

Nematik Sıvı Kristal Bir Filmin Elektro-Optik Özelliklerinin İncelenmesi

Nilay ÖZÇANKAYA , Rıdvan KARAPINAR
Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Van

Özet: Nematik sıvı kristal ince filmler bilgi gösterimi amacıyla çeşitli gösterge amaçlı elektro-optik devrelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Nematik sıvı kristal bir ortamda moleküllerin ortalama yönelim doğrultusundaki bir değişim, maddenin özelliklerini ortam içinde aydınlık ve karanlık alanlar oluşturacak biçimde değiştirir. Bu durum çeşitli elektro-optik olayların ortaya çıkmasına neden olur. Bu çalışmada nematik sıvı kristal ince bir filmin bazı elektro-optik özellikleri araştırılmıştır. Nematik sıvı kristal bir filme bir elektrik alan uygulanarak filmde geçen ışık şiddetindeki değişimler optiksel olarak incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektro-optik tepki, ışık geçişi, nematik faz.

Investigation of Electro-Optical Properties of a Nematic Liquid Crystal Film

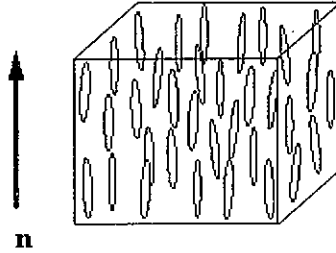
Abstract: Nematic liquid crystal thin films are used widely in many information display devices. Any variation of the molecular orientation gives rise to bright and dark regions in the nematic liquid crystal phase. This effect leads to several electro-optical effects in the medium. In this work, some of the electro-optical properties of a nematic liquid crystal thin film have been investigated. By applying an electric field to the nematic liquid crystal film, light transmission characteristics have been optically analyzed.

Key words: Electro-optic response, light transmission, nematic phase.

Giriş

Nematik sıvı kristal (NSK) bir fazda moleküller konumsal bir düzene sahip değildir. Ancak moleküllerin uzun eksenleri ortaklaşa olarak belirli bir doğrultu boyunca dizildiklerinden, ortam içinde yönelimsel bir düzen ortaya çıkar (Şekil 1). Bu yönelimsel düzenlenmeden dolayı, ortamın fiziksel özelliklerinde bir anizotropi gözlenir. Nematik fazdaki moleküllerin yönelim doğrultusu tercih edilen bir doğrultu

olduğundan, bu yönelim direktör adı verilen \mathbf{n} gibi bir yön vektörü ile temsil edilir ve bu vektör nematik fazın özellikleri için bir simetri eksenini olarak değerlendirilir. Eğer moleküller bir dipol momente sahiptirler, moleküllerin \mathbf{n} ve $-\mathbf{n}$ boyunca yönelimleri eşit olasılıkla gerçekleşir. Bu sonuç direktörün 180° dönmesi durumunda ortamın fiziksel özelliklerinin korunumlu olacağını belirtir.



Şekil 1. Nematik fazda moleküler düzenlenme.

Nematik fazdaki moleküllerin düzenlenme derecesini tanımlamak üzere bir düzen parametresi tanımlanabilir.

Bu moleküler düzen parametresinin alabileceği değerler ise,

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

bağıntısı ile verilir. Burada θ bir molekülün uzun eksenini ile direktör arasındaki açıdır. Tam mükemmel bir düzen için (yani moleküllerin tümünün \mathbf{n} doğrultusunda yönelmiş durumda) $\theta = 0$ ve $S = 1$ 'dir. Düzenin olmadığı rasgele bir yönelim için θ 'nın tüm değerleri eşit olasılıkla alması olası olduğundan $S = 0$ 'dır. Kısmi düzenlenmeler için S parametresi 0 ile 1 arasında değerler alır. Yani, $\theta = 0$ ve θ

