

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**TETRADECYL TRIMETHYL AMMONIUM
BROMIDE (TTAB)+SU+OKTANOL ÜÇLÜ
SİSTEMİNDEKİ FAZ HALLERİNİN
BELİRLENMESİ VE MEZOFAZLARIN FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Aykut Evren YAVUZ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Özgür MASALCI

Fizik Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 27/ 11/ 2015

Bornova-İZMİR

2015

Aykut Evren YAVUZ tarafından Doktora tezi olarak sunulan “Tetradecyl Trimethyl Ammonium Bromide (TTAB)+Su+Oktanol Üçlü Sistemindeki Faz Hallerinin Belirlenmesi ve Mezofazların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 27/11/2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri: İmza

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Sevgi Haman Bayarı

Raportör Üye: Yrd. Doç. Dr. Özgür Masalcı

Üye : Prof. Dr. Nadide Kazancı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan Epik

Üye : Yrd. Doç. Dr. Duygu Bilge

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “TETRADECYL TRIMETHYL AMMONIUM BROMIDE (TTAB)+SU+OKTANOL ÜÇLÜ SİSTEMİNDEKİ FAZ HALLERİNİN BELİRLENMESİ VE MEZOFAZLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

27 / 11 / 2015

İmzası

Adı-Soyadı

Aykut Evren YAVUZ

ÖZET**TETRADECYL TRIMETHYL AMMONIUM BROMIDE
(TTAB)+SU+OKTANOL ÜÇLÜ SİSTEMİNDEKİ FAZ
HALLERİNİN BELİRLENMESİ VE MEZOFAZLARIN FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YAVUZ, Aykut Evren

Doktora Tezi, Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özgür Masalcı

Ağustos 2015, 77 sayfa

Bu tezde Tetradecyl Trimethyl Ammonium Bromide (TTAB)+su+oktanol liyotropik sisteminin meydana getirdiği ara fazlar polarize mikroskop yöntemiyle belirlenmiş ve bu ara fazların fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu sistemin nematik kalamitik, nematik diskotik, hegzagonal E ve lamelar D ara fazlarından oluştuğu tespit edilmiş ve ara fazların ağırlıkça yüzde konsantrasyonlarına bağlı olarak faz diyagramı çizilmiştir.

Her ara fazın kırılma indisi, elektriksel iletkenlik ve yüzey gerilim özellikleri konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak incelenmiştir. Ara fazların gösterdikleri fiziksel özellikler birbirleriyle karşılaştırılmış, aralarındaki benzerlikler ve farklılıklar tespit edilmiştir. Ayrıca bu ara fazlara dışarıdan fiziksel etki olarak mekanik ve manyetik deformasyon uygulanmıştır. Deformasyonlardan sonra ara fazların karakteristik yapılarında ve optiksel özelliklerinde meydana gelen değişimler zamana bağlı olarak incelenmiştir. Deformasyondan önceki ve sonraki durumlar karşılaştırılarak liyotropik ara fazların dış fiziksel etkilere karşı oldukça duyarlı oldukları ve fiziksel özelliklerinin zamanla değişim gösterdikleri bulunmuştur.

Anahtar sözcükler: Liyotropik sıvı kristaller, faz diyagramları, fiziksel özellikler, mekanik deformasyon, manyetik deformasyon.

ABSTRACT**DETERMINING PHASE STATES IN TERNARY SYSTEM OF
TETRADECYL TRIMETHYL AMMONIUM BROMIDE
(TTAB)+WATER+OCTANOL AND STUDYING PHYSICAL
PROPERTIES OF MESOPHASES**

YAVUZ, Aykut Evren

PhD in Physics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özgür Masalcı

November 2015, 77 pages

The present study determined mesophases caused by Tetradecyl Trimethyl Ammonium Bromide (TTAB)+water+octanol lyotropic system using polarizing microscopy. The system was found to be composed of nematic calamitic, nematic discotic, hexagonal E and lamellar D mesophases, after which phase diagram of the system was illustrated based on percentage concentrations in weight.

Refractive index, electrical conductivity and surface tension of each mesophase were studied considering their concentration and temperature. Physical properties of mesophases were compared with each other to establish their similarities and differences. In addition, mechanical and magnetic deformations were applied to them and changes in characteristic structures and optical properties of mesophases studied based on time. Situations before and after deformations were compared to find that lyotropic mesophases were quite sensitive to external physical influences and physical properties varied over time.

Keywords: Lyotropic liquid crystals, phase diagrams, physical properties, mechanical deformation, magnetic deformation.

TEŞEKKÜR

Her zaman yardımını ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle bana ilham veren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Özgür Masalcı'ya öncelikle teşekkür ederim.

Öğrencisi olmakla gurur duyduğum ve her zaman örnek aldığım değerli hocam Prof. Dr. Nadide Kazancı'ya önerileri ve yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Sadece doktora süresince değil her zaman yanımda olduğunu bildiğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	...vii
ABSTRACT	...xi
TEŞEKKÜR	...xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	...xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	...xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	...xxiv
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	2
2.1 Sıvı Kristaller ve Çeşitleri	2
2.2 Liyotropik Sıvı Kristaller.....	4
2.2.1 Amfifilik materyaller	5
2.2.2 Miseller	7
2.3 Liyotropik Ara Fazlar	11
2.4 Liyotropik Sıvı Kristallerin Optiksel Özellikleri	14
2.5 Liyotropik Sıvı Kristallerin Diamanyetik Özellikleri.....	19
2.6 Yüzey Gerilim Özellikleri	20
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1 Liyotropik Çözeltilerin Hazırlanması	23
3.2 Polarize Mikroskop Yöntemi.....	24
3.3 Refraktometre Yöntemi	26
3.4 Elektriksel İletkenlik Ölçümü.....	29
3.5 Yüzey Gerilimi Ölçümü	29
4. TTAB+SU+OKTANOL SİSTEMİNİN İNCELENMESİ.....	32
4.1 Optiksel Ölçümler.....	36
4.2 Elektriksel İletkenlik Ölçümleri	42
4.3 Yüzey Gerilim Ölçümleri	45
4.4 Mekanik Deformasyon Etkisi.....	47
4.5 Manyetik Deformasyon Etkisi.....	53
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	62
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1a Katı kristal moleküllerinin yönelim düzenleri.....	2
2.1b Sıvı kristal faz moleküllerinin yönelim düzenleri	2
2.1c Sıvı faz moleküllerinin yönelim düzenleri	2
2.2 Sıvı kristal fazdaki molekülün yöneliminin direktörle yaptığı açı. Her bir molekül direktörle belirli bir açı yapmaktadır.	3
2.3 Sıvı kristal molekülünün direktörle yaptığı θ açısı.....	3
2.4 Sıvı kristallerin düzen parametresinin sıcaklığa bağlılığı	4
2.5a Amfifil molekülün şematik gösterimi	6
2.5b NadS molekülü	6
2.6 Sulu çözeltide amfifil moleküllerin şematik gösterimi	6
2.7a Anyonik amfifillerin yapıları.....	7
2.7b Katyonik amfifillerin yapıları.....	7
2.7c Zwitteriyonik amfifillerin yapıları	7
2.7d İyonik olmayan amfifillerin yapıları	7
2.8 Misel oluşumunun şematik gösterimi.....	8
2.9 Amfifil moleküllerin su içerisinde dağılımı	8
2.10 Misel boyutlarının karşılaştırılması	9

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.11 Polar baş grubunun alanı a_0 , hidrofobik kuyruğun uzunluğu l_c ve hacmi v olmak üzere amfifil molekülün gösterimi.....	10
2.12 P_c değeri ve misel şekilleri	11
2.13 İzotropik misel yapı.....	12
2.14a N_d ara fazının misel yapısı. n misellerin direktörüdür	13
2.14b N_c ara fazlarının misel yapısı. n misellerin direktörüdür	13
2.15a Hegzagonal E ara fazının misel yapısı	13
2.15b Lamellar D ara fazının misel yapısı	13
2.16 Faz diyagramında $x_A + x_B + x_C = 1$ olacak şekilde üçlü sistemin bileşeninin ağırlıkça veya molar konsatrasyonları verilir	14
2.17 LSK örneğin içinden geçen ışık direktör yönüne bağlı olarak iki farklı hızda ilerler.....	15
2.18a Pozitif optiksel anizotropinin elipsoid gösterimi	16
2.18b Negatif optiksel anizotropinin elipsoid gösterimi	16
2.19 n'_e nin yöne bağlılığının kırılma indisi elipsoidinde gösterimi	17
2.20 Sıvının yüzeyindeki moleküle etki eden net kuvvet, sıvının içine doğrudur	21
2.21 Sıvının yüzey alanında meydana gelen değişim için yapılan iş.	21
2.22 Sürfektanların su içerisindeki davranışı.	22

