



MAKÜ FEBED  
ISSN Online: 1309-2243  
<http://dergipark.gov.tr/makufebed>  
DOI: 10.29048/makufebed.342432

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(Ek Sayı 1): 268-275 (2017)  
*The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 8(Supplementary Issue 1): 268-275 (2017)*

**Araştırma Makalesi / Research Paper**

## **Bükümlü Nematik Sıvı Kristal Aygıtlar**

Rıdvan KARAPINAR

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur

*Geliş Tarihi (Received): 09.10.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 18.12.2017*

✉ *Sorumlu Yazar (Corresponding author): rkarapinar@mehmetakif.edu.tr*

☎ +90 248 2132763 📠 +90 248 2132704

### **ÖZ**

Nematik sıvı kristaller, gösterge amaçlı birçok elektro-optik sistemde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bükümlü nematik sıvı kristal aygıtların kullanımı üzerine yoğun bir ilgi oluşmaktadır. Bu makalede bükümlü nematik sıvı kristal aygıtların yapımı ve elektro-optik özellikleri inceleme konusu edilmiştir. Özellikle bükümlü nematik bir aygıtın ışık geçirgenliği ve bazı devre parametreleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nematik sıvı kristal, Bükümlü nematik sıvı kristal aygıt, Işık geçirgenliği

## **Twisted Nematic Liquid Crystal Devices**

### **ABSTRACT**

Nematic liquid crystals have been used extensively for many electro-optical systems such as displays. Thus, there is a great interest on the applications of twisted nematic liquid crystal devices. In this article, fabrication of nematic liquid crystal devices and their electro-optical properties have been investigated. In particular, the light transmission characteristics of a twisted nematic device have been studied and some device parameters have been determined.

**Keywords:** Nematic liquid crystal, Twisted nematic liquid crystal device, Light transmission

### **GİRİŞ**

Sıvı kristal maddeler, kristal yapılı katıların anizotropik ve sıvıların akışkanlık özelliklerini bir arada sergileyen maddelerdir. İlginç fiziksel özellikleri nedeniyle teknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı özelliklere sahip birçok sıvı kristal faz bulunmasına rağmen; televizyon, bilgisayar ve telefon gibi bilgi gösterimi amacına yönelik ekranlarda kullanılan ve en fazla bilinen nematik sıvı kristal (NSK) maddelerdir (De Gennes ve Prost, 2003).

Bu tür aygıtlar, iç yüzeylerine yönlendirme tabakası olarak polimer kaplanmış iki iletken cam levha arasına

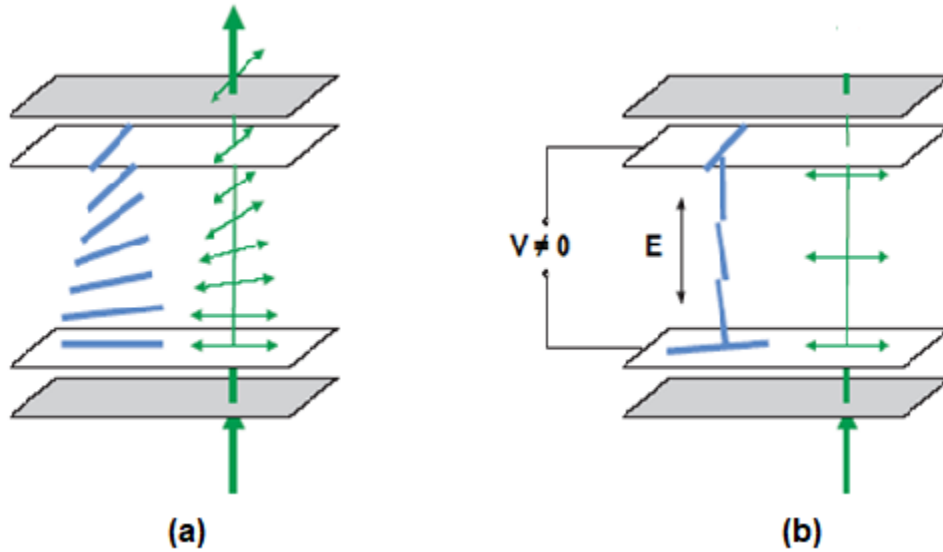
yerleştirilen NSK bir maddeden oluşmaktadır. Polimer yüzeylerine özel bir yüzey etkinlik işlemi uygulanarak, NSK moleküller alt ve üst iletken cam levhalar arasında 90 derecelik bir açı yapacak şekilde yönelirler. Bu tür bir yapı bükümlü NSK olarak adlandırılır. Çapraz polarizör sistemi arasına konulan bükümlü NSK film üzerine ışık düştüğünde, ışığın kutuplanma düzlemi bükümlü moleküler yapıyı takip ederek ortamda ilerler. Böylece gelen ışık demeti aygıttan çıkarken ışığın polarizasyon doğrultusu benzer şekilde 90 derecelik bir dönmeye maruz kalır. Bu durumda çapraz polarizör sistemi arasındaki aygıttan ışık geçişi gerçekleşir. Ancak aygıt elektrotlarına bir elektrik alanı uygulanırsa, NSK moleküllerin elektrik alanına paralel yönelmeleri sonucunda,