$= \pi$ için, $\cos \theta = \pm 1$ ve $S = 1$ 'dir. $\theta = \pi/2$ için $S = -1/2$ olup bu durum \mathbf{n} vektörüne dik yönelimleri ifade ettiğinden fiziksel bakımdan anlamsızdır. İzotropik fazda ortaya çıkan rasgele yönelme hareketleri için $\langle \cos \theta \rangle = 1/3$ ve $S = 0$ değerleri geçerlidir. Ortamdaki düzen arttıkça S 'nin değeri 1'e yaklaşmaktadır. S düzen parametresi ortamdaki sıcaklığın bir fonksiyonudur. T_c kritik sıcaklığı nematik fazdan izotropik

faza geçiş sıcaklığı olmak üzere, $T < T_c$ için S düzen parametresi sıcaklığa bağlı olarak monoton olarak azalır. S düzen parametresinin maksimum değeri 0.7-0.8 arasında değişmektedir. NSK maddelerin çift kırıcılık ve optikçe aktiflik gibi bir çok optiksel özelliği, oldukça zayıf dış uyarılara karşı duyarlıdır. Dışarıdan uygulanan elektrik alanı NSK bir maddenin optik özelliklerini etkiler. Nematik bir ortamdaki moleküller yönelimin bir elektrik alan tarafından değişebilmesi ve bu tür ortamların anizotropik optik özelliklere sahip olması, çeşitli elektro-optik olayların ortaya çıkmasına neden olur. NSK maddelerin bir elektrik alanı ile

uyarılması hakkındaki öngöründe, madde sürekli ve esnek anizotropik bir ortam olarak ele alınır. Bir elektrik alan uygulanması ile ortamda şekil değişikliği meydana gelir. Nematik bir maddeye elektrik alan uygulanırsa, elektrik alanın zayıf şiddetlerinde herhangi bir etki gözlenmez. Ancak belirli bir eşik değerinin üzerinde, direktör uygulanan alana paralel yönelir. Bu durum, direktörün konumunda değişiklik yapmak için gerekli mekaniksel şekil değişikliğine karşı gelen enerji terimi ile açıklanabilir. Böylece serbest enerji yoğunluğu

$$F_c = -\Delta\epsilon E^2 / 8\pi \quad (2)$$

ifadesi ile verilir. Burada $\Delta\epsilon$ dielektrik sabitindeki anizotropi, E ise elektrik alan şiddetidir. Elektrik alanı uygulamasında, nematik maddenin pozitif veya negatif anizotropiye sahip olması durumuna bağlı olarak uygulanan alana paralel veya

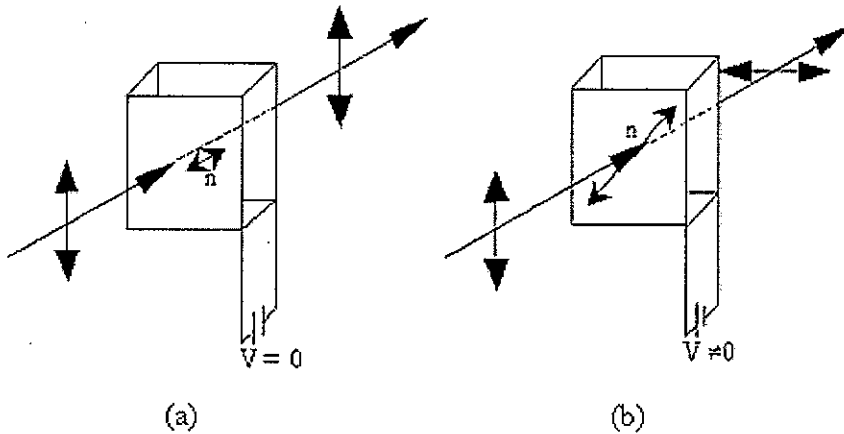
dik yönelimler gerçekleşir. Uygulanan elektrik alanın kritik değeri, ortamın esneklik sabitlerine ve dielektrik sabitine bağlı olarak aşağıdaki bağıntıyla verilir:

$$E_c = (\pi / d) [K_{ii} / \Delta\epsilon]^{1/2} \quad (3)$$

Burada K_{ii} ($i= 1,2,3$) Frank esneklik sabitleri, $\Delta\epsilon$ dielektrik anizotropi ve d ise film kalınlığıdır.