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1a TTAB' ın molekül yapısı.....	23
3.1b Oktanolün molekül yapısı.....	23
3.2 Sandviç hücrenin şekli. 1) mikroskop camları, 2) çift taraflı bant	24
3.3 Olympus BX50P marka polarize mikroskop.....	25
3.4 Polarize mikroskop çalışma prensibi.....	26
3.5a Işığın farklı ortama geçerken kırılması Snell yasasına uyar.....	27
3.5b Daha yoğun ortama 90° ile gelen ışık kritik açıyla kırılır	27
3.6 Abbe refraktometresinin genel çalışma prensibi	28
3.7 Abbe refraktometresi	28
3.8 WTW marka Cond Level 3 modülü kontrol terminali	29
3.9 Wilhelmy levha yönteminin çalışma prensibi	30
3.10 Krüss EasyDyne marka tensiyometre.....	31
4.1a N _c ara fazının % 32 TTAB+%67 su+%1 oktanol için elde edilen tekstür fotoğrafları. x100 büyültme	33
4.1b N _c ara fazının %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol için elde edilen tekstür fotoğrafları. x100 büyültme	33
4.1c N _c ara fazının %34 TTAB+%65 su+%1 oktanol için elde edilen tekstür fotoğrafları. x100 büyültme	33
4.2a N _d ara fazına ait tekstür görüntüleri: %32TTAB+%62 su+%6 oktanol, x100 büyültme	34
4.2b N _d ara fazına ait tekstür görüntüleri: %38 TTAB+%54 su+%6 oktanol, x100 büyültme	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.2c N_d ara fazına ait tekstür görüntüleri: %32 TTAB+%62 su+%6 oktanol, x200 büyültme	34
4.3a Hegzagonal E ara fazına ait tekstür görüntüleri: %41 TTAB+%58 su+%1oktanol, x100 büyültme	35
4.3b Hegzagonal E ara fazına ait tekstür görüntüleri. %41 TTAB+%56 su+%3oktanol, x100 büyültme	35
4.4a Lamelar D ara fazına ait tekstür görüntüleri: %36 TTAB+%55 su+%9 oktanol, x100 büyültme	35
4.4b Lamelar D ara fazına ait tekstür görüntüleri: %26 TTAB+%63 su+%11 oktanol, x100 büyültme	35
4.5 TTAB+su+oktanol sisteminin faz diyagramı, 295 K	36
4.6 N_c kırıcılık indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi	37
4.7a %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol konsantrasyonun 308 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri	38
4.7b %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol konsantrasyonun 312 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri	38
4.8 N_d kırıcılık indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.9a	%29 TTAB+%66 su+%5 oktanol konsantrasyonun 297 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x100..... 40
4.9b	%29 TTAB+%66 su+%5 oktanol konsantrasyonun 299 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x100.....40
4.10a	%30 TTAB+%65 su+%5 oktanol konsantrasyonun 296 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x10040
4.10b	%30 TTAB+%65 su+%5 oktanol konsantrasyonun 307 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x10040
4.11a	%30 TTAB+%64 su+%6 oktanol konsantrasyonun 294 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x10040
4.11b	%30 TTAB+%64 su+%6 oktanol konsantrasyonun 306 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x10040
4.12	Hegzagonal E ara fazının kırıcılık indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi41
4.13	Lamellar D ara fazının kırıcılık indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi42
4.14	N _c ara fazı için elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değişimi43
4.15	Hegzagonal E ara fazı için elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değişimi.43
4.16	N _d ara fazı için elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi.44
4.17	Lamellar D ara fazı için elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi45
4.18	TTAB+su ikili sisteminin yüzey gerilim değerlerinin konsantrasyona bağlılığı, sıcaklık 300 K47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.19a Mekanik deformasyon uygulama çeşitleri: yayma.....	48
4.19b Mekanik deformasyon uygulama çeşitleri: bükme	48
4.19c Mekanik deformasyon uygulama çeşitleri: eğme.....	48
4.20a N _c ara fazının tekstürlerindeki değişim: deformasyondan önce, x100 büyültme, 295 K.....	49
4.20b N _c ara fazının tekstürlerindeki değişim: deformasyonun hemen ardından, x100 büyültme, 295 K	49
4.20c N _c ara fazının tekstürlerindeki değişim: deformasyondan 10 dk. sonra, x100 büyültme, 295 K	49
4.20d N _c ara fazının tekstürlerindeki değişim: deformasyondan 100 dk. sonra, x100 büyültme, 295 K	49
4.21a N _d arafazı tekstürleri: deformasyondan önce, x100 büyültme, 295 K	50
4.21b N _d arafazı tekstürleri: deformasyonun hemen ardından, x100 büyültme, 295 K.	50
4.21c N _d arafazı tekstürleri: deformasyondan 30 dk sonra, x100 büyültme, 295 K	50
4.21d N _d arafazı tekstürleri: deformasyondan 120 dk sonra, x100 büyültme, 295 K	50
4.22a Hegzagonal E arafazı tekstürleri: deformasyondan önce, x100 büyültme, 295 K.....	51
4.22b Hegzagonal E arafazı tekstürleri: deformasyonun ardından 10 dk sonra. x100 büyültme, 295 K	51
4.23a Lamelar D arafazı tekstürleri: deformasyondan önce, x100 büyültme, 295 K.....	52
4.23b Lamelar D arafazı tekstürleri: deformasyondan 10 dakika sonra, x100 büyültme, 295 K	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.23c Lamelar D arafazı tekstürleri deformasyondan 75 dakika sonra. x100 büyültme, 295 K	52
4.24a N _c ara fazına manyetik alan uygulanmadan önce tekstür görüntüleri, x100 büyültme	55
4.24b N _c ara fazına 400 mT manyetik alan uygulandıktan 3 saat sonra tekstür görüntüleri, x100 büyültme	55
4.24c N _c ara fazına 400 mT manyetik alan uygulandıktan 6 saat sonra tekstür görüntüleri, x100 büyültme	55
4.24d N _c ara fazına 400 mT manyetik alan uygulandıktan 10 saat sonra tekstür görüntüleri, x100 büyültme	55
4.25a N _c ara fazına 600 mT manyetik alan uygulandıktan 3 saat sonra tekstür görüntüleri, x100 büyültme	56
4.25b N _c ara fazına 600 mT manyetik alan uygulandıktan 10 saat sonra tekstür görüntüleri, x100 büyültme	56
4.25c N _c ara fazına 1000 mT manyetik alan uygulandıktan 3 saat sonra tekstür görüntüleri, x100 büyültme	56
4.25d N _c ara fazına 1000 mT manyetik alan uygulandıktan 10 saat sonra tekstür görüntüleri, x100 büyültme	58
4.26a N _d örnek manyetik alana bırakılmadan önce tekstür görüntüleri, x100 büyültme	58
4.26b 400 mT uygulanan N _d örneğin 3 saat sonraki tekstür görüntüleri, x100 büyültme	58
4.26c 400 mT uygulanan N _d örneğin 6 saat sonraki tekstür görüntüleri, x100 büyültme	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.26d 400 mT uygulanan N_d örneğin 10 saat sonraki tekstür görüntüleri, x100 büyültme	58
4.27a N_d örneğin 600 mT manyetik alan altında 3 saat sonraki tekstürleri, x100 büyültme	59
4.27b N_d örneğin 600 mT manyetik alan altında 10 saat sonraki tekstürleri, x100 büyültme	59
4.27c N_d örneğin 1000 mT alan altında 3 saat sonraki tekstürleri, x100 büyültme	59
4.27d N_d örneğin 1000 mT alan altında 10 saat sonraki tekstürleri, x100 büyültme	59
4.28a N_c ara fazı için çift kırıcılık değerlerinin manyetik alanın karesiyle olan ilişkisi	61
4.28b N_d ara fazı için çift kırıcılık değerlerinin manyetik alanın karesiyle olan ilişkisi	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 TTAB+su+oktanol sistemi için ara fazlara ait konsantrasyon değerleri için yüzey gerilim değerleri, sıcaklık 294 K	46
4.2 Her ara faz için mekanik deformasyon etkisi	53
4.3 Manyetik alan şiddeti ve N_c örneğin alanda kaldığı süreler içinde çift kırıcılık değerleri	57
4.4 Manyetik alan şiddeti ve N_d örneğin alanda kaldığı süreler için çift kırıcılık değerleri	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
L_I	İzotropik faz
A°	Angstrom
K	Kelvin
n_o	Olağan kırılma indisi
n_e	Olağanüstü kırılma indisi
Δn	Çift kırıcılık indisi
S	Siemens
σ	Yüzey gerilimi
<u>Kısaltmalar</u>	
LSK	Liyotropik sıvı kristal
CMC	Kritik misel konsantrasyonu
N_c	Nematik kalamitik ara faz
N_d	Nematik diskotik ara faz
N_{bx}	Nematik biaksial ara faz

1. GİRİŞ

Fiziksel anlamda faz, maddenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin benzer olduğu durumdur. Örnek olarak katı faz ve sıvı faz verilebilir. Katı fazda moleküller konum ve yönelim düzenine sahiptirler. Diğer yandan sıvı fazda moleküller sürekli olarak rastgele doğrultuda hareket halindedirler ve belli bir düzenleri yoktur. Bunun yerine akışkanlık özellikleri vardır (Martin, 1993; Feher, 2006).

Sıvı kristal faz da maddenin fazlarından olup katı ile sıvı fazlar arasında yer alırlar (Chandrasekhar, 1992). Bu fazı diğerlerinden farklı kılan özellik, sıvılar gibi akışkan iken aynı zamanda katı kristaller gibi konum ve/veya yönelim düzenine sahip olmasıdır (Lagerwall and Scalia, 2012). Sıvı kristaller ayrıca anizotropik özellik de sergilerler (Burducea, 2004). Özellikle elektriksel, manyetik ve optiksel anizotropiye sahiptirler. Fiziksel özelliklerinin yöne bağlı olması, üzerlerine etkiyen dış fiziksel etkiye karşı gösterdikleri tepkilerin de yöne bağlı olmasını sağlar. Bu yüzden sıcaklık, basınç, elektrik alan, manyetik alan ve mekanik gibi dış etkilere karşı son derece duyarlıdırlar (Pasechnik et al., 2009).

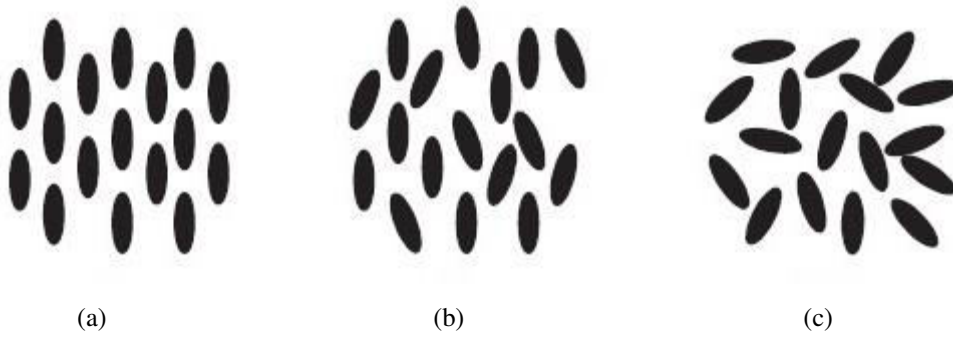
İlk başlarda sıvı kristaller doğada çok az gözlenmelerine karşın zaman geçtikçe seksen bin sıvı kristal çeşidi bulunmuştur. Bu durum onların doğada büyük bir aile olduğunu göstermektedir (Wang and Zhou, 2004). Bugün optikte, nanoteknolojide ve biyoteknolojide sıvı kristal araştırmaları artarak devam etmektedir (Lagerwall and Scalia, 2012).

Özellikle 1970'li yıllarda sıvı kristal görüntüleme aletlerinin (LCD) akademik ve sanayi araştırmaları sonrasında gelişmeye başlamasıyla teknolojik açıdan bir başarı sağlanmıştır (Lagerwall and Scalia, 2012). Ardından sıvı kristallerin pek çok alanda çeşitli uygulama alanları ortaya çıkmıştır. Sıvı kristaller aynı zamanda biyolojik sistemlerde de doğal olarak bulunur. Örnek olarak her yaşayan organizmanın hücre zarı sıvı kristaldır ve bu sıvı kristal yapının bozulması birçok hastalığa neden olur (Fisch , 2004).

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Sıvı Kristaller ve Çeşitleri

Sıvı kristal faz, katı kristal ile izotropik sıvı arasında bulunan maddenin bir fazıdır ama katı ve sıvı fazdan farklıdır (Crawford and Woltman, 2007; Wang and Zhou, 2004). Katı faz, konum ve yönelim düzenine sahip iken sıvı fazda bu iki düzende kaybolur. Sıvı kristaller ise bu iki fazın özelliklerini bir arada sergileyebilirler. Örnek olarak, çift kırıcılık gibi katı kristale ait ve akışkanlık gibi sıvılara ait özellikleri bir arada sergileyebilirler (Wang and Zhou, 2004). Şekil 2.1 de katı kristal, sıvı kristal ve sıvı fazların moleküllerinin yönelim düzenlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

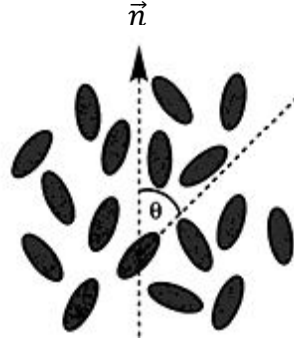


Şekil 2.1 a) Katı kristal b) Sıvı kristal c) Sıvı fazların moleküllerinin yönelim düzenleri (Wang and Zhou, 2004; Collings, 1990).