bükümlü moleküler yapı bozulur. Böylece bükümlü NSK aygıt üzerine gelen ışık polarizör sisteminden geçemez. Bükümlü NSK bir aygıtın çalışma ilkesi Şekil 1'de gösterilmektedir (Oka ve ark., 2002).

Bir NSK aygıtta elektrik alanın uygulandığı pikseller karanlık görünürken, diğer pikseller ise aydınlık görünür. Yani bükümlü NSK aygıt, uygulanan elektrik alanının şiddetine bağlı olarak aydınlık ve karanlık durumlar sergiler. Aygıtın uygulanan elektrik alanına verdiği yanıt, elektro-optik tepki olarak tanımlanır. NSK aygıttan geçen ışık şiddeti uygulanan elektrik alanının bir fonksiyonudur. Küçük boyutlu hesap makinesi ve saat gibi uygulamalarda kullanılan NSK aygıtlarda, aydınlık zeminde karanlık görüntü veren yansıtıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu amaçla aygıtın arkasına yerleştirilen bir ayna ile ortama düşen ışık geriye yansıtılır. Yansıyan ışık bükümlü yapıyı izleyerek geri döner ve ilk polarizörden çıkar. Ekran aydınlık görünür. Ancak elektrik alan uygulandığında, ışık ortamdan çıkamayacağından ortam karanlık görünür. Işık geçirmeli aygıt durumunda, elektrik alan etkimesi ile eğer karanlık zeminde aydınlık görüntü elde edilmek istenirse, polarizörlerin ışık geçirgenlik eksenleri birbirine paralel olmalıdır. Küçük ekranlı aygıtlarda her bir piksel ayrı ayrı kodlanır. Yani her görüntü elemanı için bağımsız elektriksel bağlantı bulunur. Ancak televizyon veya bilgisayar gibi ekranlardaki çok sayıda piksel, sütun ve satırlardan oluşan matris formunda yerleşmişlerdir. Örneğin 640 satır ve 480

sütundan oluşan bir ekranda 307200 piksel bulunmaktadır. Piksel sayısının artması ekran çözünürlüğünü artırmaktadır. Her bir pikselin arkasına yerleştirilmiş en az bir ince film transistör, piksele aktif olarak voltaj uygular. Bu aktif matris kodlama tekniği ile birkaç satır aynı anda kodlanabilmektedir. Böylece hızlı yanıt süresine sahip, büyük kontrast oranı sağlayan NSK ekranların yapımı mümkün olabilmektedir. Renkli ekranlı bir NSK aygıt elde etmek için, elektrotların önüne kırmızı, yeşil ve mavi renk filtreleri yerleştirilmektedir (Yeh ve Gu, 2010).

Görüş açısı, çözünürlük ve diğer özellikleri açısından daha mükemmel ekranların yapımı için yeni yöntemler geliştirilmektedir. Küçük ekran uygulamalarında doğrudan kodlama yapıldığından görüntü kalitesini daha artırmak için 90 derecelik bükümlü NSK yerine 270 derecelik bükülmeye sahip süper bükümlü NSK aygıtlar geliştirilmiştir. Genel olarak NSK ekranlardaki görüş açısı sorununu gidermek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar arasında en ilginç olanı, kutuplanmış mor ötesi ışık ile NSK moleküllerin yöneltildiği polimer filmlerin kullanılmasıdır. Böylece moleküller, levha üzerinde herhangi bir mekaniksel yönlendirilme tekniğine gerek kalmadan, ışığın kutuplanma yönüne göre belirli bir yönelime maruz kalmaktadır (Karapınar, 2015). Bir görüntü devresindeki her bir görüntü elemanı veya piksel bir bükümlü NSK aygıt işlevi görmektedir.