Nematik moleküller bir dipole sahiptir. Yani, molekülün bir ucu pozitif yüke diğer ucu negatif yüke sahiptir. Bir elektrik alanı uygulandığında, dipolün pozitif ucu alan boyunca olacak biçimde yönelim gösterir. Bu durum ortamdaki elektro-optik olayın oluşum mekanizmasında önemli bir etkidir. Katı bir madde de dipoller kristal örgüye çok sıkı bağlıdır. Normal bir sıvıda ise moleküllerin termal hareketi moleküllerin dipol yönelimlerini etkiler. Oysa nematik bir ortamda kısmen düzenli ve esnek bir durumun varlığı, dipollerin uygulanan alan ile etkileşmelerini sağlar. Dipoller direktör yönelimine göre belli bir konumda

olmalarına rağmen, uygulanan alan optik eksenini değiştirir. Genellikle dielektrik sabiti optik eksen boyunca daha büyük olduğundan, uygulanan elektrik alanı direktörü dielektrik sabitinin maksimum olduğu elektrik alan doğrultusunda yöneltir. NSK maddelerin sahip olduğu anizotropik davranış nedeniyle, elektrik alan uygulanması durumunda nematik maddeden geçen ışığın kutuplanma özellikleri değişime uğrar. Bu durum basitçe Şekil 2'de gösterilmektedir. Alan uygulanmadığı durumda (Şekil 2-a) direktöre dik olacak biçimde ortam üzerine düşen ışığın titreşim doğrultusunda herhangi bir değişim meydana gelmez. Ancak nematik ortama elektrik alanı uygulandığında (Şekil 2-b), çizgisel kutuplanmış ışık demetinin kutuplanma doğrultusu değişime uğrar.



Şekil 2. Nematik bir ortamdan ışık geçişinin elektrik alan ile değişimi.

Son yıllarda, NSK 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 elektro-optik cihazların yapımında teknolojik açıdan büyük önem taşımaktadır. NSK göstergeler üzerine genel bir çalışma Schadt tarafından verilmektedir (Schadt, 1989). Bu tür gösterge devrelerinde çeşitli arafazlar arasında en yaygın olarak kullanılanı nematik maddelerdir. Bu nedenle, nematik maddelerin çeşitli elektro-optik özelliklerinin incelenmesi geniş bir araştırma alanını oluşturmaktadır (Fünfschilling, 1991; Karapınar ve Gündüz, 1994; Karapınar ve Gündüz, 1992; MacGregor, 1988).

Nematik bir ortamdaki moleküllerin yönelmelerini sağlamak üzere uygulanan yüzey etkinlik işlemleri hakkında literatürde geniş bir bilgi edinmek mümkündür (Sato ve ark., 1972; Uchida ve ark., 1972). Ancak 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).

NSK maddelerin çeşitli gösterge devrelerindeki kullanımı yoğun bir araştırma alanıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar özellikle bükümlü nematik bir göstergenin çalışması ve yanıt süresi gibi parametreler üzerinedir. Yine nematik bir maddenin uygulanan voltaja bağlı bükülme etkisi, bir yüzeyi sürtme işlemi ile elde edilen planar yönelimli, diğer yüzü ise ışık etkisiyle elde edilen bir yönelim tabakasından oluşmuş film kullanılarak incelenmiştir (Bryan-Brown ve ark., 1998).

Yüksek performanslı bükümlü nematik göstergenin yapımı Guo ve Kwok (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu tür bir cihaz diğer bükümlü nematik göstergelerden farklı olarak çapraz polarizöre gereksinim duymamaktadır.

Nematik bir ortamdaki dinamik akış ile direktör arasındaki etkileşmeye bağlı olarak filmin elektro-optik yanıtı çeşitli araştırmalarda incelenmiştir (Qian ve ark., 1997). Söz konusu çalışmada geniş bir video voltaj bölgesinde faza bağlı modülasyonun elde edilebileceği ve bükümlü nematik televizyonun polarizasyon halleri optik bir düzenele incelenmiştir. Uygulanan voltaja bağlı olarak parlaklık, kontrast değerleri ve ışık geçirgenliği araştırılmıştır.

Bükümlü nematik bir filmin kutuplanmaya bağlı elektro-optik davranışı deneysel olarak incelenmiş ve bu tür bir cihazın ışık geçirgenliği uygulanan voltaja ve dalga boyuna bağlı olarak araştırılmıştır (Wang ve ark., 2004). Yine Monte-Carlo simülasyon modeli kullanılarak bükümlü nematik bir filmin çapraz polarizörler arasındaki optik yapıları hesaplanmıştır (Berggen ve ark., 1995). Başka bir çalışmada ise yansıma modlu bükümlü nematik bir filmin yüksek voltaja bağlı davranışı teorik olarak incelenmiştir (Zhu ve ark., 2003). 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. Yine Karapınar (2005) ve Karapınar ve Gülebağlan (2004) tarafından yapılan çalışmalarda bükümlü nematik filmlerin bazı optiksel özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada, NSK bir filmin yapımı ve bu filmin bazı elektro-optik özellikleri, yukarıda sözü edilen araştırmalar göz önünde bulundurularak çalışma konusu edilmektedir.