Sıvı kristaller genel olarak (yapı ve oluşum türlerine göre) ikiye ayrılmaktadırlar. Bunlardan bir tanesi termotropik sıvı kristallerdir ve yapı birimleri mezojen adı verilen moleküllerdir. Bu fazların fiziksel özellikleri genellikle moleküler arası etkileşimlere ve sıcaklığa bağlıdır. Diğeri ise liyotropik sıvı kristaller (LSK)' dir ve çözelti yoluyla elde edilirler. Bu sıvı kristallerin yapı birimleri bir çözücü (genellikle su) içerisinde dağılmış amfifil moleküllerinin kümelenmeleridir. Bu kümelerin her birine misel denir. Liyotropik sıvı kristal fazların fiziksel özellikleri bileşenlerin konsantrasyonuna, moleküler yapıya ve sıcaklığa bağlı olmakla birlikte aynı zamanda çözücüdeki miseller arası etkileşmeye de bağlıdır (Smith, 1990; Lagerwall and Scalia, 2012).

Sıvı kristal fazın önemli bir özelliği yapı birimlerinin (mezojenlerinin veya misellerinin) direktör denilen ortak eksen boyunca yönelme eğiliminde olmasıdır (Şekil 2.2). Direktör $\vec{n}$ ile gösterilir. Sıvı fazda moleküllerin rastgele hareketlerinden dolayı direktörleri yoktur ama katı fazda moleküller tamamen

yönelmişlerdir. Sıvı kristallerin karakteristik yönelme düzenleri, katı ve sıvı fazlar arasındadır (de Gennes and Prost, 1993).

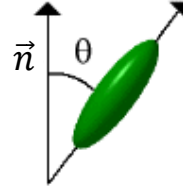


Şekil 2.2. Sıvı kristal fazdaki molekülün yöneliminin direktörle yaptığı açı. Her bir molekül direktörle belirli bir açı yapmaktadır (Wang and Zhou, 2004; Collings, 1990).

Bir materyalin yönelim düzeninin niceliği, düzen parametresi (S) ile tanımlanır. Geleneksel olarak düzen parametresi aşağıdaki şekilde verilir:

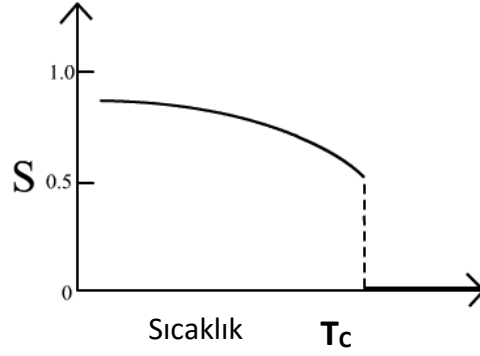
$$S = \left(\frac{1}{2}\right)\langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle$$

Burada θ her bir molekülün uzun ekseninin direktörle yaptığı açıdır (Şekil 2.3) ve braketler materyalin bütün yönelimlerinin ortalamasını belirtir.



Şekil 2.3. Sıvı kristal molekülünün direktörle yaptığı θ açısı.

İzotropik sıvı faz direktöre sahip değildir, bu yüzden düzen parametresi sıfıra eşittir. Katı kristaller için ise düzen parametresi 1 dir, yani tam bir yönelme vardır. Tipik bir sıvı kristal için düzen parametresi yaklaşık 0.3 ile 0.9 arasındadır. Sıvı kristallerde düzen parametresi, moleküler kinetik hareketten dolayı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Sıcaklığın artmasıyla düzen parametresi azalır ve belli bir sıcaklık değerinden sonra tamamen sıfır olur. Çünkü sıvı kristaller kritik sıcaklıktan (T_C) sonra izotropik faza geçmektedirler (Şekil 2.4) (Chandrasekhar, 1992).



Şekil 2.4. Sıvı kristallerin düzen parametresinin sıcaklığa bağlılığı (Chandrasekhar, 1992).

Sıvı kristallerin direktör boyunca yönelme eğiliminde olmaları anizotropiye yol açar. Bu terim materyalin fiziksel özelliklerinin yöne bağlı olduğunu belirtir. İzotropi durumunda ise yöne bağlı değildir. Fiziksel özellikleri her yönde aynıdır.

Sıvı kristaller, aslında belli bir yönelim düzenine sahip olan akışkanlardır. Bu yüzden sıvı kristallerde optik, elektrik, manyetik ve mekanik gibi özellikleri için anizotropiden söz edebiliriz. Örnek olarak sıvı kristallerin elektriksel iletkenlik, viskozite ve çift kırıcılık gibi fiziksel özellikleri, üzerine elektrik alan uygulanmasıyla değişebilir. Bunun nedeni sıvı kristalin sahip olduğu direktörün elektrik alan etkisiyle tekrar yönelmeye başlamasıdır. Direktör, ilk durumdan farklı bir yönde olduğunda sıvı kristalin fiziksel özellikleri de değişecektir. Aynı durum sıvı kristallerin üzerine mekanik deformasyon veya manyetik alan uygulandığında da geçerlidir. Fiziksel özellikleri, dış etkinin çeşidine ve şiddetine bağlıdır. Bu durum sıvı kristal uygulamalar için oldukça önemlidir (Pasechnik et al., 2009).

2.2 Liyotropik Sıvı Kristaller

Liyotropik sıvı kristaller, uygun sıcaklıkta amfifil moleküllerin bir çözücü ile oluşturdukları çözeltilerdir (Charvolin et al., 1979; Lawson and Flautt, 1967; Radley and Saupe, 1978; Quist et al., 1992). Türkçesi “hemen eriyen” anlamına gelen liyotropikler, amfifil maddelerin çözücü içerisine eklenerek belirli koşullar altında homojen çözelti oluşturmasıyla elde edilirler. Çözücü olarak genellikle polar bir çözücü olan su kullanılır. Çözeltiye üçüncü bileşen olarak alkol katılması liyotropik sıvı kristaldeki yapısal çeşitliliğini arttırmaktadır (Quist et al., 1992).

Amfifilik moleküller sulu çözeltilerinde belirli konsantrasyon değerine ulaştığında, kendiliğinden bir araya gelerek misel adı verilen kümeleşmeler meydana getirirler. Bu yüzden liyotropik sıvı kristallerin yapısal birimleri

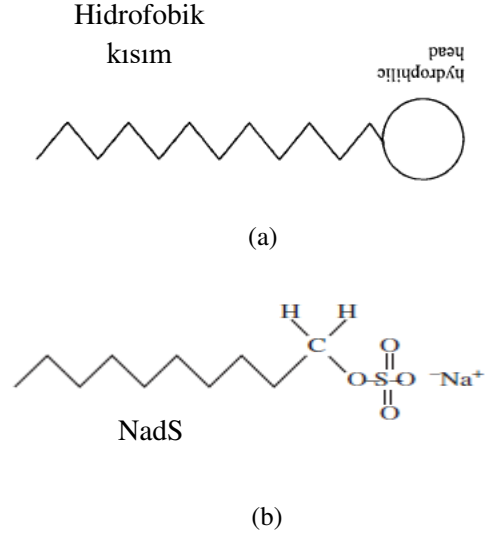
misellerdir. Misellerin yapılarının çeşidine ve büyüklüğüne göre liyotropik sıvı kristallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri değişiklik göstermektedir.

Liyotropikler biyolojik olarak bir çok yerde bulunurlar. Örnek olarak membranlar, mitokondri gibi hücrel yapılar ile kaslar, göz lensleri gibi hücrel olmayan yapılarda vardır. Ayrıca kan, üre gibi hayatsal faaliyetlerin oluşturdukları ürünler de liyotropik sıvı kristal olabilmektedirler. Bu nedenle hayat döngüsü, liyotropik sıvı kristallerin ara faz özelliklerine kritik olarak bağlıdır. Diğer yandan deterjan ve sabunların sulu çözeltilerinde de bulunabilirler (Okcan, 2005; Nesrullajev and Kazancı, 1999; Nesrullazade vd, 2000; Kuzma, 1986; Yu and Saupe, 1980). Tüm bunlar ve teknolojik uygulamalarından dolayı liyotrop sıvı kristaller disiplinler arası bilim dallarının ilgisini çekmektedir.

2.2.1 Amfifilik materyaller

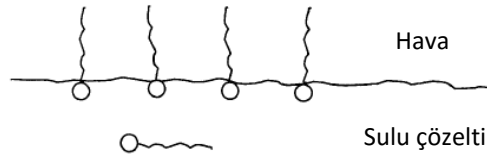
Liyotropik sıvı kristal karışımlarının bileşenlerinden birisi amfifil moleküllerdir. “Amfi” kelimesi yunanca “amphi” kelimesinden gelir ve anlamı “ikili” veya “çift” demektir. “fil” kelimesi ise yunanca da “philic” yani sevmek anlamındadır. Böylece amfifil kelimesi için “ikisini de sever” anlamına geldiğini söyleyebiliriz (Piazza, 2011). Bunun anlamı amfifil molekülün iki farklı kısımdan oluşması ve iki farklı özelliği birden gösterebilmesidir. Bu iki kısım, suda çözünmeyen hidrokarbon zinciri ve suda çözünen bir polar baş grubudur (Şekil 2.5). Polar baş grubuna suda çözünmesinden dolayı “hidrofilik” yani suyu seven kısım da denilmektedir. Hidrokarbon zinciri ise suda çözünmediğinden sudan korkan anlamında “hidrofobik” kısım olarak adlandırılır. Bu özelliklerinden dolayı liyotropik sıvı kristal oluşturmaya oldukça elverişlidir. Örnek olarak aşağıdaki şekilde sodyum desülfat (NadS) amfifil molekülü verilmiştir (Neto and Salinas, 2005).

Hidrofilik
kısım



Şekil 2.5. a) Amfifil molekülün şematik gösterimi b) NadS molekülü.

Amfifil molekül tiplerinden birisi sürfektan denilen yüzeyce aktif, organik kimyasal moleküllerdir. Sulu bir çözeltiye katıldıklarında hidrokarbon zinciri suda çözünmediğinden yüzeyde birikir ve yüzey gerilimini değiştirirler (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Sulu çözeltide amfifil moleküllerin şematik gösterimi.

En basit amfifil tipleri bir hidrokarbon zincirine sahip sürfektanlardır. Zincir uzunluğu 8 ile 18 arası karbon atomundan oluşur. Doğada veya kimyasal olarak sentezlenen sürfektan moleküllerinin farklı tipleri vardır. Sınıflandırma, sürfektan molekülünün polar baş grubunun taşıdığı yüke göre yapılmaktadır (Hadgiivanova, 2009). Bunlar anyonik, katyonik, noniyonik ve zwitteriyonik sürfektanlardır. Şekil 2.7' de sürfektan çeşitleri görülmektedir (Neto and Salinas, 2005).



(a)



(b)



(c)

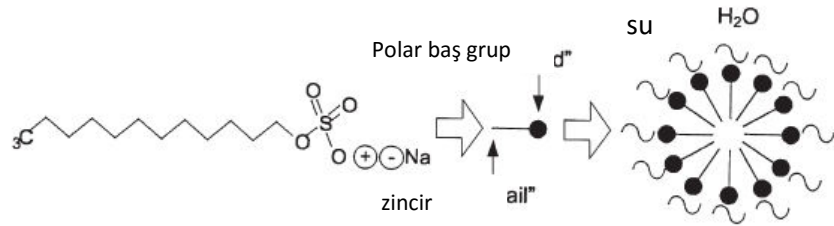


(d)

Şekil 2.7. a) anyonik, b) katyonik, c) zwitteriyonik, d) iyonik olmayan amfifillerin yapıları.