**Şekil 1.** Bükümlü NSK aygıtın şematik gösterimi: (a) Işık çapraz polarizörden geçiyor, (b) Elektrik alan uygulandığında ışık geçmiyor.

NSK bir ortamdaki moleküller yönelimsel bir düzen sergiler. Bu durumda moleküllerin uzun eksenleri direktör adı verilen belirli bir  $n$  yön vektörü boyunca dizilmişlerdir (Şekil 2). NSK moleküller dipol davranışına sahip-

tir. Basit olarak molekülün bir ucu pozitif yüke diğer ucu negatif yüke sahiptir. Ancak genelde yük dağılımı oldukça karmaşıktır. Bir elektrik alanındaki dipol elektrik alanında yönelir. Bu durum elektro-optik etkinin oluşum

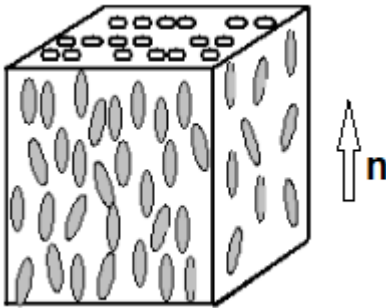
mekanizmasını oluşturur. Oysa katı bir maddede dipoller kristal örgüye çok sıkı bağlıdır. İzotropik sıvıda ise moleküllerin termal hareketi moleküllerin dipol yönelimlerini etkiler. NSK ortamdaki dipoller direktör yönelimine göre belli bir konumda olmalarına rağmen, uygulanan dış alan moleküler yönelimi kolayca değiştirir. NSK ortama uygulanan bir dış voltaj Freedericksz geçişi olarak tanımlanan bir eşik değerini aşarsa, direktörün elektrik alanda yönelimi gerçekleşmiş olur. NSK madde çift kırıcı olduğundan, alan etkimeli direktör yönelimi ortamdan geçen ışığın şiddetinde değişime neden olur. Sonuç olarak, NSK bir ortamdaki moleküler yönelimin bir dış elektrik alan ile davranışı göstermesi ve bu tür ortamların anizotropik özelliklere sahip olması, çeşitli elektro-optik cihazların çalışma ilkesini oluşturmaktadır (Karapınar, 1994).

NSK ortamdaki moleküllerin düzenlenme derecesi S moleküler düzen parametresi ile tanımlanır:

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

Burada moleküllerin uzun eksenleri ile direktör arasındaki açıdır. Üçgen parantezler bütün moleküller üzerinden ortalama alındığını belirtmektedir. Tam bir düzen içeren kristal yapı için S = 1 ve rasgele yönelime sahip izotropik faz için S = 0'dır. S parametresi sıcaklığın fonksiyonu olarak azalmaktadır. Genellikle NSK maddeler için 0,8'den başlayarak 0,3'e kadar değişen değerler almaktadır. Düzen parametresinin ölçümü için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Optik bir yöntem olarak, boya molekülü ile katılanmış nematik maddede ışık soğrulma etkisi dikkate alınarak, S'nin sıcaklığa bağlı davranışı incelenir. Diğer taraftan teorik bir hesaplama olarak, nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığı olmak üzere düzen parametresi, indirgenmiş sıcaklığın fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir: Burada  $\beta$  maddesel sabit olup,  $\beta = 0,20-0,25$  değerlerini almaktadır.

$$S = (1 - 0,98T_r)^\beta \quad (2)$$



Şekil 2. NSK ortamdaki moleküllerin yönelimi.

Elektrik alan NSK ortamda esnek şekil değişikliği meydana getirir. NSK bir filme uygulanan voltajın belirli bir eşik voltajının üzerinde olması durumunda, direktör uygulanan elektrik alanına paralel yönelir. Uygulanan eşik değeri

$$E_c \approx \frac{\pi}{d} \sqrt{\frac{K_{ii}}{\Delta \epsilon}} \quad (3)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $K_{ii}$  Frank esneklik sabitleri,  $\Delta \epsilon$  dielektrik anizotropi ve d ise filmin kalınlığıdır.

Diğer taraftan, NSK maddenin çift-kırıcılık özelliğine sahip olması nedeniyle, aygıt içinden geçen ışık şiddeti bir faz farkına bağlı olarak değişim gösterir.  $I_0$  gelen ışık şiddeti,  $\phi$  gelen ışığın kutuplanma vektörü ile direktör arasındaki açı olmak üzere, ortamdan geçen ışık şiddeti

$$I = I_0 \sin^2(2\phi) \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \quad (4)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $\Delta\phi$  faz farkı olup, gelen ışığın dalgaboyuna ( $\lambda$ ) ve maddenin optik anizotropisine ( $\Delta n$ ) bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Yeh ve Gu, 2010).

