

AKÜ FEMÜBİD 18 (20118) 017205 (403-411)

AKU J. Sci. Eng. 18 (2018) 017205 (403-411)

DOI: 10.5578/fmbd.66865

Mavi Faz Kolesterik Sıvı Kristalinin Termal Kararlılığı ve Mekanik Davranışları Üzerine Polimer Çeşitliliğinin Etkisi

Emine Kemiklioğlu¹, Enver Atik², Can Çivi²¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Manisa.²Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa.

e-posta: emine.kemiklioglu@cbu.edu.tr.

Geliş Tarihi:16.08.2017

; Kabul Tarihi:20.04.2018

Özet

Anahtar kelimeler

sıvı kristal,
mavi faz,
polimer,
mekanik özellik.

Bu çalışma kapsamında, ilk olarak, mavi faz kolesterik sıvı kristal örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler içerisinde farklı konsantrasyonlarda ve farklı kimyasal yapılardaki çeşitli polimerler eklenerek UV (ultraviyole) ışık altında polimerizasyonları yapılmıştır. UV ışığının yoğunluğu, polimerizasyon süresi polimerizasyonun tamamlanması açısından oldukça önemli olduğu için polimerizasyon koşulları optimize edilmiştir. Polimerizasyonları tamamlanan numunelerin termal kararlılıkları, mekanik davranışları incelenmiştir. Polimerizasyon sonucunda incelenen numunelerde termal kararlılığın ve mekanik dayanıklılığın, kullanılan polimerin bir fonksiyonu olarak değiştiği görülmüştür.

The Effect of Polymer Type on the Thermal Stability and Mechanical Behavior of Blue Phase Cholesteric Liquid Crystal

Abstract

Keywords
liquid crystal,
blue phase,
polymer,
mechanical properties

In this study, blue phase liquid crystal mixtures were formulated as a first step. These specimens were polymerized via UV (ultraviolet) light after the polymers with different functionality at the different concentrations were added into the blue phase liquid crystals mixtures. Polymerization conditions have been optimized since the intensity of the UV light is very important in completing the polymerization. The thermal stability and mechanical behavior of the polymerized samples were investigated. It has been observed that the thermal and mechanical stabilities of the samples changed as a function of the polymer used.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Sıvı kristaller; uzun çubuksu yapıdaki moleküller olup, doğada katı ve sıvı fazlar arasında bir ara faz olarak gözlemlenebilen kimyasal maddelerdir. Anizotropik kristal yapıları katıların ve izotropik sıvıların özelliklerini taşımasının yanı sıra, onlardan farklı olarak katı ve sıvılarda gözlemlenemeyen bazı özelliklere de sahip olan sıvı kristaller; genellikle çubuk şeklindeki moleküllerin belirli bir yöndeki dizilişleriyle oluşurlar. Sıvı kristallerin bu dizilişleri elektrik, magnetik veya mekanik güç kullanılarak değiştirilebilir. Moleküllerinin bu belirli yöndeki dizilişlerinin bir fonksiyonu olarak dışarıdan bir elektrik akımı ile uyarıldığında üzerinden geçen ışığın özelliğini değiştirme özelliğine sahiptir. Bu özelliklerine dayanılarak günümüzde ışık geçirgenliği

ayarlanabilir pencerelerin yanı sıra televizyon, telefon, tablet bilgisayarlar, yazılabilir elektronik tablet ve elektronik kitap gibi dokunmatik ekranlı cihazlarda LCD ekran ismiyle önemli bir yer işgal eden sıvı kristaller, kendi içinde temelde termotropik ve liyotropik olmak üzere iki ana faz içerirler. Faz değişimi liyotropik sıvı kristallerde konsantrasyon ve sıcaklığa bağlı olarak gerçekleşirken, termotropik sıvı kristallerde faz değişimi sadece sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık değişimine karşı hassas olan ve artan sıcaklıkla sıvının, azalan sıcaklıkla da katının özelliklerine benzer özellikler gösteren termotropik sıvı kristal molekülleri de kendi içerisinde smektik, nematik ve kiral nematik (kolesterik) fazlar olmak üzere de değişik fazlar içerir. Bununla birlikte, termotropik sıvı kristal fazı içerisinde, artan sıcaklıkla birlikte,

smektik veya kolesterik faz ile izotropik faz arasında çok dar bir sıcaklık aralığında görülen ve sıvı kristal moleküllerinin kendiliğinden çifte sarmal yapı oluşturmasıyla meydana gelen mavi faz kolesterik sıvı kristaller, üç boyutlu kübik simetrisinin sonucu optikçe aktif olan maddelerdir.