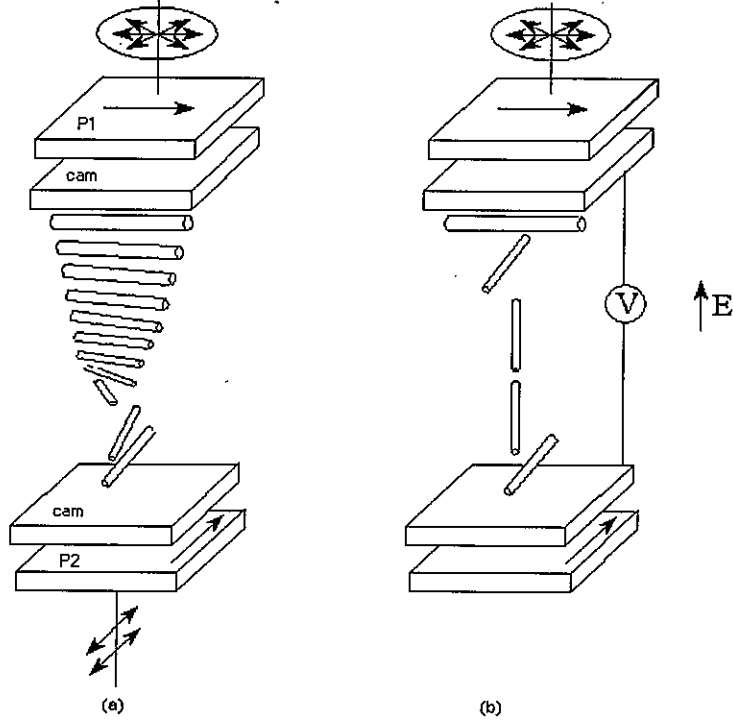
Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan nematik madde 4-pentil-4'-siyanobifenil ve terfenil karışımı olup, oda sıcaklığında nematik faz gösteren bir maddedir. Siyanobifenil ve siyanoterfenil bileşikler, kimyasal ve fotokimyasal kararlılık göstermeleri, hızlı yanıt sürelerine sahip olmaları ve oda sıcaklığında nematik faz göstermeleri nedeniyle çeşitli elektro-optik gösterge devrelerinde kullanılır. BL001 kod adı ile belirtilen bu bileşiğin nematik faz geçiş sıcaklığı 60°C dir. Bu madde pozitif dielektrik anizotropiye sahiptir. Maddenin olağan ve olağanüstü kırılma indisleri değerleri sırasıyla $n_o = 1.52$ ve $n_e = 1.74'$ dir.

Nematik bir ortamın elektro-optik özelliklerinin araştırılması için, bu tür ortamdaki moleküllerin durağan denge konumlarının önceden belirlenmiş olması gereklidir. Buna ek olarak, ortamın türbid bir görünüm sergilemesi nedeniyle, kullanılan nematik filmlerin saydam olması gereklidir. Bu nedenle deneysel incelemelerde ince filmlerin kullanılması zorunludur. Bu araştırmada cam levhalar arasına konulan nematik bir ortamdaki moleküllerin levha yüzeylerine paralel yönelimini sağlayabilmek için cam levha yüzeylerine bir yüzey etkinlik işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla film levhalarına aynı doğrultuda sürtme işlemi uygulanarak moleküllerin film yüzeylerine paralel olacak biçimde yöneldiği planar nematik bir film elde edilmiştir. Mylar şeritler cam levhalar arasına uygun biçimde yerleştirilerek kalınlığı $d = 13 \mu\text{m}$ olan ince bir filmin oluşumu gerçekleştirilmiştir. Nematik madde mylar şeritlerle sınırlanan hücre içerisine bir ısıtıcı sistem kullanılarak doldurulmuştur. Elde edilen nematik filmdeki moleküllerin yönelim durumu polarizör sistemine sahip bir polarize mikroskop yardımıyla incelenmiştir.

