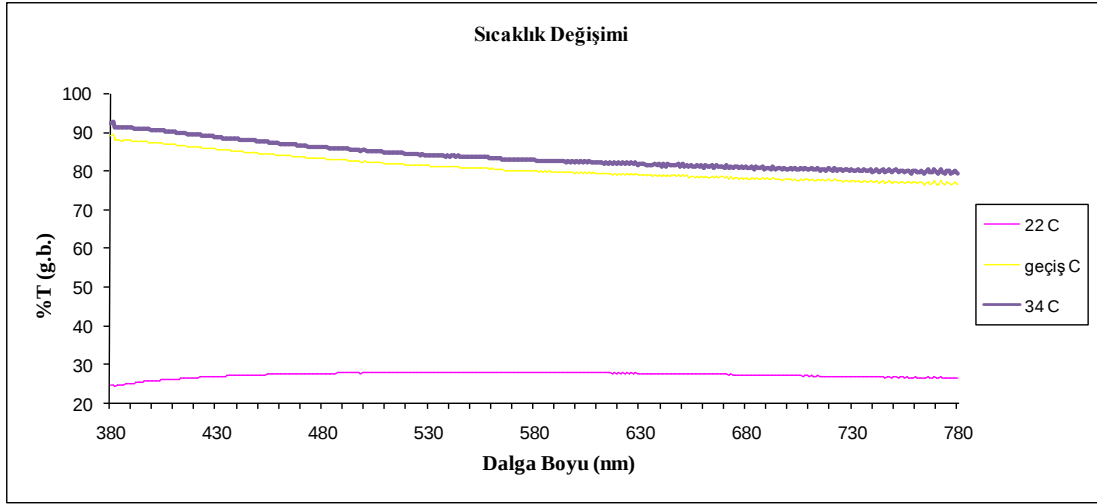
Şekil 4.1 %100 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) örneği için elde edilen grafiği göstermektedir.



Şekil 4.1: %100 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) sıvı kristalinin dalga boyuna karşı optik geçiş (transmittance) grafiği. Ölçümler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır.

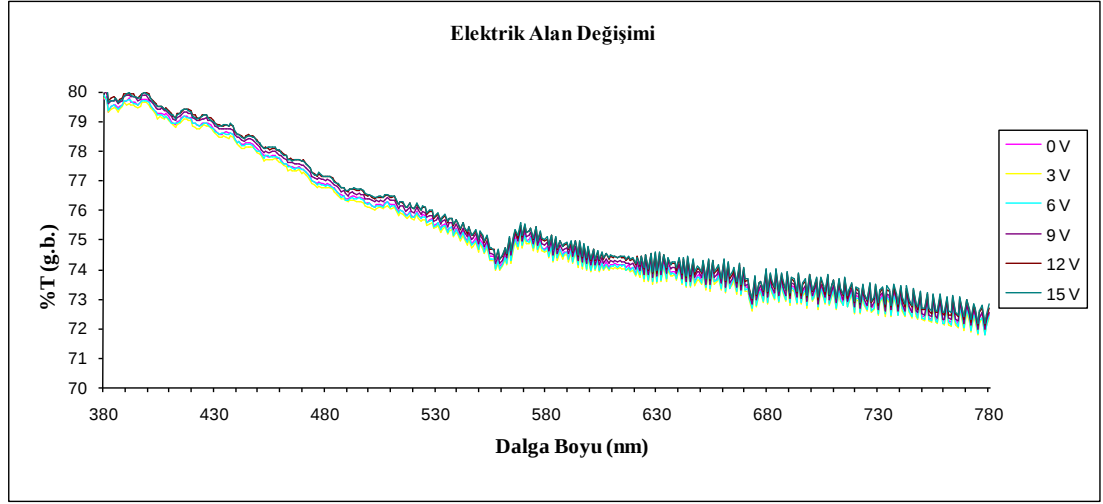
Şekil 4.1'de 5CB nematik sıvı kristalinin farklı elektrik alanlarda UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Uygulanan elektrik alan artarken

optik geçiş (transmittance) seviyelerinde önce düşmeler (0-6 V) ardından şiddetli bir şekilde yükselmeler görülmektedir. Buradan 5CB nematik sıvı kristal molekülleri için değişen dalga boyunda kritik voltajın 6 V civarında olduğu görülmektedir. Elektrik alanın kritik durumdan itibaren artırılmasıyla birlikte optik geçiş seviyeleri de düzenli olarak bir artış sergilemiştir.