2.2.2 Miseller

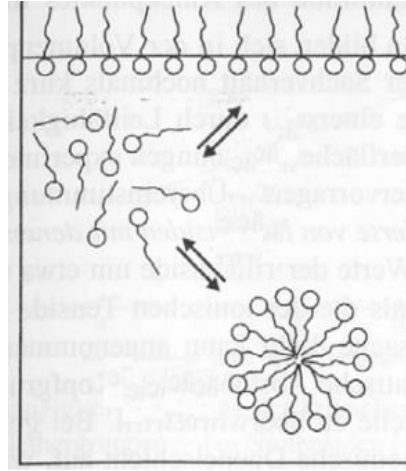
Liyotropik sıvı kristallerde amfifilik moleküller sulu çözeltilerinde belirli konsantrasyon değerine ulaştığında, kendiliğinden bir araya gelerek misel adı verilen kümeleşmeler meydana getirirler. Misel oluşumunun temel sebebi, çözelti içerisinde amfifil molekülün su ile olan hidrofilik ve hidrofobik etkileşimleridir. Amfifilik molekülün hidrofilik baş kısmı su molekülleri ile etkileşime girerken hidrofobik hidrokarbon zinciri sudan uzaklaşmaya çalışır. Böylece su içerisindeki amfifil moleküller sistemin enerjisini azaltacak biçimde bir araya gelirler (Şekil 2.8) (Khoo, 2007; Kumar, 2011, Woltman et al., 2007).



Şekil 2.8. Misel oluşumunun şematik gösterimi.

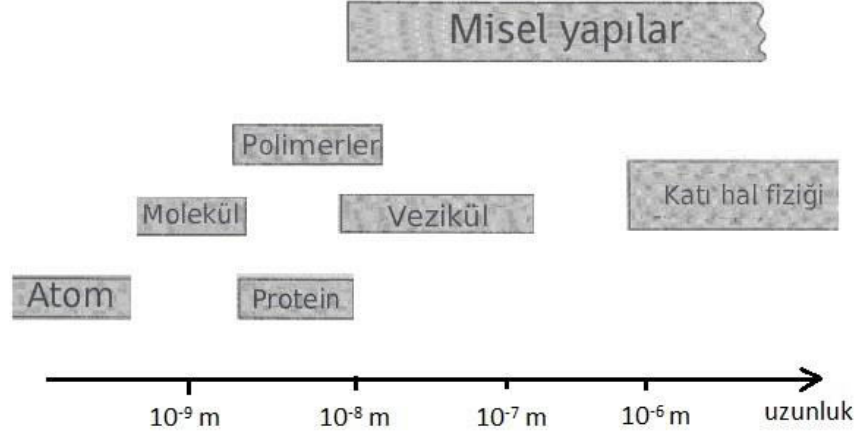
Misel oluşumunun başladığı konsantrasyon değerine kritik misel konsantrasyonu (CMC) denir. Ayrıca miseller, “Krafft sıcaklığı” adı verilen belirli bir kritik sıcaklığın üstünde oluşur. Sürfektan konsantrasyonu arttıkça misellerin yapısı ve sayısı değişmektedir. Böylece süfektanlar su içerisindeki konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak çeşitli yapılarda miseller meydana getirebilirler (Tamhane, 2009).

Sürfektanlar moleküler yapılarından dolayı su içinde farklı davranış sergilemektedirler. CMC den düşük konsantrasyonlarında su içerisinde ve hava-su yüzeyinde dağılırlar. CMC değerinden sonra misel yapıyı oluşturmak için toplanırlar. Ama çözelti hala sıvı kristalik davranış göstermez o yüzden buna “izotropik misel çözeltisi” denir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Amfifil moleküllerin su içerisinde dağılımı.

Miseller genellikle 20-100 süfektan moleküllerinden oluşur ve karakteristik boyları 10-20 nm arasındadır. Misellerin boyutlarının sabit olmadığı değişebilir olduğu da bilinmelidir (Şekil 2.10) (Feher, 2006).



Şekil 2.10. Misel boyutlarının karşılaştırılması.

Amfifil moleküllerinin su temelli çözeltilerde miselleri oluşturması Termodinamiğin 2. yasası ile anlaşılabilir. Bu yasa aşağıdaki formülle açıklanır:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Burada G Gibbs serbest enerji, H entalpi, T Kelvin cinsinde sıcaklık ve S entropidir. Bu yasaya göre herhangi bir kapalı sistem entropisini arttırma eğilimindedir ve entropinin artmasıyla sistemin serbest enerjisini azalır. Bu durumda su molekülleri, amfifil moleküllerin hidrokarbon kısmı ile etkileşerek onların kümelenmesini sağlar (Neto and Salinas, 2005). Bu durumda amfifillerin hidrokarbon zincirleri miselin iç kısmına transfer olarak su ile en az etkileşimde bulunur ve böylece sistem serbest enerjisini azaltmış olur. Bu olaya hidrofobik etki denir ve sulu çözeltilerde misel oluşumu için sürücü kuvvettir (Prajapati and Patel, 2012).

Miselleşmenin Gibbs serbest enerjisi bir çok yaklaşımla verilir. Bunlardan bir tanesi “faz ayrışma yöntemi” dir ve aşağıdaki şekilde gibidir:

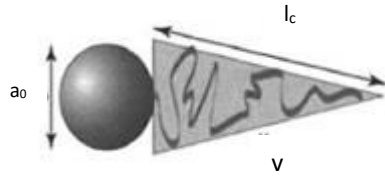
$$\Delta G_{\text{misel}} = RT \ln(CMC)$$

Burada G_{misel} miselleşmenin molar Gibbs serbest enerjisi ve R evrensel gaz sabitidir. Bu formül iyonik olmayan sürfektanlar için geçerlidir. İyonik sürfektanlar için polar baş grubunun yüklerinin çözücü ile etkileşimlerinde formüle dahil edilmelidir (Butt et al., 2003).

Amfifil konsantrasyonunun değeri artmasıyla amfifiller arasındaki etkileşim artmaktadır. Bu durum misel yapılarında değişiklik meydana getirir. Çözelti izotropikten anizotropik duruma geçer ve liyotropik sıvı kristale dönüşür (Hyde, 2001).

Konsantrasyon değerine bağlı olarak çok çeşitli yapıda miseller olabilir. Bu süreçte amfifil moleküllerin geometrisi önemli rol oynar. Bu durumda üç geometrik terim ele alınır:

- Polar baş grubunun kapladığı minimum yüzey alanı: a_0
- Hidrofobik kuyruğun hacmi: v
- Misel çekirdeğine hidrofobik kuyruğun zincirinin maksimum uzunluğu: l_c (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Polar baş grubunun alanı a_0 , hidrofobik kuyruğun uzunluğu l_c ve hacmi v olmak üzere amfifil molekülün gösterimi.

Tüm bu parametreler paketlenme parametresini (P_c) yi tanımlar. P_c değeri aşağıdaki gibi verilir:

$$P_c = \frac{v}{a_0 l_c}$$

v parametresi amfifil molekülün hidrofobik kısmının uzunluğu ile değişir. a_0 parametresi ise genellikle elektrostatik etkileşimlerle belirlenir. Paketleme parametresi misellerin büyüklüğünü ve şeklini tahmin eder (Hyde, 2001). Örnek olarak küresel yapıya sahip bir miselin, N tane amfifil molekülden oluştuğunu düşünelim. Miselin yarıçapı r , toplam yüzey alanı A ve hacmi V olmak üzere;

$$A = Na = 4\pi r^2$$

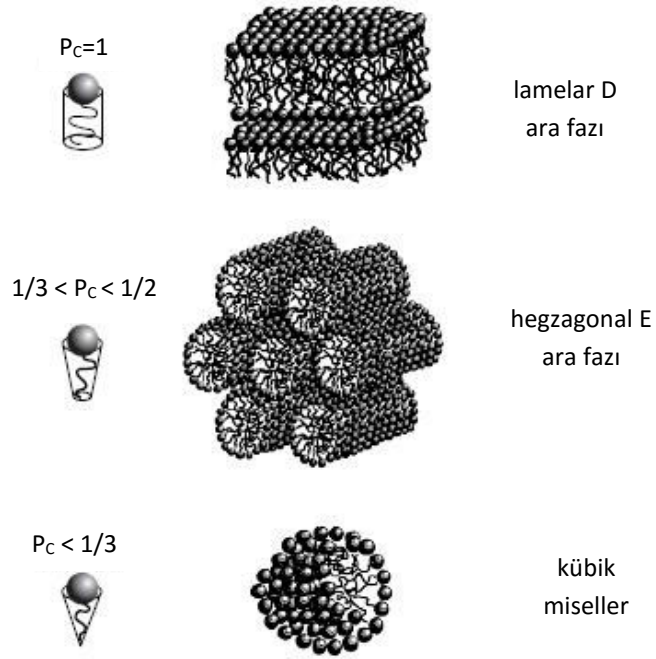
ve

$$V = Nv = \frac{4}{3}\pi r^3$$

böylece;

$$P_c \leq \frac{1}{3}$$

olduğunda $P_c \leq 1/3$ değerleri için küresel misel olduğunu düşünebiliriz (Burducea, 2004). Belli başlı misel şekilleri için P_c değerleri Şekil 2.12' de verilmiştir.



Şekil 2.12. P_c değeri ve misel şekilleri (Hadgiivanova, 2009).

2.3 Liyotropik Ara Fazlar

Liyotropik sıvı kristallerde ara fazlar, misel yapılarının şekillerine göre değişir. Bu yüzden her bir ara faz, misellerin şekline bağlı olarak farklı fiziksel özelliklere sahip olur (Khoo, 2007; Kumar, 2011; Woltman et al., 2007; Masalcı, 2006). Diğer yandan ara fazların misel yapılarındaki çeşitlilik amfifil konsantrasyonuna, tipine ve çözeltinin sıcaklığına bağlıdır.

Ara faz çeşitliliği, liyotropik sıvı kristal çözeltisine üçüncü bir bileşen olarak alkol gibi kosürfektanlar eklenerek de sağlanabilir. Böylece liyotropik sıvı kristalin karakteristiği değişebilir. Bunun nedeni kosürfektanların amfifil moleküllerin polar

baş grubuyla etkileşmesidir (Reis et al., 2013). Etkileşimde alkolün zincir uzunluğu da önemlidir. Etanol gibi küçük alkali zincirli alkoller su ile tamamen karışabilirler. Çoğunlukla miseller arası bölgede bulunurlar ve miselin içine yeterli derecede nüfuz edemezler. Daha büyük sayıda karbon içeren alkoller misel içinde daha fazla bulunurlar. Diğer bir deyişle küçük zincirli alkoller daha çok miseller arası bölgede bulunurken, uzun zincirli alkoller misellerle etkileşim halindedir. Böylece uzun zincirli alkoller amfifillerin polar kısımlarının birbirleriyle daha az etkileşmesini sağlarlar (Akpınar et al., 2012).

Anizotropik liyotropik ara fazlar, yapılarına ve karakteristik özelliklerine göre birbirlerinden ayrılırlar. Belli başlıları: liyotropik nematikler, hekgazagonal E ve lamellar D ara fazlarıdır.