Mavi faz kolesterik sıvı kristaller kendiliğinden organize olabilen yapılar olmakla birlikte, kiral nematik (kolesterik) ve izotropik fazlar arasında çok dar bir sıcaklık aralığında gözlemlenebilmektedirler (Kitzerow,2009). Bu sıcaklık aralığının nedeni ise, üç boyutlu yapıdaki mavi faz kolesterik sıvı kristalinin topolojik açıdan kusurlara sahip olması, bu kusurlardaki yüksek serbest enerjinin molekülü faz geçişine zorlamasıdır. Mavi faz kolesterik sıvı kristaller, elektrik akımına karşı hızlı cevap vermesi, geniş ve simetrik bir görüş açısı sağlaması ve kullanıldıkları cihazın üretim aşamasında herhangi bir yüzey modifikasyonu işlemi gerektirmemeleri nedeniyle çok çeşitli teknolojik uygulamalarda geniş çapta kullanılmaktadır. Bununla birlikte, mavi faz kolesterik sıvı kristallerin gözlemlenme sıcaklıklarının dar olması, bu fazın daha geniş alandaki kullanımına bir kısıtlama getirmektedir (Coles ve Pivnenko vd. 2005, Choi vd 2012, Kikuchi vd 2002). Son zamanlarda, mavi faz kolesterik sıvı kristalinin sıcaklığını genişletmek amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılan iki farklı metod oldukça dikkat çekmiş ve sahip oldukları iyi elektro-optik özelliklerinden dolayı bu fazın optik, fotonik ve bilgi ekranlarında kullanılmasına ilişkin yapılan çalışmaların da artmasına öncülük etmiştir.

Bu metodlardan ilki, kullanılan küçük miktardaki polimer moleküllerini mavi faz kolesterik sıvı kristalinin kusur noktalarında polimerize ederek, polimer stabilizasyonu yöntemi ile bu fazın sıcaklık aralığını genişletmeyi başaramıştır. Bu yöntem sayesinde 1-2 K sıcaklık aralığına sahip olan ve elektrik akımına karşı mikrosaniyede cevap veren mavi faz kolesterik sıvı kristali 60 K sıcaklık aralığına kadar genişletilebilmiştir (Kikuchi vd 2002). İkinci metodda ise, bimesojenik yapıdaki sıvı kristal karışımlarının kullanılması ile kusur noktaları stabilize edilmiş ve mavi faz kolesterik sıvı kristalin sıcaklık aralığı 50°C'nin üzerinde genişletilebilmiştir (Suda vd 2007). Bu metodlardan birincisi, polimer moleküllerinin kusur noktalarında toplanarak polimerleşme sırasında oluşan polimer ağlarının dislokasyon noktalarını sarmaladığını ve böylelikle hareketi polimer ağı tarafından engellenen mavi faz kolesterik sıvı kristalinin faz geçişinin zorlaştığı ve bu

yüzden sıcaklık aralığının genişlediğini öngörmektedir (Suda vd 2007, Gerber 1985, Hisakado vd 2005, Hussein vd 2011, Hikmet 1990, Kemiklioğlu vd 2014, Kemiklioğlu vd 2014SID). Kikuchi ve ark. mavi fazın sıcaklık aralığını genişletmek amacıyla oluşturdukları bu yöntemle 'Polimer Stabilizasyonu Yapılmış Mavi Faz' (PSBP: Polymer Stabilized Blue Phases) adını vermişler ve bu yapı içerisinde, dislokasyon noktalarında oluşan polimer ağını deneysel olarak elektron hızlandırıcı küçük açı X- ışınları dağılımı ölçümleri sonucunda ispatlamışlardır (Gerber 1985). Kikuchi'nin çalışması bu fazın sıcaklık aralığını geniş ölçüde genişletebilmiş fakat deneylerde kullanılan sıvı kristalin ticari olarak satılmamasından dolayı uygulamaya geçirilememiştir. Bu durum, araştırmacıları mavi faz kolesterik sıvı kristalinin sıcaklığını genişletmek amacıyla farklı çalışmalar yapmaya yöneltmiştir (Suda vd 2007, Gerber 1985, Hisakado vd 2005, Hussein vd 2011, Hikmet 1990, Kemiklioğlu vd 2014, Kemiklioğlu vd 2014SID, Iwata vd 2009, Kikuchi vd 2004, Gardiner vd 2011, Lin vd 2010, Kemiklioğlu ve Chien 2016, Wang vd 2013, Gandhi ve Chien 2017, Martinez-Gonzalez vd 2017). Yapılan çalışmalarda, polimerlerin stabilizasyonunda oldukça önem taşıdığı ve aynı zamanda dislokasyon noktasını kaplayan polimerin sıvı kristale bağlanma kuvvetinin değişmesine bağlı olarak, söz konusu fazın çalışma voltajının azaldığı gözlemlenmiştir (Lin vd 2010). Bununla birlikte, nematik sıvı kristallerle karşılaştırıldığında, elektrik akımı altında dizilimini çok daha kısa tamamlayan mavi fazlar, görünür bölgede seçici yansıma vermesi, optikçe izotropik olması gibi mükemmel elektro-optik özelliklere sahiptir (Yang ve Yang 2011). Ayrıca, çifte sarmal yapılarından dolayı, mavi faz sıvı kristallerin vizkozitesi nematik sıvı kristallerinkinden 10^6 kez daha fazladır. Bununla birlikte düşük vizkoziteye sahip sıvı kristaller, sıvı kristal ekranlara sahip televizyon, telefon ve bilgisayar ekranları, yüksek çözünürlüklü yazılabilir ekranlar gibi cihazların montajlanması esnasındaki mekanik etkiler altında, özellikle montajlama noktalarına yakın yerlerde görüntü kalitesini kötü yönde etkileyen çeşitli kusurlar oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yüksek vizkoziteye ve üç boyutlu kübik yapıya sahip olan mavi faz kolesterik sıvı kristalinin