NSK filmin elektro-optik davranışını incelemek için kullanılan optik yöntem, nematik filme bir elektrik alan uygulanması ve bu sırada filmde geçen tek-renkli çizgisel kutuplanmış ışığın analiz edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Nematik filme 0-5 Volt AC gerilimleri uygulanarak filmde geçen tek-renkli ışık (632.8 nm) şiddeti bir fotodetektör ile ölçülmüştür. Yine nematik filmde geçen ışık şiddetinin dalgaboyuna bağlı değişimi görünür bölge için bir spektrofotometre ile incelenmiştir.

Bu çalışmada aralarına nematik maddenin konulduğu yüzeylerin birbirlerine göre 90° bükülmesi ile oluşan, ancak her bir film yüzeyinde planar bir yönelimin bulunduğu bükümlü nematik filmler elde edilmiştir. Bu tür yönelimli bir yapıya bir dış elektrik alanı uygulandığında, ortamdaki bükümlü yapının bozulması sonucu, ortamdaki geçen ışığın optik özelliklerinde bir değişim ortaya çıkmaktadır (Şekil.3).



Şekil 3. Bükümlü nematik bir filmin çalışma ilkesi. (a) $V = 0$, (b) $V \neq 0$.

Şekil 3-a'da görüldüğü gibi üst ve alt levhalar arasında 90° 'lik bir bükülme açısı sağlanarak moleküller her iki levha düzlemine paralel gelecek şekilde yöneltilirken, bu tür yapıya düşen ışık bükümlü yapıyı izleyecek biçimde ortamdaki ayrılır. Ancak bir elektrik alan uygulanması (Şekil 3-b) durumunda, bu moleküller yönelim değişir. Çapraz polarizör sistemi arasındaki bu tür bir yapıdan ışık geçişi

gerçekleşmez. Böylece bükümlü nematik film üzerine elektrik alanı uygulanarak içinden geçen ışık geçişi kontrol edilebilir.

Filmin aralarına konulduğu polarizör ve analizör sisteminin titreşim düzlemleri birbirlerine göre 90° 'lik açı ile konumlandırıldığında, filminden geçen ışık şiddeti

$$I(\theta) = \frac{1}{2} \sin^2(2\theta) \sin^2(\pi \Delta n d / \lambda) \quad (4)$$

bağıntısı ile verilir. Burada d filmin kalınlığı, λ ışığın dalga boyu, Δn ise ortamın çift kırıcılığıdır. NSK bir filmde voltaja bağlı ışık geçişinin incelenmesi görünür bölgede nematik maddenin çift kırıcılığının belirlenmesine olanak sağlar.

NSK filme bir V potansiyel farkı uygulandığında ortamın dielektrik anizotropisinden dolayı moleküller artık levhalara paralel olmayacak ve elektrostatik enerjinin minimum olacağı biçimde levha yüzeylerine dik olarak yöneleceklerdir.

Bükümlü NSK bir filme uygulanan voltajın eşik değeri teorik olarak aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir. Bu bağıntıdan, nematik filme uygulanması gereken potansiyel farkının, ortamın esnek şekil değişimini ifade eden Frank esneklik sabitlerine ve ortamın dielektrik sabitlerine bağlı olduğu görülmektedir.

$$V = \pi \left(\frac{K_{11} + (K_{33} - 2K_{22}) / 4}{\epsilon_0 \Delta \epsilon} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Bulgular ve Tartışma

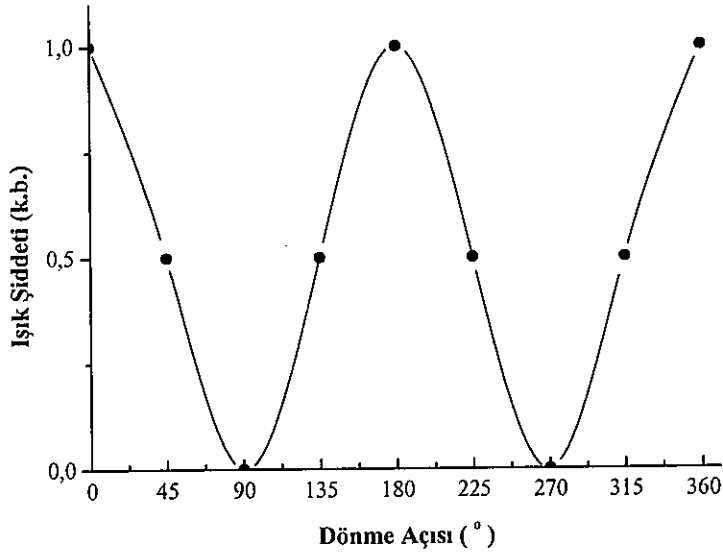
Yapılan deneylerde sürtme yöntemi ile elde edilen nematik filmlerdeki moleküllerin yönelim durumu polarize bir mikroskop altında incelenmiştir. Bu tür filmlerin bir dış