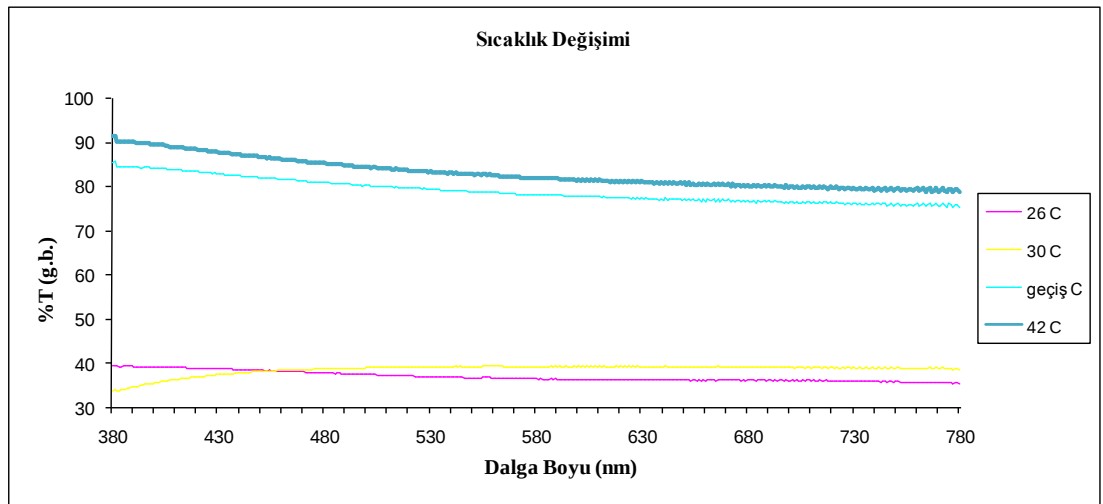
şekil 4.2: %100 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) sıvı kristalinin dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır.

şekil 4.2'de 5CB nematik sıvı kristalinin farklı sıcaklık bölgesinde UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Kristalik fazda optik geçiş seviyesi minimum seviyede kararlı bir tavır sergilerken, sıvı kristalik bölgeye geçiş sıcaklığında maksimum seviyelere yer değişirmiş ve azalan bir eğilim sergilemiştir. Sıvı kristalik fazdan izotropik faza geçerken optik geçiş seviyesinde az bir artış sergilemiştir.



Şekil 4.3: %100 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) sıvı kristalinin dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır.

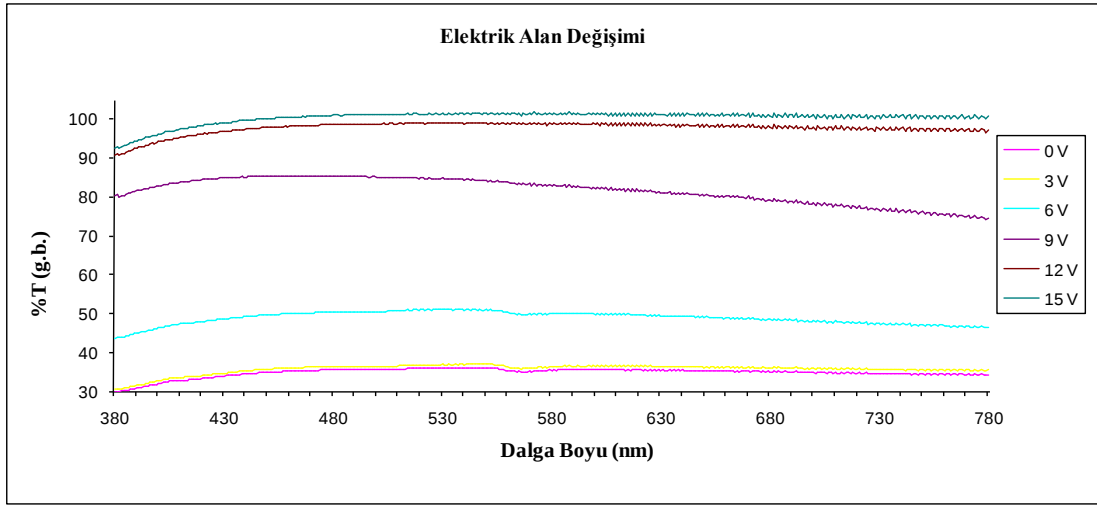
Şekil 4.3'te 8CB nematik sıvı kristalinin farklı elektrik alanlarda UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Burada uygulanan voltajdaki değişime rağmen, değişen dalga boylarına karşılık gelen optik geçiş seviyelerinde kayda değer bir değişim gözlenmemektedir. Genel anlamda dalga boyu artarken her bir eğrinin optik geçişi alan bir değişim sergilemiştir.