sıcaklık aralığı çeşitli polimerlerle genişletilmeye çalışılmış ve oluşan polimer ağlarının, mavi faz kolesterik sıvı kristalinin mekanik dayanımına etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Mavi faz sıvı kristal numuneleri; 5CB olarak adlandırılan 4-Siyano-4'-pentilbifenil (Merck) nematik sıvı kristali ve R811 olarak adlandırılan R - oktan - 2 - il 4 - ((4- (heksiloksi) benzoil) oksi) benzoat (Merck) kiral maddesi kullanılarak hazırlanmıştır. Farklı konsantrasyon oranlarında nematik sıvı kristal ve kiral madde içeren mavi faz sıvı kristal numunelerinin içerikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Numunelerdeki mavi faz gözlemlenme sıcaklığını artırabilmek amacıyla kullanılan kiral madde çeşidi Numune 4*'da ayrıca değiştirilmiş olup, bu numune için CB15 olarak bilinen 4-siyano-4'-(2-metilbutil)-bifenilen kiral maddesi kullanılmıştır. Ayrıca, deneyler sırasında kullanılan tüm kimyasal malzemeler analitik saflıkta olup, bu malzemeler ticari olarak temin edilmiştir. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla, söz konusu numuneler 45 dk süresince 1500 rpm hızındaki vortex karıştırıcı yardımıyla karıştırıldıktan sonra ultrasonik su banyosunda 50°C sıcaklıkta 10 dk daha karıştırılmıştır. Uygun karışım elde edildikten sonra karışım içerisine çeşitli fonksiyonellikteki (tek, çift ve üç fonksiyonel gruba sahip) monomerler belirli yüzde ağırlıklarında eklendikten sonra ultraviyole (UV) ışık altında polimerizasyon reaksiyonları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Oluşturulan numunelerin içerikleri.

| Numune | % Nematik Sıvı Kristal (5CB) | % Kiral Madde (R811) |
|-----------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | 50 | 50 |
| 2 | 55 | 45 |
| 3 | 60 | 40 |
| 4 | 70 | 30 |
| 4* ¹ | 70 | 30 |

¹ 4* numunesi kiral madde olarak CB15 içermektedir.

Hazırlanan numuneler, elektrot kaplı (Indium Tin Oxide; ITO) cam hücreler içerisine yerleştirilmiştir. Cam hücreler; ITO elektrot kaplı, 0.9 mm kalınlığında ve 20x20 mm ebadındaki iki adet camın üst üste yerleştirildikten sonra UV ışığı altında küreleşebilen

bir yapıştırıcı yardımıyla birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Oluşturulan hücreler 40°C sıcaklıktaki ısıtıcı tabla üzerine yerleştirildikten sonra, otomatik bir pipet yardımıyla alınan bir damla mavi faz kolesterik sıvı kristal numunesi cam hücrenin bir kenarına damlatılarak kapiler etki yardımıyla hücrenin içerisine girmesi sağlanmıştır. Hücreler 40°C sıcaklıkta numune ile doldurulduktan sonra ısıtıcı kapatılarak, cam hücre içerisine yerleştirilmiş olan numunenin oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Hazırlanan beş farklı numunenin bulunduğu beş farklı hücre için aynı işlem ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonrasında bu hücreler ayrı ayrı elektronik kontrollü ve programlanabilir ısıtıcı (Linkam LTS420) içerisine yerleştirildikten sonra polarize optik mikroskop (POM) (Nikon) üzerine yerleştirilerek, numunelerin yapısal değişimleri ve faz değişim sıcaklıkları belirlenmiştir. Elde edilen mikroskop görüntülerine göre, en yüksek çalışma aralığına sahip olan numune 1 içerisine ağırlıkça belirli konsantrasyonlarda 4-Hidroksibütil akrilat (4-HBA), Hekzan 1,6- diol diakrilat (HDDA), ve Trimetilpropan triakrilat (TMPTA) monomerleri eklenerek üç farklı numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üç farklı hücre içerisine yerleştirildikten sonra 30 dk süresince 365 nm dalga boyundaki ve 10 mW/cm² ışık yoğunluğundaki ultraviyole (UV) ışık kaynağı altında bekletilerek polimerizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Polimerizasyon sıcaklığı olarak mavi faz yapısının görüldüğü sıcaklık değeri kullanılmıştır. Polimerizasyon sonucu oluşması beklenen polimer ağının, mavi fazın kübik yapısı içerisindeki moleküllerinin etrafını farklı şekillerde sarak, faz geçiş sıcaklıklarını değiştirerek mavi faz sıvı kristalinin gözlemlenme sıcaklık aralığını, termal kararlılığını artırması beklenildiğinden dolayı, polimerizasyon işlemi gerçekleştirilen üç hücrenin çalışma sıcaklık aralıkları tekrar incelenmiştir.

Termal kararlılıkları belirlenen polimer stabilizasyonu yapılmış olan mavi faz sıvı kristal numunelerinin mekanik dayanıklılıklarının belirlenebilmesi amacıyla 100 kN kapasiteli SHIMADZU-AG marka cihaz yardımıyla dakikada 0,1 mm hız ile üç nokta eğme testi ASTM C 158 standardına uygun olarak yapılmış ve her bir hücrenin uygulanan mekanik kuvvetlere karşı farklı mukavemet gösterdiği

gözlemlenmiştir. Gerekli testler, Şekil 1’de gösterildiği gibi numune boyutlarına uygun şekilde üretimi yaptırılan aparat yardımıyla gerçekleştirilmiş olup, numuneler, ortalama 2 mm kalınlığa ve 20 mm kenar uzunluklarına sahiptir. Deney esnasında çeneler arasındaki açıklık 14 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Üç nokta eğme aparatı ile yapılan testlerin deneysel gösterimi.