İzotropik miseller (L_1) faz, CMC değerinden anizotropik ara faza kadar olan bölgede yer alır ve misel yapıları küre şeklindedir. Misellerin çapları amfifilik moleküllerin zincir uzunluğunun iki katı kadardır (Şekil 2.13). Misellerin çapları yaklaşık 35 Å dur ve miseller arası uzaklık ortalama 50 Å dur. Bu miseller ortalama 26 molekülden oluşurlar. Bu faz optiksel olarak izotropiktir ve tek bir kırıcılık indis değeri gösterir (Sonin, 1987).

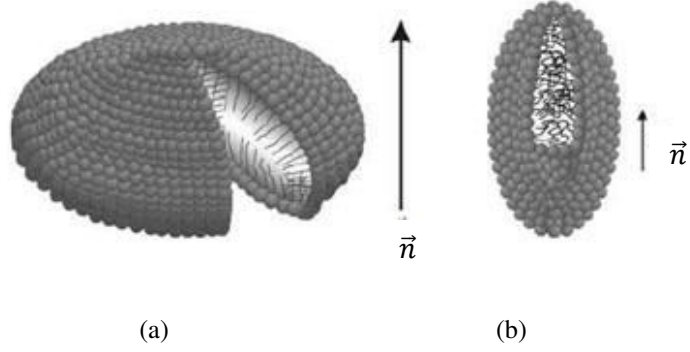


Şekil 2.13. İzotropik misel yapı (Neto and Salinas, 2005).

Amfifilin konsantrasyon değeri arttıkça misellerin şekli değişir ve anizotropik ara fazlar ortaya çıkmaya başlar. Bu ara fazlardan bir tanesi liyotropik nematiklerdir. Optiksel tek eksenli olan iki çeşit nematik ara faz vardır. Bu nematiklerden bir tanesi nematik kalamitik ara fazıdır ve N_c ile gösterilir. Diğer ise nematik diskotik olup N_d ile gösterilir (Sonin, 1987). NMR çalışmalarıyla N_c ve N_d arafazlarının misellerinin yapıları tespit edilebilmiştir (Fujiwara et al., 1979; Filho et al., 2007).

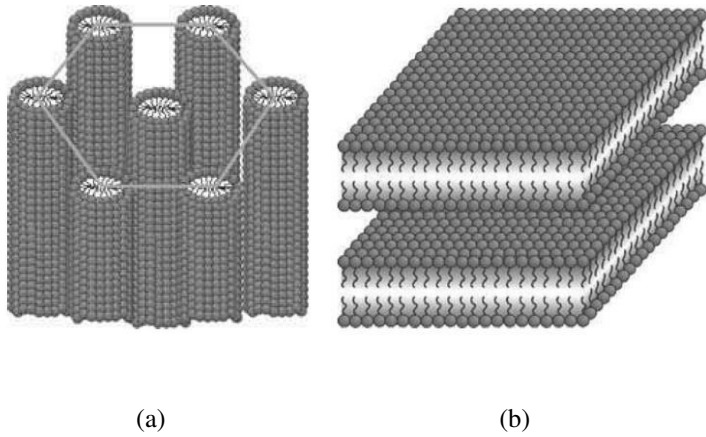
N_c ara fazının miselleri çubuk şeklindedir ve direktörleri uzun eksen boyunca yönelir (Şekil 2.14.a). Bu çubuk şeklindeki misellerin çapları $30\text{-}40 \text{ Å}$ ve

uzunlukları ise yaklaşık $60 \text{ \AA}$ civarındadır. Bazı miseller 90 amfifil molekül içerirken bu sayı bazılarında 190 olabilmektedir. Diğer yandan N_d ara fazının miselleri disk şeklindedir ve direktör diskin geniş yüzüne dik olarak yönelir (Şekil 2.14.b). Kalınlıkları yaklaşık $60 \text{ \AA}$ dur ve misellerdeki molekül sayısı 150-200 civarındadır. Ayrıca optiksel olarak iki eksenli nematik biaksial (N_{bx}) ara fazı vardır. Bu ara faz ise trombik yapıya sahiptir (Nesrullazade vd., 2000).



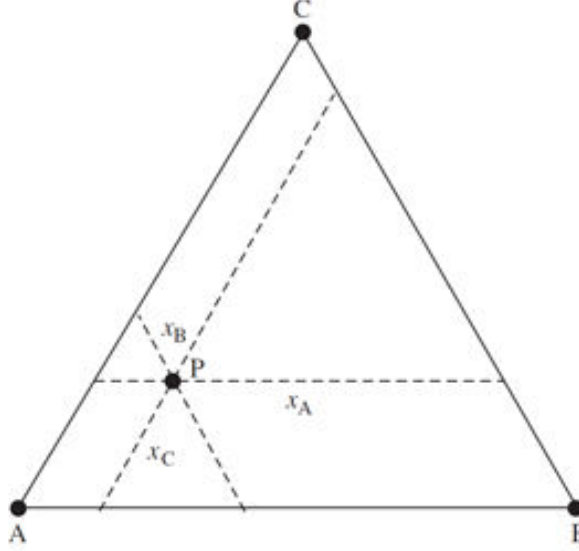
Şekil 2.14. a) N_d ve b) N_c ara fazlarının misel yapısı. $\vec{n}$ misellerin direktörüdür (Neto and Salinas, 2005) .

Artan sürfektan konsantrasyonu ile birlikte (genellikle ağırlıkça %30-50 arası) hegzaonal E fazı ortaya çıkar. Bu ara faz geniş bir konsantrasyon ve sıcaklık aralığında bulunur. Bu ara fazda çubuksu miseller, hegzaonal oluşturacak şekilde paket yapılar oluştururlar. Misellerin uzunlukları sistemin konsantrasyonuna ve özelliklerine bağlıdır (Feher, 2006; Davidson and Gabriel, 2005). Lamellar D ara fazı ise, amfifil moleküllerin tabaka şeklinde yapılar meydana getirdiği ara fazdır (Şekil 2.15). Tabakalar arasında çözücü moleküller vardır. Tabakalar birbirleri üzerinde kayabilir ve hareketleri diğer tabakalar tarafından sınırlanır (Feher, 2006).



Şekil 2.15. a) Hegzaonal E ve b) lamellar D ara fazlarının misel yapısı (Neto and Salinas, 2005).

Liyotropik sıvı kristal sistemin oluşturdıkları ara fazlar konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak değişebilir. Bunun için faz diyagramları kullanılır. Üç bileşenli bir sistemin faz diyagramı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.16). Faz diyagramında her eksen % olarak sistemin bileşeninin ağırlıkça veya molar olarak konsantrasyonunu ifade eder. Böylece sistemin oluşturduğu bütün ara fazları veya belli bir kısmını diyagramda görebiliriz.



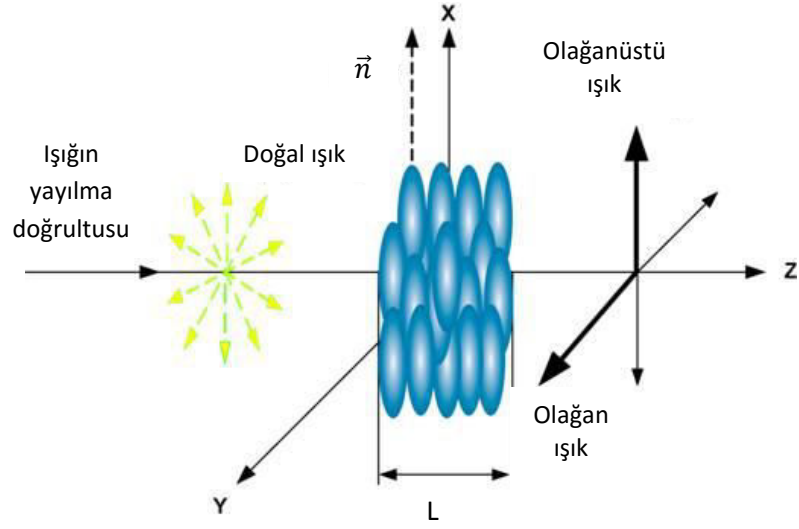
Şekil 2.16. Faz diyagramında $x_A + x_B + x_C = 1$ olacak şekilde üçlü sistemin bileşenlerinin ağırlıkça veya molar konsantrasyonları verilir (Neto and Salinas, 2005).

2.4 Liyotropik Sıvı Kristallerin Optiksel Özellikleri

Liyotropiklerin anizotropik doğası, misellerin şekillerinden ve direktörlere göre olan simetrilere kaynaklanmaktadır. Bu yüzden fiziksel özellikleri izotropik materyallere göre oldukça farklıdır. Elektriksel iletkenlik, kırılma indisi, manyetik duyarlılık ve viskozite gibi özellikler, sahip oldukları anizotropiden dolayı direktörün yönüne bağlı olarak değişir. Direktör $\mathbf{n}'$ e paralel veya dik iken farklı değerler alırlar. Diğer yandan izotropik materyallerde ise her yönde aynı değerdedir (Demus et al., 1999).

LSK örneğe gelen ışık, elektrik alan vektörünün direktörle aynı veya dik yönde yaptığı titreşime bağlı olarak farklı hızda ilerler. Bu yüzden liyotropikler optiksel anizotropiye sahiptir. Örnek olarak z yönünde ilerleyen ışık, LSK materyalinden geçerken x yönünde yönelmiş direktöre bağlı olarak hızı değişir. Diğer bir ifadeyle x yönünde elektrik alanı titreşim yapan olağanüstü ışık ve y

ekseninde titreşim yapan olağan ışık farklı hızda ilerler (Şekil 2.17) (Singh, 2002; Jenkins et al., 1976; University of Cambridge, 2015).



Şekil 2.17. LSK örneğinin içinden geçen ışık direktör yönüne bağlı olarak iki farklı hızda ilerler.

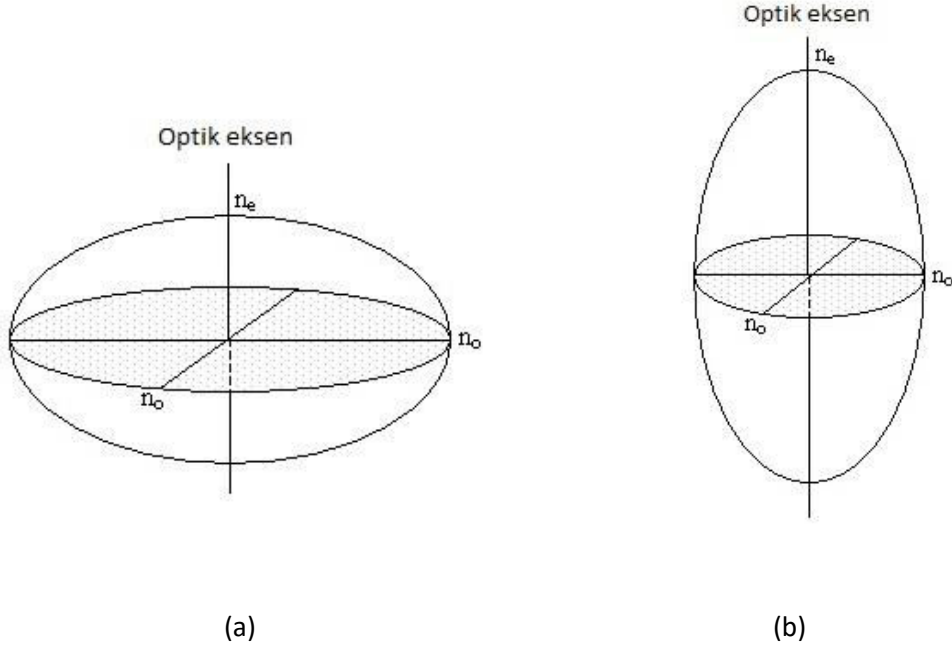
Işığın hızının direktörün yönüne göre değişmesi, kırılma indisleri değerlerinin de direktörünün yönüne bağlı olduğunu gösterir. Bu yüzden tek eksenli LSK, direktörün yönüne bağlı olarak iki kırılma indisine sahiptir. Bu kırılma indisleri olağan kırılma indisi (n_o) ve olağanüstü kırılma indisi (n_e) dir. n_o , ışığın elektrik alan vektörünün direktöre dik doğrultuda, n_e ise direktör boyunca titreşim yaptığı yerde ölçülür. Tek eksenli LSK'ler bir tane optik eksene sahiptirler ve n_e ile n_o optik ekseninde aynı değere sahiptirler (Jenkins and White, 1976).