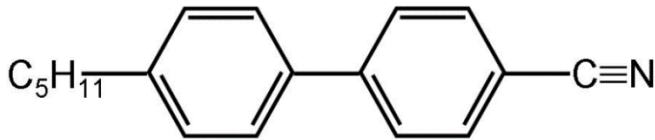
$$\Delta\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) d \cdot \Delta n \quad (5)$$

NSK maddelerin elektro-optik özelliklerinin incelenmesi geniş bir araştırma alanını oluşturmaktadır (Gülebağlan ve Karapınar, 2004; Özcankaya ve Karapınar, 2007; Gülebağlan ve Karapınar, 2010). NSK maddelerin çeşitli gösterge devrelerindeki kullanımı üzerine yapılan çalışmalar özellikle bükümlü NSK aygıtın çalışma voltajı ve yanıt süresi gibi parametreleri üzerine yoğunlaşmıştır. Nematik bir ortamdaki dinamik akış ile direktör arasındaki etkileşmeye bağlı olarak filmin elektro-optik yanıtı çeşitli araştırmalarda incelenmiştir (Qian ve ark., 1997). NSK aygıtların elektro-optik özelliklerinin incelenmesi üzerine deneysel ve kuramsal araştırmalar yapılmıştır (MacGregor, 1988; Brugioni ve Meucci, 2004). Nematik bir maddenin uygulanan voltaja bağlı bükülme etkisi, farklı yüzey etkinlik işlemi uygulanmış yönelim tabakasından oluşmuş filmler kullanılarak incelenmiştir (Bryan-Brown ve ark., 1998). Yüksek verimli bükümlü NSK bir aygıtın yapımı Guo ve Kwok (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bükümlü NSK bir aygıtın elektro-optik davranışı deneysel olarak incelenmiş ve bu tür sistemin ışık geçirgenliği uygulanan voltaja ve dalgaboyuna bağlı olarak araştırılmıştır (Wang ve ark.,

2004). Bükümlü NSK bir aygıtın elektrik alanındaki elektro-optik tepkisi incelenmiştir (Chen ve Lee, 2005). Bu tür aygıtların optik modülasyonu bazı çalışmalarda araştırılmıştır (Merlin ve ark., 2005). Son zamanlarda kiral katkılı SK bir maddeden oluşan ışık etkisiyle çalışan bir aygıt tasarımı gerçekleştirilmiştir. Aygıtın çapraz polarizörler arasında 180 ve 0 derecelik bükülme modları, ışık modülatörünün açık ve kapalı hallerine karşılık gelmektedir (Wang ve ark., 2013). Bükümlü NSK aygıtların görüş açısı sorununu çözmek için farklı yaklaşımları ileri sürülmüştür. Bu tür bir aygıtın alt ve üst levhalarındaki bağlanma enerjileri hesaplanmıştır (Oka ve ark., 2002). Kutuplanmış mor ötesi ışık ile NSK moleküllerin yönlendirilmesi için geliştirilen foto-etkimli yöntem son yıllarda oldukça ilgi toplayan yöntemlerden biridir (Hindmarsh ve ark., 1999). Yine, tek duvarlı karbon nanotüp ve poliimid kompozit ince filmler ITO cam yüzeylerine uygulanarak, NSK aygıtın elektro-optik verimi ölçülmüştür. Bu durumda çalışma hızının arttığı ve bu tür aygıtların pratik uygulamalar için oldukça kullanışlı olduğu rapor edilmiştir (Liu ve ark., 2015). NSK aygıtın kontrast oranını geliştirmek için farklı araştırmalar yapılmıştır (Kim ve ark., 2011). Bu makalede, deneysel olarak yapımı gerçekleştirilen bükümlü NSK bir aygıtın bazı elektro-optik özellikleri, daha önce yapılmış çeşitli çalışmalar göz önünde bulundurularak inceleme konusu edilmiş ve ilgili deneysel sonuçlar verilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

NSK bir aygıtların yapımında geniş bir faz aralığına sahip ve oda sıcaklığında nematik faz davranışı gösteren siyanobifenil bileşikler kullanılmaktadır. Bu tür bileşikler, kimyasal ve fotokimyasal kararlılık göstermeleri ve hızlı yanıt sürelerine sahip olmaları nedeniyle çeşitli elektro-optik devrelerde en çok kullanılan maddelerdir. Bu makalede incelenen madde K15 kısaltma adı ile bilinen 4-siyano-4'-pentilbifenil bileşiğidir (Şekil 3).