3. Bulgular

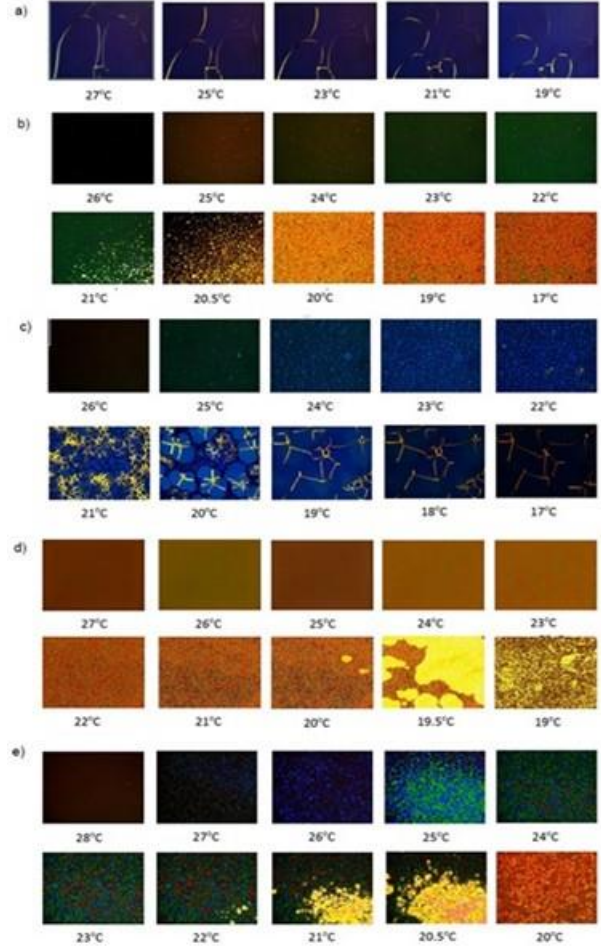
3.1. Sıvı Kristal Numunelerinin Çalışma Sıcaklık Aralığının Belirlenmesinin Sonuçları

Mavi faz sıvı kristal numunelerini içeren hücreler sıcaklık kontrollü ve kapaklı ısıtıcı içerisine yerleştirildikten sonra bu ısıtıcı, polarizör ve analizör arasındaki açısının 90° olduğu polarize optik mikroskop altına yerleştirilmiştir. Sıcaklık dakikada 0.5°C artırılarak, mavi faz sıvı kristal numunelerinin yapısal değişiklikleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak polarize optik mikroskobun yansıma modunda fotoğraflanmıştır. İlk olarak, polimer içermeyen beş farklı saf mavi faz sıvı kristal numunesinin sıcaklık aralığı belirlenmiş ve faz geçiş sıcaklıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Polimer içermeyen mavi faz sıvı kristal numunelerinin faz geçiş sıcaklıkları.

| Numune | İzotropik faza geçiş sıcaklığı (°C) | Kolesterik faza geçiş sıcaklığı (°C) |
|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 30 | 27 |
| 2 | 26 | 20 |
| 3 | 26 | 19 |
| 4 | 27 | 19 |
| 4*1 | 28 | 20 |

Tablo 2’ de izotropik ve kolesterik fazlara geçiş sıcaklıkları verilen numunelerin, değişen sıcaklıkla birlikte yapılarında gözlemlenen ve POM ile belirlenerek fotoğraflanan değişiklikler Şekil 2’ de verilmektedir.



Şekil 2. a) numune 1’in b) numune 2’nin c) numune 3’ün d) numune 4’ün ve e) numune 4*’in, polarize optik mikroskop altında, elektronik kontrollü ve programlanabilir ısıtıcı içerisinde soğuma işlemi sırasındaki fotoğrafları.

Şekil 2’de de görüldüğü üzere, numune 1’deki kiral madde konsantrasyonu, mavi faz kolesterik sıvı kristalini oluşturmak için yeterli küçüklükte sarmal bir yapı oluşturamadığı için numune içerisinde sadece saf kolesterik yapı gözlemlenmiş, mavi faz kolesterik yapısı gözlemlenememiştir. Bunun üzerine, numune içerisindeki kiral madde konsantrasyonu %5 azaltılarak, numune 2 oluşturulduğunda, mavi faz sıvı kristali 50°C ile 59°C sıcaklık aralığında gözlemlenmiştir. Oluşan yeşil renkten dolayı, numune 2’nin dalga boyu aralığının yeşil dalga boyunda olduğu gözlemlenmiştir. Ancak çalışma koşullarını kolaylaştırmak açısından, gözlemlenen sıvı kristalin oda sıcaklığında