Şekil 4.4: %100 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) sıvı kristalinin dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır.

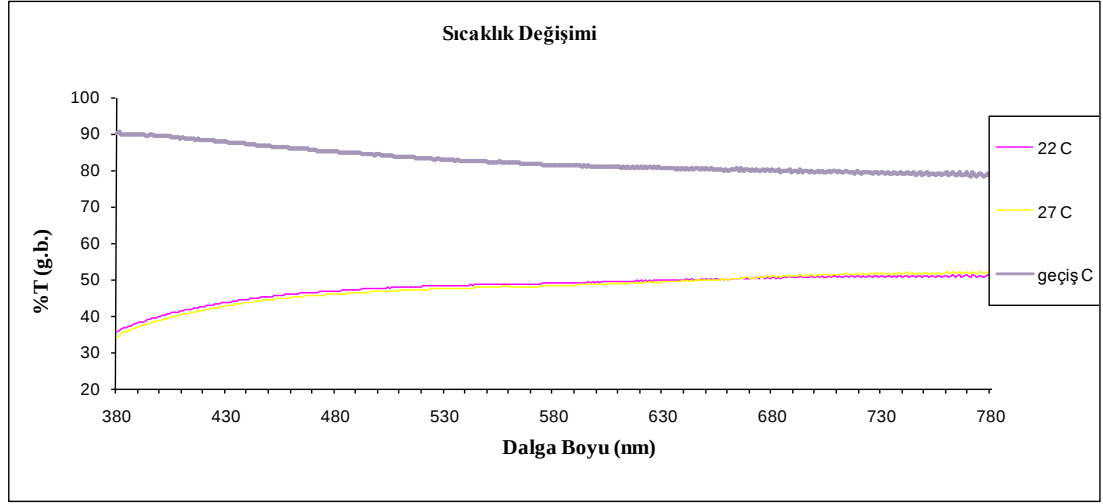
Şekil 4.4'te 8CB nematik sıvı kristalinin farklı sıcaklık bölgesinde UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Farklı sıcaklıkta kristal faz durumunda değişen dalga boyları için optik geçişler minimum seviyelerde stabil bir tavır sergilerken kristal-sıvı kristal faz geçiş bölgesinde maksimum seviyelere

ulaşmış ve azalan bir eğilim sergilemiştir. Sıvı kristalik fazdan izotropik faza geçerken optik geçiş seviyesinde az bir değişim sergilemiştir.



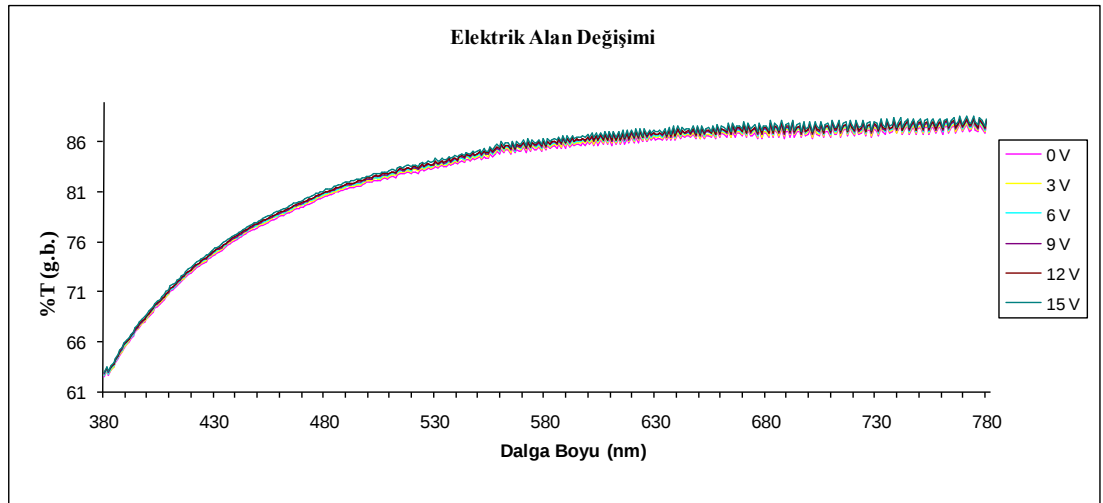
Şekil 4.5: %65 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %35 8CB (4-octyl- 4'-cyanobiphenyl) karışımının dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır.