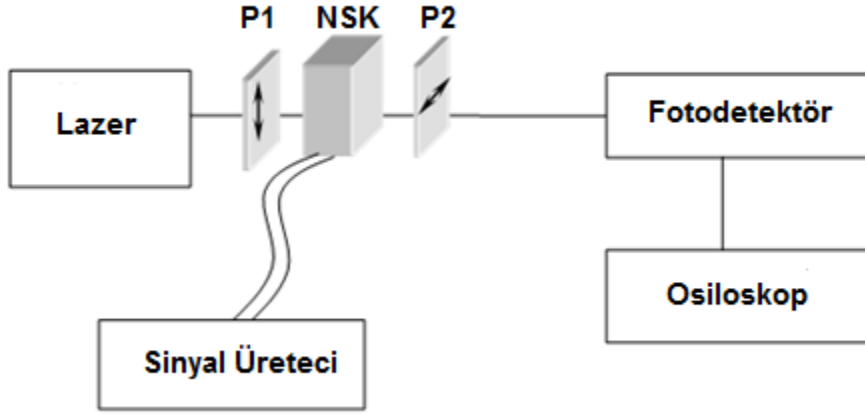


Şekil 3. K15 bileşiğinin molekül yapısı

K15 basit faz geçiş özellikleri gösterir. Maddenin katı fazdan NSK faza geçişi 23 °C'de gerçekleşir ve 34 °C'de ise erime ile izotropik faza geçer. Katı halde iken mikroskobik düzeyde çubuksu moleküller belirli bir doğrultuda yönelmişlerdir. Madde nematik faza geçtiğinde moleküller serbestçe öteleme ve dönme hareketleri yaparlar, ancak yine de ortaklaşa olarak belirli yönelim düzenini korurlar. Madde tümüyle eridiğinde, moleküller arası bağların ortadan kalkması sonucu yönelimsel düzen kaybolur.

Bu çalışmada bükümlü NSK bir aygıtın elektro-optik özelliklerinin araştırılması için, cam levha yüzeylerine bir yüzey etkinlik işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla iletken cam levhalar polimer madde ile kaplanmıştır. Polyimide (PI) en yaygın kullanılan kimyasaldır. PI bir çözücü ile çözünerek cam levha yüzeylerine kaplanır ve daha sonra çözücünün yok edilmesi için bir fırında tavlama yapılır. Polimer kaplanmış yüzeylere sürtme işlemi uygulanarak eş-eksenli bir moleküler yönelim elde edilmiştir. Böylece elde edilen NSK filmde moleküllerin yönelim durumu ve ilgili desenler bir polarize mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Deneyde kullanılan NSK filmin kalınlığı,  $d = 20 \mu\text{m}$  olan mylar şeritler ile sağlanmıştır.

NSK filmin ışık geçirgenliğini incelemek için kullanılan yöntemde, geçirgenlik eksenleri birbirine dik olan P1 ve P2 polarizörleri arasına konulan NSK filme bir sinyal üretici yardımıyla elektrik alan uygulanmıştır. Filminden geçen dalgaboyu  $\lambda = 633 \text{ nm}$  olan He-Ne lazer ışık şiddetindeki değişimler bir fotodedektör yardımıyla osiloskop ekranında analiz edilmiştir (Şekil 4). NSK maddenin aralarına konulduğu levhaların birbirlerine göre 90 derece bükülmesi ile oluşan, ancak her bir film yüzeyinde eş-eksenli bir yönelimin bulunduğu bükümlü NSK filme bir dış elektrik alanı uygulandığında, ortamdaki bükümlü yapının bozulması sonucu, ortamdaki geçen ışığın optik özelliklerinde bir değişim ortaya çıkmaktadır. Bu tür yapıya düşen ışık bükümlü yapıyı izleyecek biçimde ortamdaki ayrılmaktadır. Ancak bir elektrik alan uygulanması durumunda, moleküler yönelim değişir ve çapraz polarizör sistemi arasındaki bu tür bir yapıdan ışık geçişi gerçekleşmez (Lavrentovich ve ark., 2001).