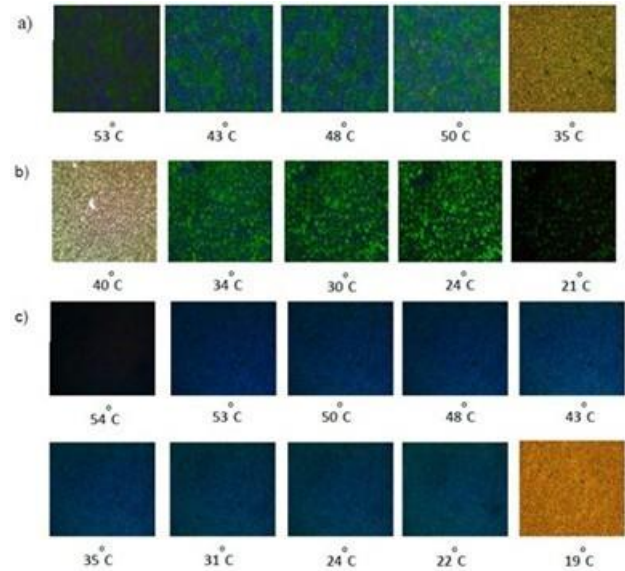
gözlemlenmesi istenildiğinden, sıcaklık aralığını oda sıcaklığına kaydırabilmek amacıyla %40 kiral madde içeren numune 3 hazırlanmıştır. Şekil 2c'de de görüldüğü üzere, mavi fazın görüldüğü sıcaklık aralığı 41.2°C ile 37°C arasında kaydedilmiştir ve bu numunede oluşan renk tamamen mavi renk dalga boyundadır. Kiral madde konsantrasyonunun %45 olduğu numune 4 içerisinde ise, mavi-yeşil ve kırmızı renkli mavi faz sıvı kristallerinin oluşturduğu mozaik olarak adlandırılan bir yapı gözlemlenmiştir. Numune içerisinde oluşan 3 boyutlu kübik yapıdaki sıvı kristal numunelerinin rastgele dağılımları ve oluşan molekül boyutlarının farklı olması numuneyi mozaik yapıda olmaya yöneltmiştir. Sıvı kristalin gözlemlenme sıcaklık aralığı diğer numunelere kıyasla, daha düşük sıcaklıklara kaymış ve 10°C ile 18°C sıcaklık aralığında gözlemlenmiştir. Numune 4*'de ise mavi faz 52°C ile 44.5°C arasında gözlemlenmiştir. 52°C ile 49°C sıcaklık değerleri arasında mavi renk, 49°C ile 48°C sıcaklık değerleri arasında mavi ile yeşil renk gözlemlenmiş olup ve 47°C ile 45°C sıcaklık aralığında ise mozaik yapının oluşturduğu mavi-yeşil-kırmızı renkler gözlemlenmiştir.

Yapıları ve sıcaklık aralıkları gözlemlenen numunelerden numune 3; tek renkte ve mavi dalga boyunda bir görüntüye sahip olduğu için içerisine polimer eklenerek polimer stabilizasyonu yapılmış ve sıcaklığın polimer etkisiyle ne kadar arttığı incelenmiştir.

3.2. Farklı Fonksiyonelliğe Sahip Olan Monomerlerle Polimer Stabilizasyonu Yapılan Sıvı Kristal Numunelerinin Çalışma Sıcaklık Aralığının Belirlenmesinin Sonuçları

Numune 3 içerisine ağırlıkça %5.4 konsantrasyonunda sırayla Hekzan 1,6- diol diacrylate (HDDA), 4-Hydroxybutyl Acrylate (4-HBA) ve Trimetilpropan triakrilat (TMPTA) monomerleri eklenerek, aynı polimer konsantrasyonunda farklı polimerleri içeren 3 farklı numune hazırlanmıştır. Polimer stabilizasyonu yapılacak olan numunelerin hazırlanması için Numune 3 deki nematik sıvı kristal ve kiral madde miktarları kullanılarak numuneler vortex karıştırıcı yardımıyla 45 dk süresince 1500 rpm hızında karıştırıldıktan sonra su banyosunda 50°C de 10 dk daha karıştırılarak homojen dağılım elde edilmiştir. Hazırlanan üç farklı şişedeki karışımların içerisine sırayla %5.4 konsantrasyonunda HDDA, HBA ve TMPTA

eklenerek, vortex karıştırıcıda aynı hız ayarında 1 saat daha karıştırılmıştır. Hazırlanan üç farklı numune üç farklı hücre içerisine yerleştirilerek, 365nm dalga boyundaki ve 10 mW/cm² ışık yoğunluğundaki ultraviyole (UV) ışık kaynağı altında polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi için 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Polimerizasyon sıcaklığı olarak mavi faz yapısının görüldüğü, ara sıcaklık olan, 38°C sıcaklık değeri kullanılmıştır. Polimerizasyon sonucu, polimer ağının, mavi fazın kübik yapısı içerisindeki moleküllerinin etrafını sararak, sıcaklık aralığını genişletmesi beklenildiği için polimerizasyon işlemi gerçekleştirilen üç hücrenin çalışma sıcaklık aralıkları tekrar incelenmiştir. Polimerizasyon sonucu elde edilen mavi faz sıvı kristalinin, polarize optik mikroskop altındaki fotoğrafları Şekil 3'de verilmektedir.

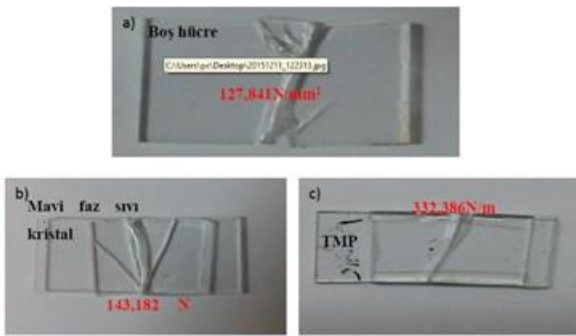


Şekil 3. Polimer stabilizasyonu yapılmış a) %5.4 HDDA, b) %5.4 HBA ve c) %5.4 TMPTA içeren numunelerin elektronik kontrollü ve programlanabilir ısıtıcı içerisinde soğuma işlemi sırasında optik mikroskop ile elde edilen fotoğrafları.