Şekil 4.5'te % 65'lik 5CB nematik sıvı kristal ile % 35'lik 8CB nematik sıvı kristalik karışımıyla elde edilen moleküler yapının farklı elektrik alanlarda UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Uygulanan elektrik alan artarken optik geçiş (transmittance) seviyelerinde önce düşmeler (0-3 V), ardından şiddetli bir şekilde yükselmeler görülmektedir. Buradan karışım haldeki nematik sıvı kristal molekülleri için değişen dalga boyunda kritik voltajın 3 V civarında olduğu görülmektedir. Elektrik alanın kritik durumdan itibaren artırılmasıyla birlikte optik geçiş seviyeleri de düzenli olarak bir artış sergilemiştir.



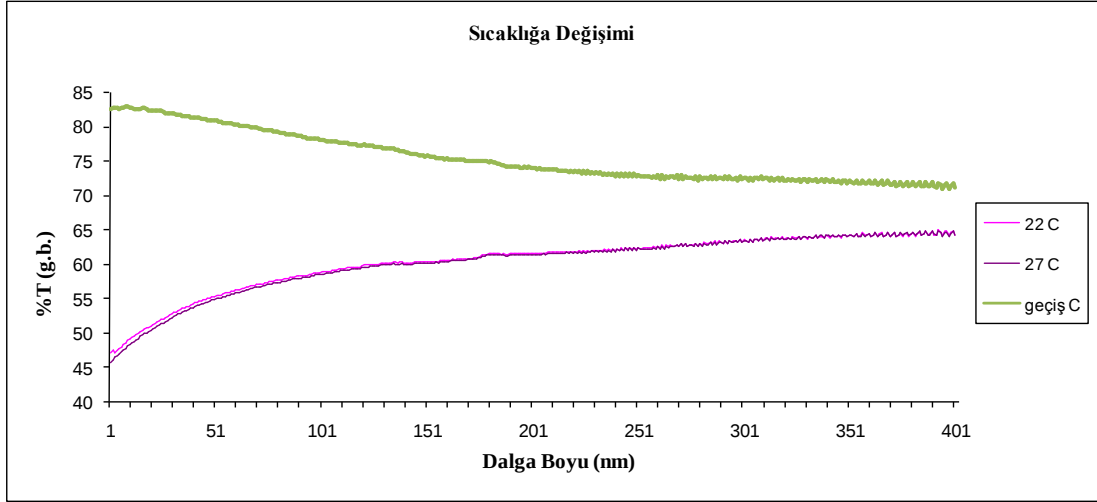
Şekil 4.6: %65 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %35 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır.

Şekil 4.6'da % 65'lik 5CB nematik sıvı kristal ile % 35'lik 8CB nematik sıvı kristalik karışımıyla elde edilen molekülerin farklı sıcaklık bölgesinde UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Kristalik fazda karışım için belirlenen farklı sıcaklıklar için optik geçiş genel olarak düşük seviyelerde olup, artan bir eğilim sergilerken, kritik faz geçiş sıcaklığında optik geçiş yüksek seviyelerde olup, azalan bir eğilim sergilemektedir.