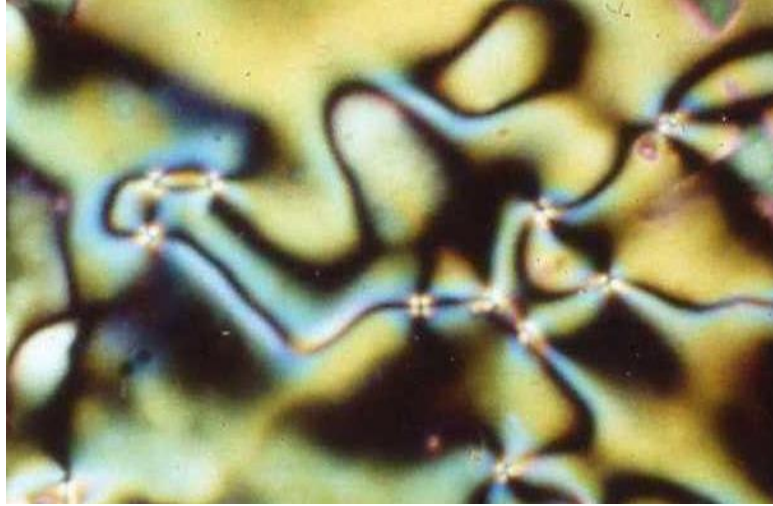


Şekil 4. Deney düzeneği

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kullanılan NSK fazın polarize mikroskop altında gösterdiği ipliksi yapıya ait mikroskop altında gözlenen bir fotoğraf Şekil 5'de verilmektedir. Burada tipik olarak ipliksi desenler nematik yapıya ait Schlieren

desenleri olarak adlandırılır. Gözlenen bu kusurlar çapraz polarizörler arasındaki iplik sayısı ile orantılı olarak tanımlanır. Nematik fazdaki Schlieren desenleri direktör yönelimlerinin süresiz olduğu noktalardır. Polarizörler arasında gözlenen bu noktalar siyah ipliklerle bağlantılıdır (Dierking, 2003).

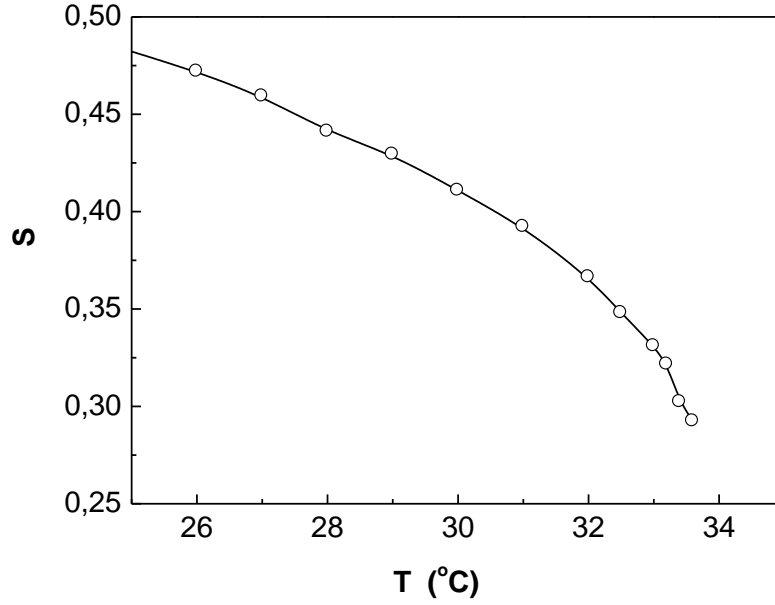


Şekil 5. NSK fazda gözlenen Schlieren deseni.

K15 bileşiği için düzen parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 6'da gösterilmektedir. S makroskopik düzen parametresinin sıcaklıkla azaldığı ve faz geçiş noktasında sıfır olduğu görülmektedir. SK bileşiklerin optik çalışmaları

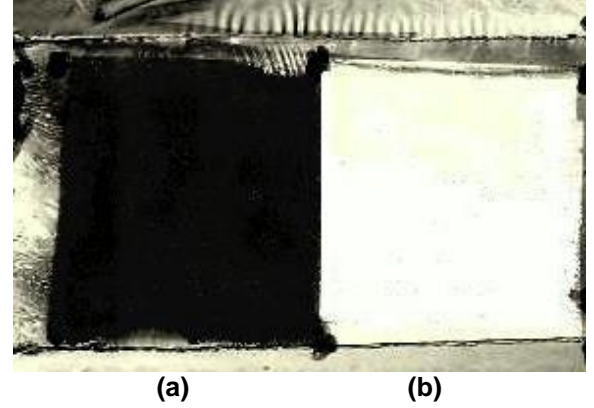
ile ilgili bir çalışmada düzen parametresi kırılma indisi ölçümlerinden yararlanarak hesaplanmaktadır (Thingujam ve ark., 2013).