Kırılma indisi değerlerinin yöne bağlı olmasıyla, LSK'ler çift kırıcılık özelliği gösterir. Çift kırıcılık özelliği gösteren materyaller, olağan ve olağanüstü kırılma indislerinin arasındaki farkla karakterize edilirler. Çift kırıcılık indisi (Δn) aşağıdaki formülle verilir:

$$\Delta n = n_e - n_o$$

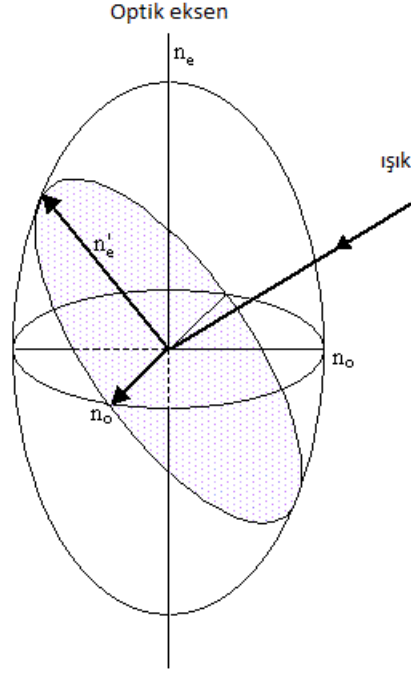
Δn , pozitif veya negatif işaret alabilir. Bu da liyotropiklerin iki farklı optiksel anizotropi işaretine sahip olduğunu gösterir. Kırılma indislerinin yöne bağlı değişimlerinin şematik gösterimi "kırılma indisi elipsoidi" olarak adlandırılan çizimle gösterilir (Jenkins and White, 1976).

Optiksel anizotropisi pozitif olan liyotropiklerde elipsoidin şekli, optik eksen boyunca şişkindir. Diğer bir deyişle elipsoidin uzun eksen optik eksen olmaktadır (Şekil 2.18.a). Bu durumda $\Delta n > 0$ veya $n_e > n_o$ dir. Negatif anizotropiye sahip olan liyotropikler ise elipsoid şekli optik ekseninde basıktır. Yani olağan ve olağanüstü ışınların kırılma indisleri uzun ekseninde aynı olmaktadır (Şekil 2.18.b) ve $\Delta n < 0$ veya $n_e < n_o$ şeklindedir (University of Cambridge, 2015).



Şekil 2.18. a) Pozitif ve b) negatif optiksel anizotropinin elipsoid gösterimi.

Olağan kırılma indisi, yöne bağlı olmadığından elipsoidin dairesel kısmında gösterilir. Bu kırılma indisi optik eksene diktir. Olağanüstü ışığın kırılma indisi yöne bağlı olarak değiştiğinden elips şeklindedir ve optik eksenle yapılan açıya bağlı olarak değişmektedir. n'_e ile gösterilir (Şekil 2.19.a). Elipsoidin optik eksen ve olağanüstü ışığın titreşim yönünü içeren herhangi bir kesitini aldığımızda elips geometrisinden n'_e değerini ifade edebiliriz (Şekil 2.19.b) (University of Cambridge, 2015).



Şekil 2.19. n'_e nin yöne bağlılığının kırılma indisi elipsoinde gösterimi.

Kırılma indisi elipsoidinin şeklinden yola çıkarak kırılma indisleri arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$\frac{x^2 + y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} = 1$$

Şekildeki P noktası için $x = n'_e \cos \theta$, $y = 0$ ve $z = n'_e \sin \theta$ değerlerini alırsa böylece

$$\frac{(n'_e \cos \theta)^2}{n_o^2} + \frac{(n'_e \sin \theta)^2}{n_e^2} = 1$$

elde ederiz. Böylece genel olarak olağanüstü kırıcılık indisinin değeri, ışığın dalga cephesinin optik eksenle yaptığı açıya bağlı olarak değişmektedir. Açıya bağlı olarak bu değer aşağıdaki şekilde verilir (Kelly and O'Neill, 2001).

$$n_e'^2(\theta) = \left(\frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} \right)^{-1}$$

Böylece açıya bağlı olarak çift kırıcılık değeri de aşağıdaki gibi olur (Kelly and O'Neill, 2001).

$$\Delta n(\theta) = n_e(\theta) - n_o$$

Diğer yandan optik yol farkı, çift kırıcılıkla ilgili temel kavramlardan birisidir. Işığın iki farklı bileşeni farklı hızlarla hareket ettiklerinden aralarında bir optik yol farkı oluşacaktır. Böylece optik yol farkı, anizotropik ortamda ortaya çıkan olağan ışık ile olağanüstü ışık arasındaki faz kaymasını tanımlar. Genellikle optik yol farkı aşağıdaki şekilde verilir:

$$\Delta = L(n_e - n_o) = L\Delta n$$

Burada Δ optik yol farkı ve L örneğin kalınlığıdır. Buna göre örneğin kalınlığı ne kadar büyük olursa optik yol farkı da o kadar uzun olmaktadır (Murphy et al., 2015). Bu yüzden optik yol farkı nedeniyle olağan ışın ile olağanüstü ışın arasında faz farkı meydana gelir.

Eğer ışığın dalga vektörü optik eksene göre θ açısı ile gelirse olağan ışığın hızı c_0/n_o ve olağanüstü ışığın hızı $c_0/n_e(\theta)$ olacaktır. Olağan ışığın dalga vektörünün değeri;

$$|\vec{k}_o| = k_o = \frac{\omega n_o}{c_0} = \frac{2\pi n_o}{\lambda_0}$$

ve olağanüstü ışığın dalga vektörünün değeri;

$$|\vec{k}_e| = k_e = \frac{\omega n_e(\theta)}{c_0} = \frac{2\pi n_e(\theta)}{\lambda_0}$$

ile verilir. ω ve λ sırasıyla ışığın açısal frekansı ve dalgaboyudur. Böylece olağan ve olağanüstü ışınların fazları sırasıyla;

$$\phi_o = k_o L = \frac{2\pi n_o L}{\lambda_0}$$

$$\phi_e = k_e L = \frac{2\pi n_e(\theta) L}{\lambda_0}$$

olacaktır. Böylece faz farkı;

$$\Delta\phi = \phi_e - \phi_o = \frac{2\pi L}{\lambda_0} (n_e(\theta) - n_o)$$

olur. n herhangi tam sayı olmak üzere;

$$\phi_e - \phi_o = 2n\pi$$

durumunda ışınlar arasında faz farkı olmayacaktır ve gelen ışığın polarize düzlemine benzer şekilde polarize olarak çıkacaktır (Kliger et al., 1990).

Misellerin anizotropilerinin sıcaklığa bağlı olması nedeniyle, anizotropik materyallerin çift kırıcılık değerleri sıcaklığa bağlı olarak değişirler. Çift kırıcılık değeri sıcaklığın artmasıyla azalır ve izotropik faz geçişi sıcaklığında kaybolur. Genel olarak kırılma indisleri sıcaklığın artmasıyla düşüş göstermişlerdir. Bunların nedeni sıcaklığın artmasıyla misel yapılarının anizotropisinde meydana gelen değişimdir (Larson and Litster, 1984; Santoro et al., 2002; Kimura et al., 2014).

Liyotropik sıvı kristallerin ara fazlarının optiksel anizotropilerinin işareti sahip oldukları misellerin yapılarına bağlı olarak negatif veya pozitif olmak üzere çeşitlilik gösterebilmektedir. Genel olarak N_c ve hegzagonal E arafazının optiksel anizotropisinin işareti negatif ($\Delta n < 0$) iken N_d ve lamelar D ara fazlarının işaretleri pozitifdir ($\Delta n > 0$) (Kazancı and Nesrullajev, 2003). Diğer yandan pozitif optiksel anizotropi işaretine sahip N_c ve hegzagonal E arafazları bulunabildiği gibi negatif işaretli N_d ve lamelar D arafazları da bulunabilmektedir (Sonin, 1987).

2.5 Liyotropik Sıvı Kristallerin Diamanyetik Özellikleri

LSK'lar diamanyetik materyallerdir ve ara fazlara göre diamanyetik anizotropilerinin işareti değişebilmektedir. Ara fazlarda diamanyetik anizotropinin nedeni ise misellerinin şekillerinden kaynaklanmaktadır (Sonin, 1987; Charvolin et al., 1979). Bu nedenle liyotropik sıvı kristaller, çok düşük manyetik alanlardan bile önemli ölçüde etkilenirler (Lowrie, 2007).

Manyetik alan liyotropiklere etki ettiğinde, manyetik dipole sahip olmalarını sağlar. Liyotropik örneğin birim hacmi başına düşen manyetik dipol, manyetizasyon olarak tanımlanır ve $\vec{M}$ ile gösterilir (Collings, 1990).

$$\vec{M} = \frac{N}{V} \vec{m} = n \vec{m}$$

Burada $\vec{m}$ manyetik momenti temsil eden vektör, V hacim ve N liyotropik örnekteki manyetik momentlerin sayısını temsil eder. n ise N/V miktarıdır ve manyetik momentlerin yoğunluğudur. Manyetizasyonun birimi SI birim sisteminde A/m' dir.

LSK'larda manyetik alanın etkisi alanın yönüne bağlı olarak değişir. Direktöre paralel etki eden manyetik alan ile dik olarak etki eden manyetik alan, liyotropiklerde farklı manyetizasyon değerlerine yol açar. Liyotropik sıvıların akışkanlık özelliği sayesinde direktörler rahatlıkla yön değiştirebilirler. Miseller yüksek manyetizasyon değerine sahip olan yön boyunca yönelme eğilimi göstereceklerdir. Liyotropiklerin daha yüksek manyetik anizotropiye sahip olması daha küçük manyetik alanda yönlenebilmelerini sağlar (Collings, 1990).

Manyetik alanın daha büyük olması daha büyük manyetizasyona yol açar. Manyetizasyon ile uygulanan manyetik alanın şiddeti genellikle sabittir ve bu sabit *manyetik duyarlılık* olarak isimlendirilir ve χ ile gösterilir.