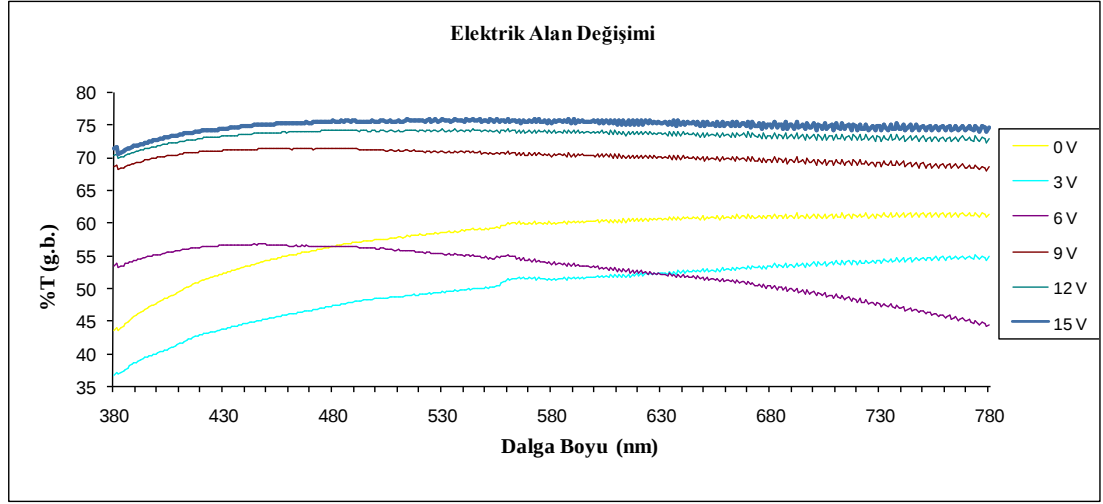
Şekil 4.7: %35 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %65 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır.

Şekil 4.7’de % 35’lik 5CB nematik sıvı kristal ile % 65’lik 8CB nematik sıvı kristalik karışımıyla elde edilen moleküler yapının farklı elektrik alanlarda UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Uygulanan elektrik alan artarken optik geçiş seviyelerinde birbirine yakın ve artan üstel bir eğilim sergilemiştir.



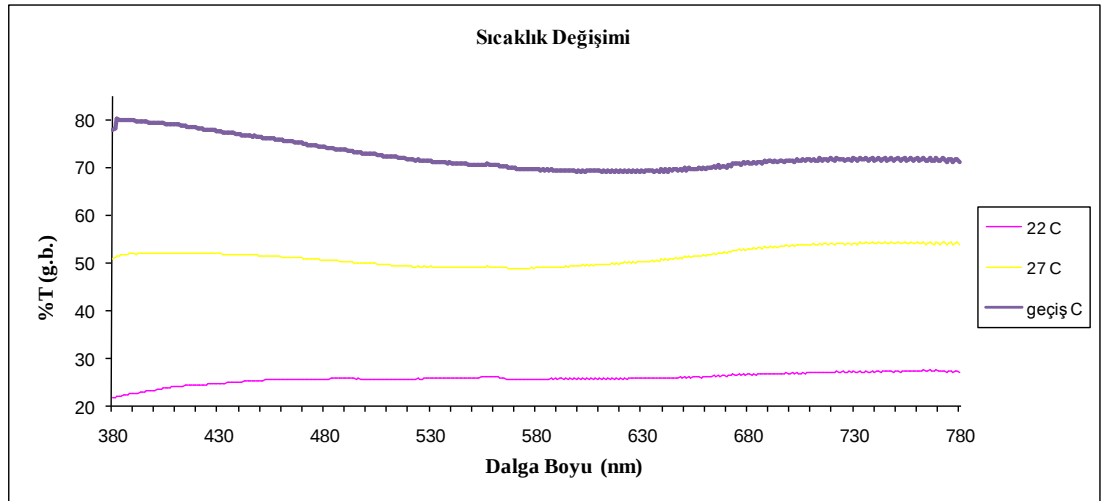
Şekil 4.8: %35 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %65 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır.

Şekil 4.8’de % 35’lik 5CB nematik sıvı kristal ile % 65’lik 8CB nematik sıvı kristalik karışımıyla elde edilen molekülerin farklı sıcaklık bölgesinde UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Kristalik fazda karışım için belirlenen farklı sıcaklıklar için optik geçiş genel olarak düşük seviyelerde olup, üstel artan bir eğilim sergilerken, kritik faz geçiş sıcaklığında optik geçiş yüksek seviyelerde olmakla birlikte, azalan bir eğilim sergilemektedir.



Şekil 4.9: %50 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %50 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı voltaj değerlerinde alınmıştır.