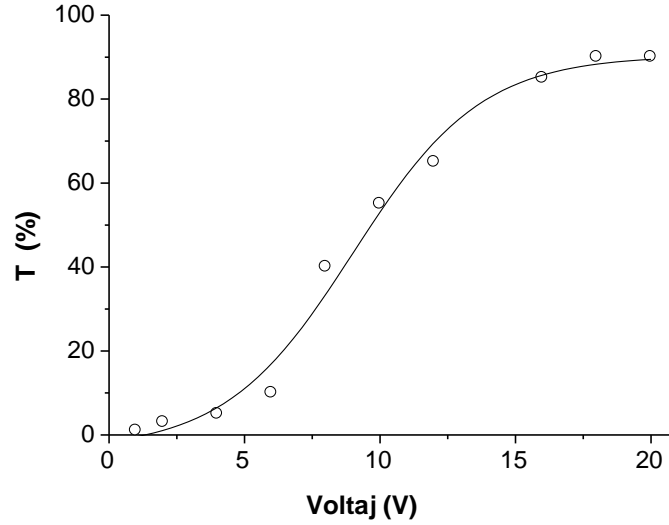
**Şekil 6.** Düzen parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi

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 7(a)'da paralel ve 7(b)'de ise çapraz polarizör sistemi arasındaki NSK filmin makroskopik fotoğrafı gösterilmektedir. Bükümlü NSK filmdeki ışık geçirgenliği, çapraz polarizörler arasına konulan filmin belirli açılarda döndürülmesi ile incelenmiş, filmde geçen ışık şiddetinin her 90 derecelik dönemde maksimum ve minimum değerler gösterdiği belirlenmiştir.



**Şekil 7.** Bükümlü NSK filmin (a) paralel ve (b) çapraz polarizörler arasındaki fotoğrafı.

Kullanılan bükümlü NSK aygıtın paralel polarizörler arasına konulması durumunda, uygulanan voltaja bağlı ışık geçirgenliği (T) Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. NSK aygıtın voltaja bağlı ışık geçirgenliği.

NSK bir aygıtın elektro-optik tepkisini belirten önemli bir nicelik eşik voltajıdır. Eşik voltajı bir NSK aygıtın görüntü kalitesini belirlemek için kullanılan devre parametresi olup, bir pikselin elektrik alanına tepki vermesi için gereken minimum voltaj değeridir. Diğer bir önemli bir nicelik ise tepki süresidir. Voltaj uygulandığında ışık geçirgenliğinin %90'a ulaşması için geçen süre  $\tau_{on}$  ve voltaj kalktığında nematik ortamın önceki durumuna dönmesi için geçen süre  $\tau_{off}$  olarak adlandırılır. Tepki süreleri maddenin esneklik sabiti, viskozitesi gibi fiziksel sabitlerine bağlıdır (Yeh ve Gu, 2010). Bir başka önemli nicelik ise kontrast oranı olup, basitçe bir pikselin elektrik alanı varken ve yokken ışık geçirgenliklerinin oranı olarak tanımlanır. Gösterge amaçlı kullanılan optik aygıtlarda  $\Delta V = V_{90} - V_{10}$  aygıtın görüntü kalitesini belirleyen bir parametre olup, bu değer büyük olması için tercih edilmektedir. Burada  $V_{10}$  ve  $V_{90}$  nicelikleri sırasıyla, bükümlü NSK aygıtın ışık geçirgenliğinin %10 ve %90 olduğu voltaj değerlerini göstermektedir. Bu çalışmada incelenen  $d = 20 \mu\text{m}$  kalınlığındaki bükümlü NSK aygıt için  $\Delta V = 10 \text{ V}$  olarak belirlenmiştir. Kontrast oranı ise 30 civarındadır. Bu deneyde yapılmış gerçekleştirilen aygıt için  $V_{10} = 4 \text{ V}$  civarındadır. Bu değer eşik voltajı olarak seçilebilir. NSK bir aygıtın optik yanıt süresi olarak, kare dalga biçimindeki bir elektriksel sinyale aygıtın verdiği yanıt sinyali incelenerek tepki süresinin ( $\tau_{on}$ ) oda sıcaklığında 0,3 ms değerinde olduğu belirlenmiştir. Tepki süresi sıcaklığın bir fonksiyonu olup, sıcaklıkla azalmakta ve ilgili maddenin madde sabitlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Deneyde elde edilen sonuçların diğer araştırma sonuçlarına