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

Burada $\vec{H}$, manyetik alandır ve χ birimsizdir. Liyotropikler iki tane manyetik duyarlılık değerine sahiptirler: direktöre dik yöndeki $\chi_{\perp}$ ve direktöre paralel $\chi_{\parallel}$ (Collings, 1990). Bu iki duyarlılık arasındaki fark manyetik anizotropiyi ($\Delta\chi$) yi verir.

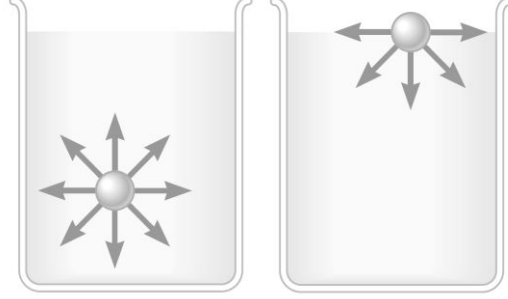
$$\Delta\chi = \chi_{\perp} - \chi_{\parallel}$$

Ara fazların direktörleri, manyetik alan etkisi altında yönelmeleri diamanyetik anizotropinin işaretine bağlıdır. $\Delta\chi > 0$ olduğunda direktör manyetik alan boyunca yönelecektir. Diğer yandan $\Delta\chi < 0$ özelliğe sahip ara fazlar ise direktöre dik olarak yönelirler. N_c ve E ara fazları genellikle diamanyetik anizotropileri pozitifdir ve misellerin direktörleri alan boyunca yönelir. N_d ve D ara fazları ise negatif anizotropiye sahiptir ve direktörler alana dik olarak yönelirler (Sonin, 1987).

2.6 Yüzey Gerilim Özellikleri

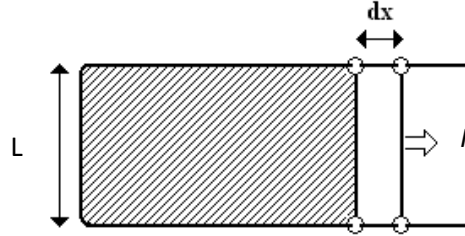
Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzeyindeki molekülleri üzerinde kohezif denilen moleküller arası çekici kuvvetlerinin dengeli olmamasından kaynaklanır ve sıvının yüzeyinde birim alanda meydana gelen enerji artışı temel alınarak hesaplanır.

Sıvının içindeki moleküller her yönden diğer moleküller tarafından çekilir ve dengededir. Ama sıvının yüzeyindeki moleküller, içeriye doğru net kuvvetle çekilmektedir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Sıvının yüzeyindeki moleküle etki eden net kuvvet, sıvının içine doğrudur.

Bu sebepten yüzey gerilimi yüzeydeki moleküllerin, sıvının içindeki moleküller tarafından içeri doğru çekilmesiyle oluşur. Bu çekici kuvvetler, sıvının yüzey alanını aşağı doğru bükme ve alanda değişime neden olur. Bir sıvının yüzey gerilimi γ , sıvının yüzey alanındaki değişimden dolayı enerjisinde meydana gelen değişimden kaynaklanır. Şekil 2.21’ de sıvının yüzeyinde meydana gelen değişim gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Sıvının yüzey alanında meydana gelen değişim için yapılan iş.

Buna göre sıvının yüzey alanının minimum olması için gereken iş;

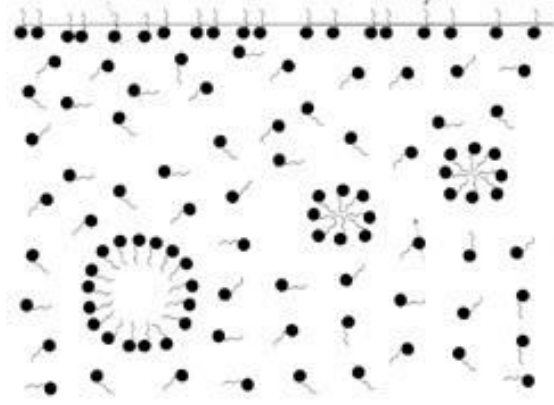
$$W = F \Delta x$$

ile verilir. Alandaki değişim $\Delta A = 2L \Delta x$ şeklindedir. 2 çarpanı her iki yüzeyde meydana gelen değişimi belirtir. Böylece birim alan değişiminde yapılan iş olan yüzey gerilimi;

$$\gamma = \frac{W}{\Delta A} = \frac{F \Delta x}{2 L \Delta x} = \frac{F}{2 L}$$

şeklindedir (Massachusetts Institute of Technology, 2015).

Yüzey gerilimi, sıvı içerisindeki sürfektan moleküllerin varlığından etkilenmektedir. Örnek olarak su içerisindeki sürfektan moleküllerin davranışını değinebiliriz. Buna göre sürfektanların hidrofilik kısımları su moleküllerinden olabildiğince uzaklaşma davranışı gösterecektir. Böylece sürfektanlar hava-su yüzeyinde birikmeye başlarlar ve yüzey gerilimini düşürürler (Şekil 2.22). Eğer sürfektan konsantrasyonu arttırılırsa CMC değerinden sonra küresel miseller oluşmaya başlayacaktır (Bell et al., 2007).

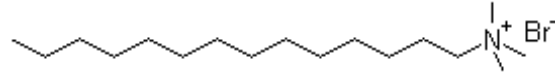


Şekil 2.22. Sürfektanların su içerisindeki davranışı (Bell et al., 2007).

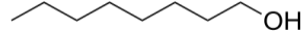
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Liyotropik Çözeltilerin Hazırlanması

Liyotropik karışım, Tetradecyltrimethylammonium bromide (TTAB, $C_{14}H_{29}(CH_3)_3NBr$) amfifil materyali, oktanol ($C_8H_{18}O$) ve ultrasaf su çözücüsünden oluşturulmuştur. Çözünenler saflığı en az %99 olmak üzere TTAB ve oktanol sırasıyla Sigma-Aldrich (cat no: T4762) ve Merck AG (Cat. No. 100991)'dan alınmıştır. TTAB, 17 karbondan oluşan katyonik bir amfifil moleküldür (Şekil 3.1.a) ve oktanol alkolü ise 8 karbondan oluşmaktadır (Şekil 3.2.b). Polar çözücü olan su ile birlikte bu sistem, liyotropik sıvı kristal (LSK) oluşturmak için oldukça uygundur.



(a)



(b)

Şekil 3.1. a) TTAB' ın ve b) oktanolün molekül yapısı.

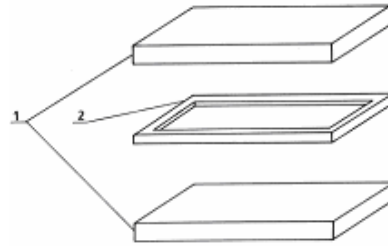
Sistemin bileşenlerinin toplamı ağırlıkça %100 olmak üzere, TTAB %25-45, su %55-75 ve oktanol %1-20 arasında değişecek şekilde farklı konsantrasyonlarda liyotropik çözeltiler oluşturulmuştur. Her bileşenin konsantrasyonu %1'er arttırılarak ya da azaltılarak karışımlar elde edilmiştir. Her bir çözeltinin bileşenlerine ait konsantrasyonları, AND marka HR-120 model hassas terazide 10^{-4} g duyarlılıkla ölçülmüştür. Örnekler temiz cam tüpler içine yerleştirilmiş ve hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Liyotropik sistemlerin oluşması için örnekler, her gün titreştirici ile karıştırılarak yaklaşık 14 gün boyunca 308 K de termostat içinde tutulmuştur. Bu sürenin sonunda sistemin liyotropik olup olmadığı polarize mikroskop yöntemiyle tekstürlerinin incelenmesiyle kontrol edilmiştir. Ayrıca oluşturulan liyotropik sistemin homojenlikleri, çapraz polarizörler arasında incelenmiştir.

3.2 Polarize Mikroskop Yöntemi

Polarize mikroskop yöntemi, liyotropik örneklerin morfolojik özelliklerini tespit edebilmek için kullanılan yaygın yöntemlerden bir tanesidir (Rosevear, 1968). Her liyotropik ara faz farklı morfolojik özelliğe sahiptir. Ara fazlar, karakteristik morfolojik özellikler sergilediklerinden dolayı polarize mikroskop yöntemiyle konsantrasyon ve sıcaklığa bağlı olarak tespit edilebilir.

Değişik konsantrasyonlardaki liyotropik örnekleri polarize mikroskop yöntemiyle incelemek için sandviç hücrelerden yararlanılabilir. Sandviç hücreler kapalı sistemlerdir ve liyotropik örnekleri oluşturan bileşenlerin, konsantrasyonlarını sabit tutarak mikroskopta incelenmesini sağlar.

Sandviç hücreler iki referans camdan (mikroskop lamlarından) ve bu iki camı birleştiren orta kısmı kesilmiş çift taraflı banttan oluşmaktadır. Öncelikle, referans camlardan bir tanesi üzerine, orta kısmı kesilmiş çift taraflı bant yapıştırılmıştır. Daha sonra liyotropik sisteme ait örnek, spatül kullanılarak çift taraflı bandın kesilmiş kısmına birkaç damla olacak şekilde konulmuştur. Buradaki örneğin özellikle çift taraflı bant ile temas etmemesi dikkat edilmiştir. Son olarak üst cam, yapışkan bandın ve ortasındaki örneğin üzerine kapatılarak sandviç hücre hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Çift taraflı bandın kalınlığı sabittir ve 120 µm boyutundadır. Böylece sandviç hücre içerisine konulan farklı konsantrasyonlardaki her bir liyotropik örneğin, polarize mikroskop yöntemiyle morfolojik özellikleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.2. Sandviç hücrenin şekli. 1) mikroskop camları, 2) çift taraflı bant (Masalcı, 2006).

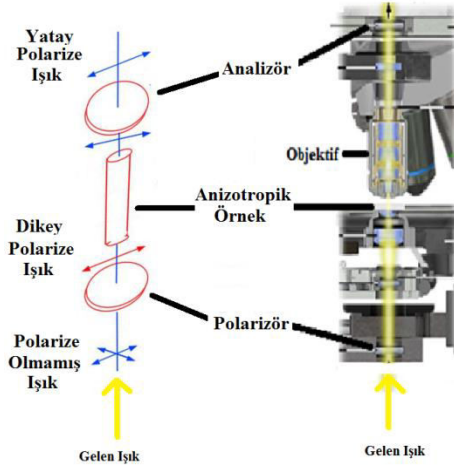
Ara fazlar, anizotropik özelliklere sahip olduğundan dolayı polarize mikroskop altında tekstür adı verilen farklı mikrofotograf sergilerler ve her biri farklı tekstür özellikleri gösterir. Bu yüzden, sandviç hücre içerisindeki örneklerin polarize mikroskop altındaki görüntüleri belli oranda büyütülerek tekstürleri incelenmiş ve ara fazları tespit edilmeye çalışılmıştır. Deney düzeneği; Olympus

BX-50P marka polarize mikroskop, mikroskop-fotoğraf makinesi bağlantısını sağlayan mercek sistemi (Şekil 3.3) ve Olympus C-5060 marka dijital fotoğraf makinasından oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Olympus BX-50P marka polarize mikroskop.