Şekil 4.9'da % 50'lik 5CB nematik sıvı kristal ile % 50'lik 8CB nematik sıvı kristal karışımıyla elde edilen moleküler yapının farklı elektrik alanlarda UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Uygulanan elektrik alan artarken kritik sınıra kadar optik geçiş seviyesi düşük bölgelere doğru kayarken, üstel artan bir eğilim sergilemiştir. 3-6 V aralığında kritik voltajla birlikte optik geçiş seviyeleri düzensiz bir şekilde yüksek bölgelere doğru kayarken, genel olarak kararlı bir tavır sergilemiştir.



Şekil 4.10: %50 5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) ve %50 8CB (4-octyl-4'-cyanobiphenyl) karışımının dalgaboyuna karşı tranmitans grafiği. Grafikler farklı sıcaklık değerlerinde alınmıştır.

Şekil 4.10'da % 50'lik 5CB nematik sıvı kristal ile % 50'lik 8CB nematik sıvı kristalik karışımıyla elde edilen molekülerin farklı sıcaklık bölgesinde UV-VIS spektrometresindeki değişim eğrileri verilmiştir. Kristalik fazda farklı sıcaklıklar için optik geçiş seviyesi sıcaklık artarken yüksek seviyelere doğru kaymış ve kararlı bir tavır sergilemiştir. Kritik sıcaklık bölgesinde sıvı kristale geçerken optik geçiş maksimum seviyede kararlı bir tavır sergilemiştir.

5. SONUÇLAR

Basit bir spektroskopik teknikle dalgaboyuna bağılı olarak ışıık geçirgenliğinin elektrik alan bağılığı çalışıldı ve AC voltaj yardımıyla belirlenen sabit bir sıcaklık değerinde ışıık iletimi izlendi. 5CB ve 8CB numuneleri için farklı konsantrasyonlarda hazırlanan karışımların öncelikle elektrik alan içersindeki davranışları incelendi ve birkaç sıcaklık değerinde ışıık geçirgenliğinin bu parametrelere göre değişimi eşik voltaj değerlerinde farklı davranışların gözlemlenmesini sağladı. Bu çalışmada iletilen ışıık şiddetinin belirli voltajlarda artmakta olduğu görüldü. Bu durum sıvı kristallerin kendine özgü elektro optik özellikleriyle birlikte farklı moleküler yönelimlerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Sıvı kristaller non-linear fiziksel özelliklere sahip olduğundan, bu yapılardan olan ışıık geçirgenliği de lineer olmayacaktır. Bulduğumuz sonuçlar bunun doğruluğunu göstermektedir.

Bu sonuçlara göre farklı sıvı kristaller değişik oranlarda karıştırılarak veya farklı çözücü malzemelerle ya da değişik katkı malzemeleri eklenerek hazırlanan ikili sıvı kristal karışımlarının elektro-optik özellikleri UV-VIS spektroskopisi ile incelenip en uygun geçirgenlik ve en uygun çalışma sıcaklığı bulunabilir.

KAYNAKLAR

Aßhoff, S. J., Iamsaard, S., Bosco, J., Cornelissen, J. L. M, Feringac, B.L, Katsonis, N., 2013. Time-programmed helix inversion in phototunable liquid crystals, *Chemical Communications*, 49, 4256-4258.

Bhattacharyya, S., Mukherjee, A., Lee, S., Chaudhuri, B. K., 2011. Effect of CdS nano-crystal dispersion on dielectric properties of ferroelectric liquid crystal, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 541, 270–275.

Blinov, L. M., Kizel, V.A., Rumyantsev, V.G ve Titov, V.V, 1975. Study of nematic liquid crystal by means of the guest dye dichroism, *Journal de Physique Colloques*, 36, 69-76.

Bilen, K.,1994. Isıtılan Düzlem Bir Plakaya Dik ve Eğik Hava Jeti Çarpmasında Isı Transfer Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Chandrasekhar, S., 1992. *Liquid Crystals*, Cambridge University Press, Cambridge.

Chilaya, G., Chanishvili, G., Petriashvili, Barberi, R. ,De Santo, M.P., Matranga, M.A., 2011. Different Approaches of Employing Cholesteric Liquid Crystals in Dye Lasers, *Materials Sciences and Applications*, 2, 116-129.

El-Kallassi, P., Ferrini, R., Zuppiroli, L., Thomas, N, Houdré, R., Berrier, A., Anand, S., Talneau, A., 2007. Optical tuning of planar photonic crystals infiltrated with organic molecules, *Journal of the optical society of America* , 24, 9, 2165-2171 .