elektrik alandaki davranışı ve buna ek olarak filme uygulanan elektrik alan etkisiyle ortamdaki ışık geçirgenliği bir optik sistem yardımıyla araştırılmıştır. Bu amaca uygun olarak geliştirilen deneysel yöntem, bükümlü bir nematik filme elektrik alan uygulanması ve bu sırada filminden geçen

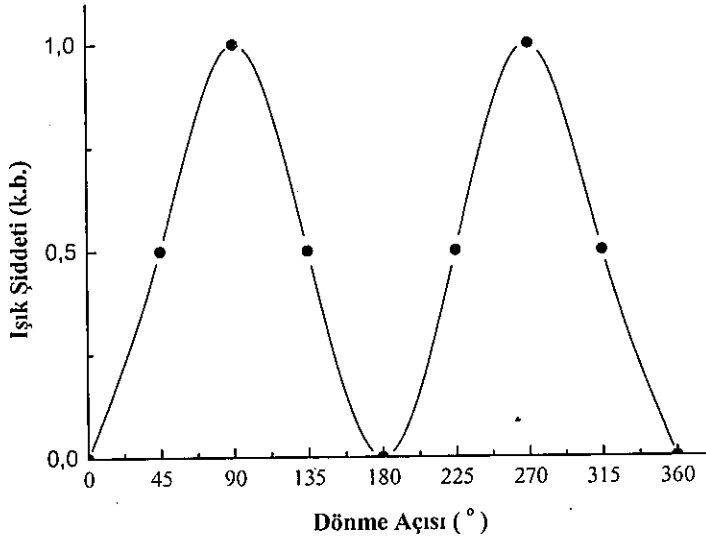
tek-renkli çizgisel kutuplanmış ışığın analiz edilmesi esasına dayanmaktadır.

Bükümlü nematik filmdeki ışık geçirgenliğinin incelenmesi amacıyla çapraz polarizörler arasına konulan film belirli açılarda döndürülerek ortamdaki ışık geçişi incelenmiştir. Çapraz polarizörler arasındaki filmde geçen ışık şiddetinde her 90°'lik döndürme ile maksimum ve minimum değerler gözlenmiştir. Çapraz polarizörler arasındaki bükümlü nematik filmde geçen ışık şiddetinin dönme açısına bağlılığı Şekil 4'de gösterilmektedir. Filmin polarizörler arasında 0°-360° döndürülmesiyle $\theta = 90^\circ$ ve

270° değerlerinde film karanlık görünmektedir. Döndürme açısının $\theta = 0^\circ, 180^\circ$ ve 360° değerlerinde ise aydınlık konular ortaya çıkmaktadır. Yine filmin geçirgenlik eksenleri birbirine paralel olan polarizörler arasında benzer biçimde incelenmesi ile elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmektedir. Burada, nematik filmin polarizörler arasında 0°-360° döndürülmesiyle $\theta = 0^\circ, 180^\circ$ ve 360° değerlerinde film karanlık görünmekte, ancak döndürme açısının $\theta = 90^\circ$ ve 270° değerlerinde ise parlak konular ortaya çıkmaktadır.



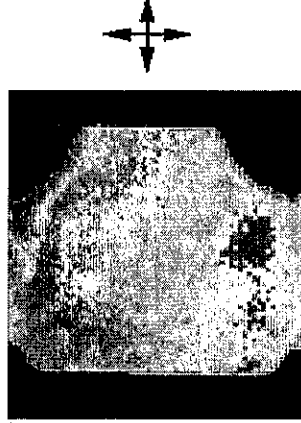
Şekil 4. Çapraz polarizörler arasındaki nematik filmde geçen ışık şiddeti.



Şekil 5. Paralel polarizörler arasındaki nematik filmde geçen ışık şiddeti.