HDDA iki fonksiyonelli, HBA tek fonksiyonelli, TMPTA'nin üç fonksiyonelli gruplara sahip olması polimer stabilizasyonu üzerine etki etmiş ve üç fonksiyonelli monomer olan TMPTA, mavi fazın çalışma sıcaklığının daha geniş bir sıcaklık aralığına kaymasına neden olmuştur.

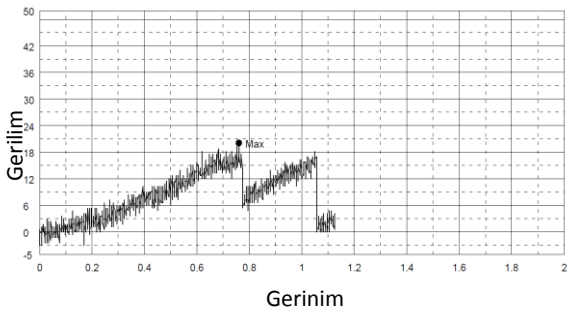
3.3. Polimer Stabilizasyonu Yapılmış Mavi Faz Sıvı Kristal Numunesinin Mekanik Etkilere Karşı Direncinin Ölçülmesinin Sonuçları

Deneyleri gerçekleştirmek üzere bir tane hücre tamamen boş olarak kullanılmış, böylelikle numune içermeyen camın kırıldığı gerilme-gerinim noktası bulunmuştur. Mavi faz sıvı kristal ve polimer stabilizasyonu yapılmış mavi faz sıvı kristalin mekanik dayanımlarını karşılaştırabilmek amacıyla, bir hücrenin içerisine sadece polimer içermeyen mavi faz sıvı kristal numunesi (tablo 2'deki numune 3) yerleştirilmiş, diğer bir hücrenin içerisine ise polimer stabilizasyonu yapılmış mavi faz sıvı kristal numunesi yerleştirilmiştir. Yukarıda sözü geçen numunelerin hücrelerinin sırasıyla 127,841N/mm², 143,182 N/mm², 332,386 N/mm² gerilme altında, Şekil 4'de de görüldüğü gibi orta kısımlarında bir kırılma gözlemlenmiştir.



Şekil 4. a) Boş hücrenin, b) Mavi faz sıvı kristal numunesini içeren hücrenin ve c) TMPTA monomeri ile stabilizasyonu yapılmış mavi faz kolesterik sıvı kristal numunesini içeren hücrenin mekanik etkiye karşı dayanımları.

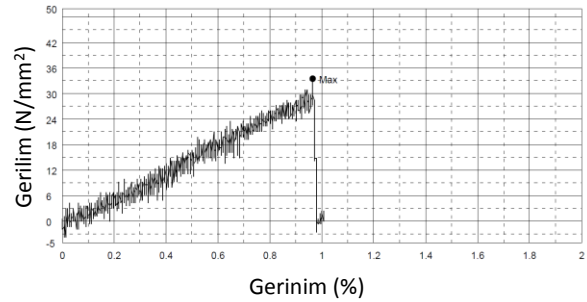
Mekanik testler sırasında her bir numune için gerilim-gerinim grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5. Boş hücrenin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı.

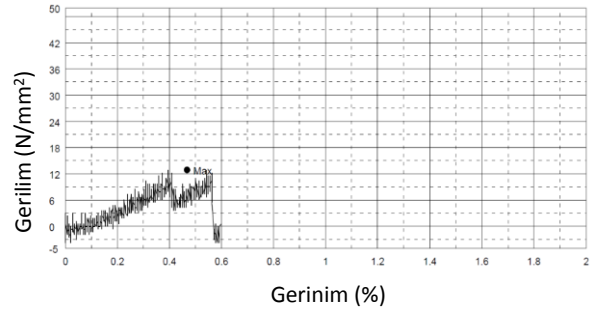
Boş hücrenin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı Şekil 5'de verilmektedir. Burada, söz konusu numunenin 20 MPa'lık gerilme altında hasara uğradığı

görülmektedir. Toplam gerinimi de %0.75 civarındadır. Bu nedenle, bu numunenin rijitliğinin diğer numunelere göre daha iyi olduğu söylenebilir.



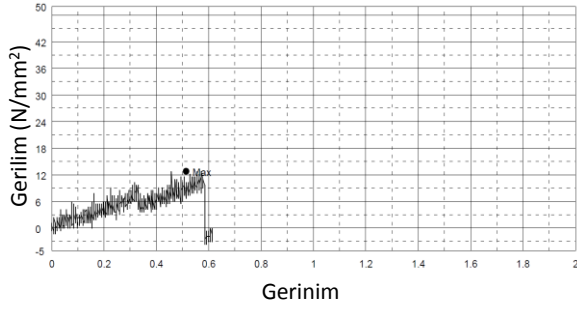
Şekil 6. Mavi faz kolesterik sıvı kristalin numunesinin hücrenin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı.