Gharde, R.A., Mani, S. A., Pradhan, M.S., 2014. Spectroscopic Study of Liquid Crystal doped with Nano – Powder. *International Journal of Advanced Research*, 2, 3, 872-876.

Gharde, R.A., Amare, J.R., Mani, S. A. , 2013. Studies on Polymer dispersed Liquid Crystals, *Advances in Polymer Science and Technology An International Journal*, 3, 3, 31-35.

Gupta, S.J., Balakrishna, R.S., Vinita, D., 2011. 2nd International Conference and workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET) Proceedings published by International Journal of Computer Applications® (IJCA), 34-49.

- Hanczyc, P., Matczyszyn, K., Pawlik, K., Olesiak, J., Leh, H., Buckle, M, 2011. Spontaneous formation of liquid crystalline phases and phase transition in highly concentrated plasmid DNA, *Liquid Crystals*, 38, 4, 461-468.
- Hanemanna, T., Böhma, M.C., Haaseb, W., Wu, T.,1992. Calculation of UV/VIS absorption spectra of liquid crystals and dye molecules An INDO MO approach, *Liquid Crystals*, 11,6, 917-997.
- Helfrich, W., Heppke, G., 1980. Liquid Crystals of One-and two-Dimensional Order, *Proceedings of the Conference on Liquid Crystals of One-and Two-Dimensional Order and Their Applications Garmisch-Partenkirchen, Fed. Rep. of Germany, January 21-25.*
- Ionescu A.L., Ionescu, A. Th., Barna, E. S., Barna, V., ve Scaramuzza, N., 2004. Fast electro-optic switching in nematic liquid crystals, *Applied Physics Letters*, 84, 1, 40-42.
- Khoo, I.C., 1995. *Liquid Crystals: Physical Properties and Nonlinear Optical Phenomena*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Köysal, O. 2007. Azo boya ve fulleren katkılı nematik sıvı kristallerin elektro-optik özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi, Yüksek teknoloji enstitüsü mühendislik ve fen bilimleri enstitüsü fizik anabilim dalı, Gebze.*
- Lu, J., Deshpande, S. V., Gulari, E., Kanicki, J., Warren, W. L., 1996. Ultraviolet light induced changes in polyimide liquid-crystal alignment films, *Journal of Applied Physics.*, 80, 9, 5028-5034.
- Medya, R. K., Choudhary, R. N. P., ve Mahapatra, P. K., 1999. Electrohydrodynamic instability in a binary mixture of cyanobiphenyls in a dc field, *Liquid Crystals*, 26, 6, 795-807.
- Plosceanu C., 2009. Electric field effect on optical dichroism of some azodyes dissolved in compenstated cholesteric liquid crystal. *Analele Universității din București – Chimie, Anul XVIII I*, 15 – 19.
- Priestley, E.B., Wojtowicz, P.J., Sheng, P., 1975. *Introduction Liquid Crystals*, Plenum Press, New York, USA.
- Song, L. ve Lee, W. K., 2006. Laser Induced Self-Phase Modulation in Nematic Liquid Crystals and Effects of Applied DC Electric Field, *Optics Communications*, 259, 1, 293-297.

- Tsuruta, T. , Armitage, B. a. , Bennett, D. E., 1996. Biopolymers, Liquid Crystalline Polymers, Phase Emulsion Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Wang, Y., Kanazawa, A., Shiono, T., Ikeda, T., Matsuki, Y., Takeuchi, Y., 1998. Homogeneous alignment of nematic liquid crystal induced by polyimide exposed to linearly polarized light, Applied Physics Letters, 72, 5, 545-547.
- Yılmaz, S., Bozkurt, A., 2008. Spectroscopic measurement of liquid crystal anisotropy in the ultraviolet/visible region, Materials Chemistry and Physics, 107, 410–412.
- Yılmaz, S., Emek, M., Özyayın, S., 2007. Comparative study of liquid crystalline in applied AC and DC voltages by electrooptical transmission, Çankaya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Journal of Arts and Sciences, 8, 117-125.
- Zolotko, A. S., Kitaeva, V. N., Kroo, N., Sobolev, N. N., Csillag, L., 1980. Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters, 32, 158.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Fatih ÇAKIRTAŞ
Doğum Yılı : 1982

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans : Harran Üniversitesi 2003
Yüksek Lisans :
Doktora :

İletişim Bilgileri

Adres :
Telefon :
E-posta :