Yapılan incelemeler filmde bükümlü yönelimin gerçekleştiğini göstermektedir. Filme uygulanan sürtme işlemi doğrultusu polarizörlerden birisinin geçirgenlik eksenini boyunca olacak biçimde seçildiğinde, ortamdaki ışık geçişi maksimum olmaktadır. Bu durum, filmdeki optik eksen doğrultusunun yani moleküllerin ortalama yönelim

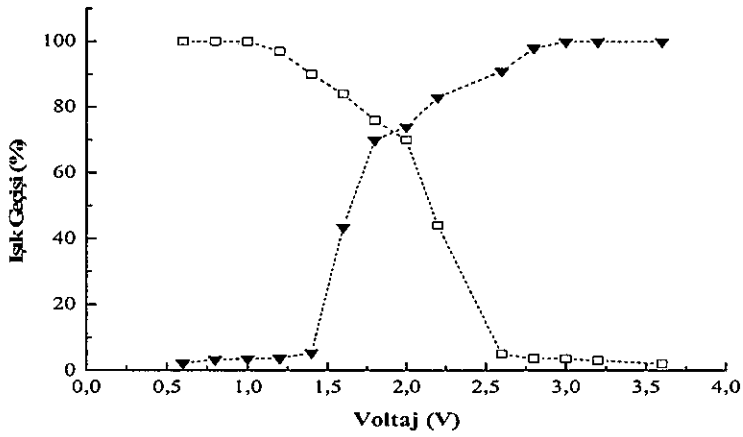
doğrultusunun sürtme doğrultusu boyunca ortaya çıktığını belirtmektedir. Şekil 6'da çapraz polarizörler arasındaki bükümlü nematik filmin fotoğrafı gösterilmektedir. Şekilde koyu oklar, polarizörlerin birbirlerine göre yönelimini belirtmektedir.



Şekil 6. Çapraz polarizör sistemi arasında bükümlü nematik bir filmin makroskopik fotoğrafı.

Nematik bir madde oda sıcaklığında soğutulduğunda sahip olduğu bölgelerin kırılma indislerindeki farklılık nedeniyle bulutsu bir görünüm sergilemektedir. Film levhaları arasına konulan nematik maddede çok sayıda bölgelik her biri kendine ait bir düzene sahiptir. Ancak, yönelmiş numuneler polarize mikroskop altında incelendiğinde, yönelmiş numunedeki düzenin kuvvetli bir çift kırıcılık etkisine neden olduğu gözlenir. Yönelmiş filmin yönelim doğrultusu polarizörlerden birisine paralel olacak biçimde döndürülürse film karanlık görünür. Ancak film polarizörlere göre 45°'lik bir açı yapacak şekilde döndürülürse numune parlak görünür.

Bükümlü nematik bir filmde ışığın kutuplanması Mauguin şartı gerçekleştiği durumda ortamdaki nematik moleküllerin 90°'lik bükülmelerini izleyecek biçimde ortamda ilerler. Bu durumun oluşması için filmin kalınlığı (d) ve nematik ortamın çift kırıcılığı (Δn)'nin çarpımının ortam üzerine gelen ışığın dalga boyundan (λ)'dan daha büyük olması gerekir. Yapılan deneyde filmin kalınlığı $d = 13 \mu\text{m}$ ve optik anizotropi için $\Delta n = 0.22$ alındığında $2.86 \times 10^{-6} \text{ m} \gg 6.33 \times 10^{-7} \text{ m}$ olduğu görülür. Bu Mauguin koşulunu sağlamaktadır. Nematik filminden geçen ışık şiddetinin uygulanan voltaja bağlılığı Şekil 7'de gösterilmektedir.



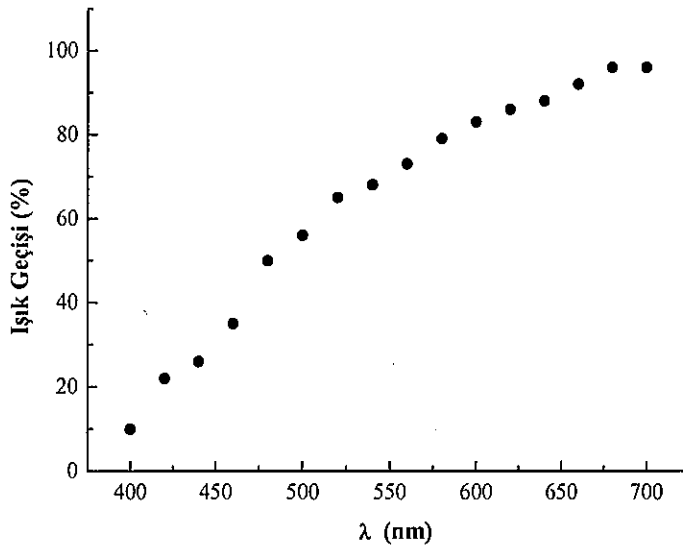
Şekil 7. Çapraz (□) ve paralel (▼) polarizörler arasındaki nematik filminden geçen ışık şiddeti.