Mavi faz kolesterik sıvı kristalin numunesinin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı Şekil 6'da verilmektedir. Numunenin 33 Mpa'lık gerilme altında hasara uğradığı gözlemlenmektedir. Gerinimi ise %1 civarındadır.



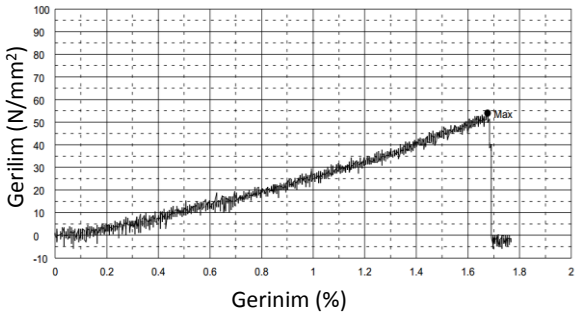
Şekil 7. HDDA polimeri ile stabilizasyonu yapılmış mavi faz kolesterik sıvı kristal numunesinin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı.

HDDA polimeri ile stabilizasyonu yapılmış mavi faz kolesterik sıvı kristal numunesinin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı Şekil 7'de verilmekte olup, 12 MPa'lık gerilme altında hasara uğradığı görülmektedir.



Şekil 8. HBA polimeri ile stabilizasyonu yapılmış mavi faz kolesterik sıvı kristal numunesinin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı.

Şekil 7 ve 8 de, numune 3 ve 4'ün mekanik özelliklerinin birbirine benzediği görülmektedir. Buradan her iki numunenin de rijitliklerinin mavi faz kolesterik sıvı kristalin numunesine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 9. TMPTA polimeri ile stabilizasyonu yapılmış mavi faz kolesterik sıvı kristal numunesinin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı.

TMPTA polimeri ile stabilizasyonu yapılmış mavi faz kolesterik sıvı kristal numunesinin eğilme testinden elde edilen gerilme – gerinim (% şekil değiştirme) diyagramı Şekil 9'da verilmektedir. Burada, numunenin %1.7 değerine kadar esnediği ve yaklaşık 55Mpa gerilme altında koptuğu görülmektedir. Test edilen numuneler içerisinde, Tablo 3' te görüldüğü gibi dayanımı ve esnekliği en yüksek olan numunedir. Bu nedenle, bu numunenin darbelere karşı sönümlenme direnci de diğerlerine göre daha fazladır. Bu dayanımın da, numune içerisinde kullanılan polimerin 3 fonksiyonel

olmasında dolayı oluşturacağı daha kuvvetli ve daha yaygın polimer ağdan geldiği düşünülmektedir.

Tablo 3. Mekanik testlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

| Numune | Maksimum dayanım (MPa- N/mm ²) | Maksimum uzama (%) | Enerji (Tokluk) (Joule) |
|--------|--|--------------------|-------------------------|
| 1 | 17,02 | 0,605 | 0,004455 |
| 2 | 24,04 | 0,93 | 0,007155 |
| 3 | 13,13 | 0,595 | 0,00206 |
| 4 | 14,32 | 0,515 | 0,00325 |
| 5 | 35,21 | 1,12 | 0,015499 |

4. Tartışma ve Sonuç

Numune formülizasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, değişik oranlarda kullanılan kiral madde ile oda sıcaklığında da çalışabilen mavi faz sıvı kristal numunesi başarıyla hazırlanabilmiştir. Bu çalışma kapsamında, daha önce farklı yapıdaki polimer ilavesi ile mavi faz sıvı kristalinin gözlemlenme sıcaklık aralığını genişletmeye yönelik yapılan çalışmaların yanı sıra ilk kez polimer stabilizasyonu yapılmış olan mavi faz sıvı kristal numunelerinin oluşturduğu mekanik dayanımlar belirlenmiş ve bu dayanımlar birbirleriyle mukayese edilmiştir. Değişen polimer fonksiyonelliğinin mavi faz sıvı kristalinin termal stabilitesi üzerine etkisi incelenerek en fazla çalışma sıcaklığı aralığına sahip olan numune belirlendikten sonra, mekanik etkiler incelendiğinde artan polimer fonksiyonelliğinin numunelerin mekanik direncini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

- Mavi faz sıvı kristal içerisine eklenen yüksek fonksiyonelliğe sahip olan monomerlerin polimerizasyon sonrasında mavi fazın gözlemlenme sıcaklığını, termal kararlılığını, arttırdığı görülmüştür.
- Mavi faz sıvı kristal içerisine tek fonksiyonelli monomer eklenmesi ile mikroskop görüntülerinde mavi-yeşil karışımında bir rengin

oluştugu gözlemlenirken, çift fonksiyonelli monomer eklenmesi neticesinde yeşil rengin oluştuğu, üç fonksiyonelli monomer eklenmesiyle de mavi rengin oluştuğu gözlemlenmiştir. Böylelikle, monomer fonksiyonelliğinin mavi faz sıvı kristalinin sarmal adım boyuna ve Bragg yansımalarına etkisi olduğu görülmektedir.