göre farklı olması hazırlanan filmin kalitesi ve moleküler yönelim durumu gibi etkilerden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, NSK aygıtlar günlük yaşantımızda televizyon, bilgisayar ve telefon ekranları gibi görsel amaçlı teknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. NSK bir ortamdaki moleküllerin yönelimi bir dış elektrik alan etkisiyle kontrol edilebilir. Moleküllerin yönelimi maddenin kırılma indisi ve dielektrik sabiti gibi fiziksel özelliklerinde bir değişime yol açar. Böylece elektrik alan etkisine bağlı olarak ortamdaki bir ışık geçişi gerçekleşir.

Bu çalışma, bükümlü NSK aygıtların elektro-optik özellikleri ve uygulama alanları üzerine bir inceleme-araştırma çalışmasıdır. Çalışmada NSK bir aygıtın düzen parametresinin sıcaklığa ve optik geçirgenliğinin ise uygulanan gerilime bağlılığı gibi bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

## KAYNAKLAR

- 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.
- 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.
- De Gennes, P.G., Prost, J. (2003). *The Physics of Liquid Crystals*, Oxford University Press. New York.
- Dierking, I. (2003). *Textures of Liquid Crystals*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

- Guo, L.X., Kwok, H.S. (2000). High performance transmittive bistable twisted nematic liquid display. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 39:1210-1216.
- Gülebağlan S.E., Karapınar, R. (2010). Bükümlü nematik sıvı kristal bir filmin optik tepkisi, *Y.Y.Ü. Fen Bil. Enst. Der.*,15: 1-6.
- Gülebağlan, S.E., Karapınar, R. (2004). Bükümlü nematik sıvı kristal bir filmin incelenmesi. *22. Türk Fizik Kongresi*, 14-17 Eylül 2004. Bodrum.
- Hindmarsh, P.,Owen, G.J., Kelly, S.M., Jackson, P.O., O'Neill, M., Karapınar, R (1999). New coumarin polymers as non-contact alignment layers for liquid crystals. *Mol.Cryst.Liq.Cryst.*, 332: 439-446.
- Karapınar, R. (1994). Sıvı kristaller: Maddenin dördüncü hali, *Y.Y.Ü. Fen Bil. Der.*, 5, 67.
- Karapınar, R. (2015). Photoalignment method in PVCi film, *AASCIT Commun.*, 2, 18-23.
- Kim, H.K., Lee, D.Y., Song, J.K. (2011). Contrast ratio of twisted nematic liquid crystal cells and its improvement. *Liq. Cryst.*. 38:1239-1244.
- Lavrentovich, O. D; Pasini, P.; Zannoni, C.; Zumer, S. (2001), Defects in Liquid Crystals: Computer Simulations, Theory and Experiments, *Springer (NATO Science Series)*, 43: 247, ISBN 978-1-4020-0170-3.
- Liu, Y., Lim, Y.J., Kundu, S., Lee, S.H., Lee, G.D. (2015). Super-fast switching of twisted nematic liquid crystals with a single-wall-carbon-nanotube-doped alignment layer. *J. Korean Phys. Society*, 66: 952-958.
- 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*, 13:5024-5029.
- Oka, S., Kimura, M., Akahane, T. (2002). Electro-optical characteristics and switching behavior of a twisted nematic liquid crystal device based upon in-plane switching. *Appl. Phys.Lett.*, 80: 1847-1849.
- Özcankaya, N., Karapınar, R. (2007). Nematik sıvı kristal bir filmin elektro-optik özelliklerinin incelemesi, *Y.Y.Ü. Fen Bil. Enst.Der.*,12:16-23.
- 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.
- Thingujam K. D. et al. (2013). Optical studies of a liquid crystalline compound, *Liq. Cryst.* 40: 810-816.
- Wang C.T., Wu, Y.C., Lin, T.H. (2013). Photo-switchable bistable twisted nematic liquid crystal optical. Switch. *Optics Express*, 21: 4361-4366.
- 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.
- Yeh, P., Gu, C. (2010). Optics of Liquid Crystal Displays, *John Wiley & Sons*, New Jersey.