NSK filmin elektro-optik özelliklerini incelemeye iki önemli nicelik kullanılmaktadır. V_{10} filmde geçen ışık şiddetinin yüzde onuna ulaşması için gerekli voltaj olarak tanımlanır. V_{90} ise ışık şiddetinin yüzde doksan geçişini sağlamak için uygulanması gereken voltaj değeridir. V_{TH} eşik voltajı ise nematik filmin çalışmaya başladığı yani ışık geçişinin oluştuğu voltaj değeridir. Ancak bu değer için $V_{TH} = V_{10}$ alınabilir. $\Delta V = V_{90} - V_{10}$ nematik bir filmin görüntü kalitesini belirler ve uygulamalarda bu değer büyük olması tercih edilir.

Bu çalışmada kullanılan madde için eşik voltajı 0.97 V olarak hesaplandı. Ancak deneysel sonuç olarak bu voltajın 1.41 V olduğu gözlemlendi. Yine V_{90} değeri 2.54 V olarak

bulundu. Nematik film için görüntü kalite faktörü $\Delta V = 1.13$ V olarak hesaplandı. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi, nematik bir filmler çok küçük çalışma voltajlarında bir elektro-optik tepki göstermektedirler. Bu düşük çalışma voltajı çok az güç harcamasına neden olduğundan ($\sim 1\mu W/cm^2$), bu tür maddelerin gösterge devrelerinde kullanımı oldukça önemlidir.

Bu çalışmada nematik filmin ışık geçirgenliği film üzerine düşen ışığın dalga boyuna bağlı olarak incelenmiştir (Şekil 8). Bu incelemede görünür bölge için uzun dalga boylarında filmde geçen ışık şiddetinin arttığı görülmektedir.



Şekil 8. Nematik filmde geçen ışık şiddetinin dalga boyuna bağlı değişimi.

Kaynaklar

- Berggren, E., Zannoni, C., Chiccoli, Cesare., Pasini, P., Semeria, F., 1995. A Monte Carlo simulation of a twisted nematic liquid crystal display. *International Journal of Modern Physics*, 6:135-141.
- 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.
- Chen, H., Y., Lee, W., 2005. Electro-optical characteristics of a twisted nematic liquid-crystals cell doped with carbon nanotubes in a dc electric field. *Optical Review*, 12 (3):223-225.
- Fünfschilling, J., 1991. Liquid crystals and liquid crystal displays. *Condensed Matter News*, 1:12-16.
- Guo, L.X., Kwok, H.S., 2000. High performance transmittive bistable twisted nematic liquid display. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 39:1210-1216.
- Kahn, F.J., 1972. Orientation of liquid crystals by surface coupling agents. *Appl. Phys. Lett.*, 22:386-388.
- Karapınar, R., Gündüz, E., 1992. Sıvı kristal Displayler. *YYU, Fen-Ed.Fak.Fen.B.Derg.*, 3:93-105.
- Karapınar, R., Gündüz, E., 1994. An acousto-optic modulator with a liquid crystal. *Optics Communications*, 105:29-32.
- 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.
- 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. *Optics Express*, 13 (13):5024-5029.
- Qian, T. Z., Xie, Z. L., Kwok, H. S., Sheng, P., 1997. Dynamic flow and swiching bistability in twisted nematic liquid crystal cells. *Appl. Phys.*, 71:596-598.
- Sato, S., Wada, M., 1972. Molecular arientation effects in compensated liquid crystals. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 11:1566-1570.
- Schadt, M., 1989. The history of the liquid crystal display and liquid crystal material technology. *Liq. Cryst.*, 5:57-71.
- Uchida, T., Watanabe, H., Wada, M., 1972. Molecular arrangement of nematic liquid crystals. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 11:1559-1565.
- Wang, Q.H., Wu, T.X., Zhu, X., Wu, S.T., 2004. Achromatic polarization switch using a film-compensated twisted nematic liquid crystal cell. *Liq. Cryst.*, 31:535-539.