- Polimer içeren sıvı kristal numune hücrelerinin uygulanan gerilime karşı dayanımlarının polimerin fonksiyonelliğinin artması ile arttığı gözlemlenmiştir. Mavi faz sıvı kristal içerisine eklenen üç fonksiyonelliğe sahip olan TMPTA monomeri, polimer stabilizasyonu sırasında daha yoğun bir ağ oluşturmuş, bu da hücrenin uygulanan gerilime karşı dayanıklılığını arttırmıştır.
- Tek ve çift fonksiyonel gruba sahip olan monomerlerin gerilime karşı dayanıklılığının düşmesine neden olmaktadır. Dayanımın düşme nedeni, çift sarmal yapıya sahip olan mavi faz sıvı kristal içerisinde oluşan kusur boşluklarının tamamının tek ve çift fonksiyonel gruba sahip olan monomerler tarafından yeterince doldurulamamasından kaynaklanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından, 2015-42 numaralı 'Nematik ve Mavi-Faz Sıvı Kristaller İçeren Cihazların Elektro-optik ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi ve Karşılaştırılması' isimli BAP-Altyapı projesi kapsamında desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- Kitzerow H.-S., 2009. In Blue phase come of age: a review. L.-C. Chien and M.-H. W.,(Editörler), *Proceedings of SPIE Emerging Liquid Crystal Technologies*, **7232**, 723205.
- Coles HJ, and Pivnenko MN., 2005. Liquid crystal blue phases with a wide temperature range. *Nature*, **436**, 997-1000.
- Choi H., Higuchi H, Ogawa Y., and Kikuchi H., 2012. Polymer-stabilized supercooled blue phase. *Appl. Phys. Lett.*, **101**, 131904 .
- Kikuchi H, Yokota M, Hisakado Y, Yang H, and Kajiyama T., 2002. Polymer-stabilized liquid crystal blue phases. *Nat. Mater.*, **1**, 64-72.
- Suda M., Kameyama N., Suzuki M., Kawamura N., Einaga Y., 2007. Reversible Phototuning of Ferromagnetism at

Au-S Interfaces at Room Temperature. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**, 160-163.

Gerber, P. R., 1985. Electro-optical effects of a small-pitch blue phase system. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **116**, 197-206.

Hisakado Y, Kikuchi H, and Nagamura T., 2005. Large electro-optic kerr effect in polymer-stabilized liquid-crystalline blue phases. *Adv. Mater.*, **17**, 96-98.

Hussain Z, Masutani A, Danner D, Pleis F, Hollfelder N, Nelles G, and Kilickiran P., 2011. Ultra fast polymer network blue phase liquid crystals. *J. Appl. Phys.*, **109**, 114513-4.

Hikmet R. A. M., 1990. Electrically induced light scattering from anisotropic gels. *J. Appl. Phys.*, **68**, 4406-4412.

Kemiklioglu E., Hwang J.-Y. and Chien L.-C., 2014. Stabilization of Cholesteric Blue Phases Using Polymerized Nanoparticles. *Physical Review E*, **89**, 042502.

Kemiklioglu E., Chien L.C., Haseba Yasuhiro, 2014. Polymer Effect on Polymer-Stabilized Blue Phase Liquid Crystals. *SID Symposium digest of technical papers*, **45** (1).

Iwata T., Suzuki K., Amaya N., Higuchi H., Masunaga H. Sasaki S., and Kikuchi H., 2009. Control of cross-linking polymerization kinetics and polymer aggregated structure in polymer-stabilized liquid crystalline blue phases. *Macromolecules*, **42**, 2002-2008.

Kikuchi H., Hisakado Y., Uchida K., Nagamura T., Kajiyama T., 2004. Fast electro-optical effect in polymer-stabilized blue phases. *Proceedings of SPIE*, **5518**, 182-190.

Gardiner D. J., Morris S. P., Castles F., Qasim M. M., Kim W. S., Choi S. S., Park H. J., Chung I. J., Coles H. J., 2011. Polymer stabilized chiral nematic liquid crystals for fast switching and high contrast electro-optic devices. *Appl. Phys. Lett.* **98**, 263508-3.

Gandhi S. S., Chien L.C., 2017. Unraveling the Mystery of the Blue Fog: Structure, Properties, and Applications of Amorphous Blue Phase III. *Adv. Mater*, **29**, 1704296-13.

Martinez-Gonzalez J. A., Li X., Sadati M., Zhou Y., Zhang R., Nealey P. F., de Pablo J. J., 2017. Directed self-assembly of liquid crystalline blue-phases into ideal single-crystals. *Nat. Commun.*, **8**, 15854-15864.

Lin Y. H., Chen H. S., Lin H. C., Tsou Y. S., Hsu H. K., Li W. Y., 2010. Polarizer-free and fast response microlens arrays using polymer-stabilized blue phase liquid crystals. *Appl. Phys. Lett.*, **96**, 113505-3.

Kemiklioglu E., Chien L.C., 2016. Electro-optical Properties of Carbon Nanotubes Doped Polymer Stabilized Blue Phase Liquid Crystal. *Liquid Crystals*, **43**, 1067-1074.

Wang M., Kemiklioglu E., Hwang J.-Y. and Chien L.-C., 2013. Colloids Mediated Blue Phase Liquid Crystals. *Proc. of SPIE Emerging Liquid Crystal Technologies VIII*, **86420W**.

Yang Y.-C., Yang D. K., 2011. Electro-optic Kerr effect in polymer stabilized isotropic liquid crystals. *Appl. Phys. Lett.*, **98**, 023502.

ASTM C 158 (2017): Standard Test Methods for Strength of Glass by Flexure.