Polarize mikroskop, çapraz polarizör ve analizörden oluşmuştur. Bu yüzden izotropik örnekler, analizörden ışık geçmediği için okülerden siyah olarak görülürler. Diğer yandan polarizörden düzlem kutuplanarak çıkan ışık, anizotropik örnekte olağan ışık (o-ışık) ve olağanüstü ışık (e-ışık) olarak ikiye ayrılır. e-ışığın hızı liyotropik arafazın misel direktörüyle yaptığı açıya bağlıdır. Bu yüzden liyotropik örnekten çıktıktan sonra o-ışıkla birleşebilir ve farklı düzlemde polarize olabilir (Şekil 3.4) (Kelly and O'Neill, 2001). Böylece analizörden geçen ışık, her bir ara fazın morfolojik özelliğine bağlı olarak farklı karakteristik tekstür özellikleri gösterir.



Şekil 3.4. Polarize mikroskop çalışma prensibi.

Polarize mikroskop kullanılarak farklı konsantrasyondaki her bir liyotropik örneğin morfolojik özellikleri incelenmiştir ve böylece ara fazları tespit edilmiştir. Elde edilen ara fazlar, üçlü sistemin bileşenlerinin ağırlıkça konsantrasyonuna bağlı olarak faz diyagramında gösterilmiştir.

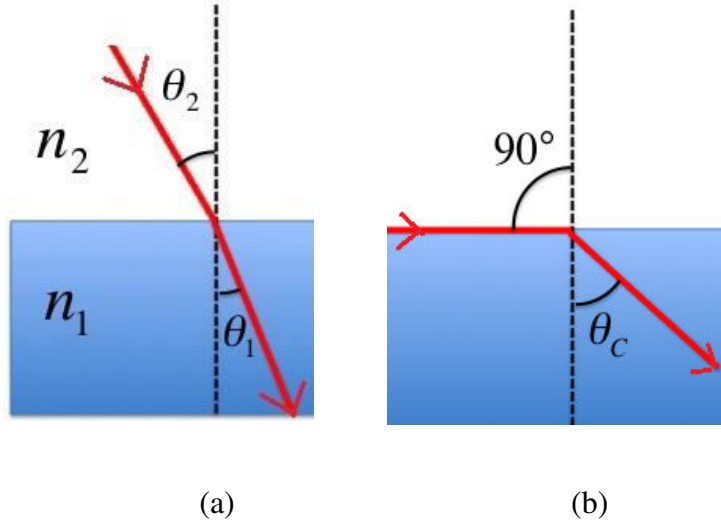
3.3 Refraktometre Yöntemi

LSK örneklerin kırıcılık indis ölçümleri için Abbe refraktometresi kullanılmıştır. Bu refraktometre, oldukça yaygın bir şekilde saydam sıvı ya da katı cisimlerin ölçümleri için kullanılmaktadır.

Abbe refraktometresinin temel çalışma prensibi, Snell yasasına dayanır (Hecht, 2002) ve bu yasaya göre ;

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

şeklindedir. Burada n_1 ve n_2 sırasıyla ışığın geldiği ve geçtiği ortamın kırıcılık indisi, normale yaptıkları açı ise θ_1 ve θ_2 dir. Işık, daha yoğun bir ortama geçtiğinde normale yaklaşır (Şekil 3.5.a). Eğer gelen ışığın normale yaptığı açı 90° olursa, daha yoğun ortama kritik açıyla (θ_c) kırılarak geçer (Şekil 3.5.b). Diğer ışınlar daha büyük bir açıyla kırılmazlar ancak normale daha yaklaşıp kırılırlar. θ_c değeri, ortamın kırıcılık indisi değerine göre değişmektedir.

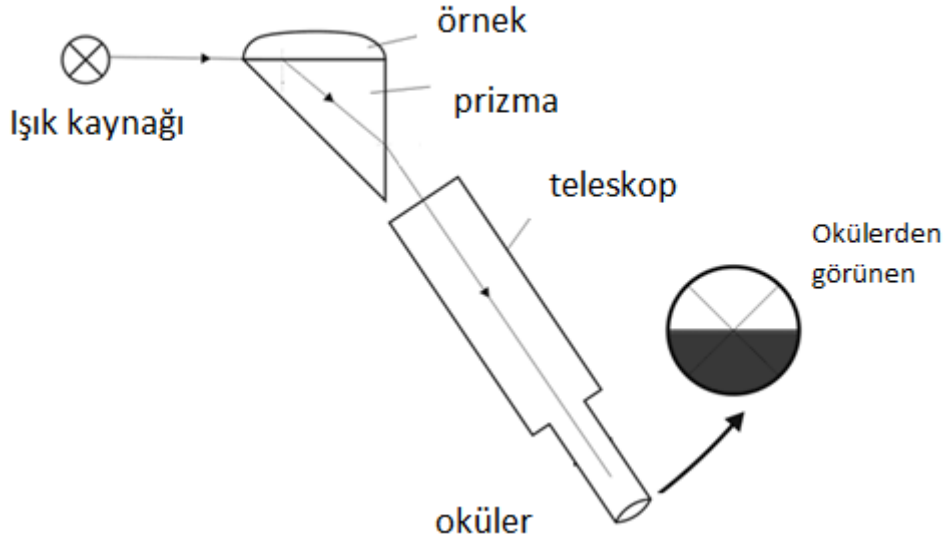


Şekil 3.5 a) Işığın farklı ortama geçerken kırılması Snell yasasına uyar b) Daha yoğun ortama 90° ile gelen ışık kritik açıyla kırılır (Stony Brook University, 2015).

Abbe refraktometresi ölçülen ortamın kırılma indisini, θ_c değerini tespit ederek bulmaya çalışır. Buna göre, refraktometrenin prizması üzerindeki örneğe, normale dik olarak gelen ışık, normalle en çok kırılan ışık olacaktır. Diğer ışınlar daha küçük açıyla kırılacaklar ve böylece refraktometrede okülerden bakıldığında aydınlık ve karanlık bölgeler görülecektir. Aydınlık bölgenin sınırını ise θ_c açısıyla kırılan ışınlar belirler ve bu durumda kırılma indisi değeri θ_c ye bağlı olacak şekilde ayarlanabilir. Böylece Snell yasası;

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

olur ve denklemde prizmanın n_2 değeri bilindiğinden, ortamın kırılma indisi değeri n_1 , θ_c değerine bağlı olarak tespit edilir. Bu yüzden refraktometrede kırılma indisi değeri, okülerden görünen aydınlık ve karanlık bölgeleri ayıran çizginin çapraz çizgilerin ortasına getirilmesiyle göstergeden okunacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Abbe refraktometresinin genel çalışma prensibi (Refratometer.pl, 2011).

Bu çalışmada Deluxe Illuminated Abbe refraktometre kullanılmıştır (Şekil 3.7). Ayrıca refraktometreye sıcaklığa bağlı ölçümler için Thermomix ME termostat sistemi ve termoçift eklenmiştir.



Şekil 3.7. Abbe refraktometresi

Kırıcılık indisleri ölçmek için sıvı kristal örnek, Abbe refraktometresinin prizmaları arasına ince bir tabaka olacak şekilde sürülmüştür ve örneğin sıcaklığı termoçift ile ölçülmüştür. Termostat sistemi Abbe refraktometresine bağlıdır ve örneğin sıcaklığı su döngüsü ile değiştirebilir. Böylece sıcaklığa bağlı olarak liyotropik sistemin kırıcılık indisi ölçülebilmektedir.

3.4 Elektriksel İletkenlik Yöntemi

Üçlü sistemin elektriksel iletkenliği, WTW marka Cond Level 3 modülü ve ona bağlı kontrol terminali kullanılarak incelenmiştir (Şekil 3.8). Ölçümler için gerekli parametreler, entegre bir yazıcı içeren terminal yoluyla sağlanır. Prob ölçüm modülüne bağlıdır. Terminal ölçme modülünü ve probunu otomatik olarak algılamaktadır. Böylece sonuçlar doğrudan terminal ekranında görülebilmektedir. Bu çalışmada TetraCon 325 probu kullanılmıştır. Bu prob, -5 °C ile 100 °C arasındaki sıcaklıklarda 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den 2 S/cm 'ye kadar %0,5 duyarlılıkta iletkenlik ölçebilmektedir. Ayrıca sisteme PHYWE marka termostat eklenerek sıcaklığa bağlı olarak elektriksel iletkenlik ölçümü yapılabilir (Okcan, 2005).

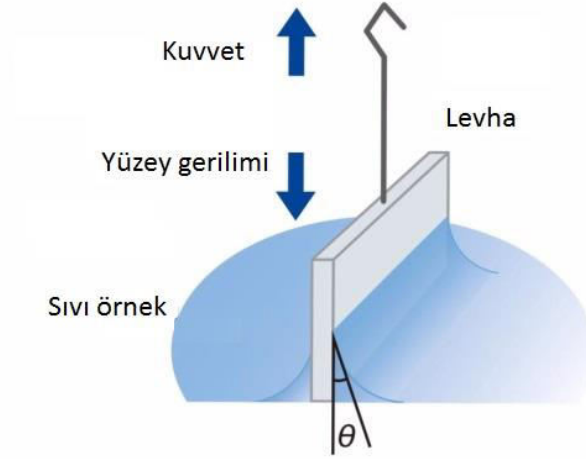


Şekil 3.8. WTW marka Cond Level 3 modülü kontrol terminali.

Liyotropik örneklerin saklandığı şişelerin, probun gireceği boyutlarda olmasına dikkat edilmiştir. Prob örneğin içine yerleştirildikten sonra şişelerin ağzı myler film ile kapatılmıştır. Ölçüm sırasında cam şişe termostat ile sıcaklığı ayarlanabilen su banyosuna daldırılmıştır. Böylece örneğin sıcaklığı kademeli olarak artırılarak farklı sıcaklıklardaki elektriksel iletkenliği ölçülmüştür.

3.5 Yüzey Gerilimi Ölçümü

Farklı ara fazlardaki liyotropik örneklerin yüzey gerilimleri, Wilhelmy levha yöntemi kullanılarak ölçüldü. Bu yöntemde platinyum veya camdan yapılmış ince bir levha kullanılır. Levha sıvı yüzeyde eğrilik olacak şekilde temas ettirilir. Daha sonra levha sıvının yüzeyinden koparılmaya çalışılarak yüzey gerilimi (γ) ölçülür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Wilhelmy levha yönteminin çalışma prensibi (Kyowa Interface Science Co., 2015).

Bu durumda levhanın uzunluğu l ve ağırlığı W_{levha} olmak üzere levhayı sıvı yüzeyinden ayırmak için gereken minimum kuvvet aşağıdaki gibi olur:

$$F = W_{levha} + 2 l \gamma \cos \theta$$

Burada γ 'nın 2 ile çarpılmasının nedeni, yüzey geriliminin levhanın her iki yüzeyinden de etki etmesidir. Eğer levhanın yüzeyinde θ açısının çok küçük olduğu düşünülürse, γ aşağıdaki şekilde açıklanır:

$$\gamma = \frac{F - W_{levha}}{2 l}$$

Liyotropik sıvı kristal örneklerin yüzey geriliminin ölçülmesi için Krüss EasyDyne marka tensiyometre kullanılmıştır (Şekil 3.10). Wilhelmy levha yöntemiyle yapılan ölçümler için örnekler kap içerisine yerleştirilmiş ve levha çok az bir miktar, tensiyometre tarafından daldırılmıştır. Koparma kuvvetine bağlı olarak yüzey gerilim sonuçları tensiyometrenin ekranında gösterilir (Krüss GmbH, 2015).



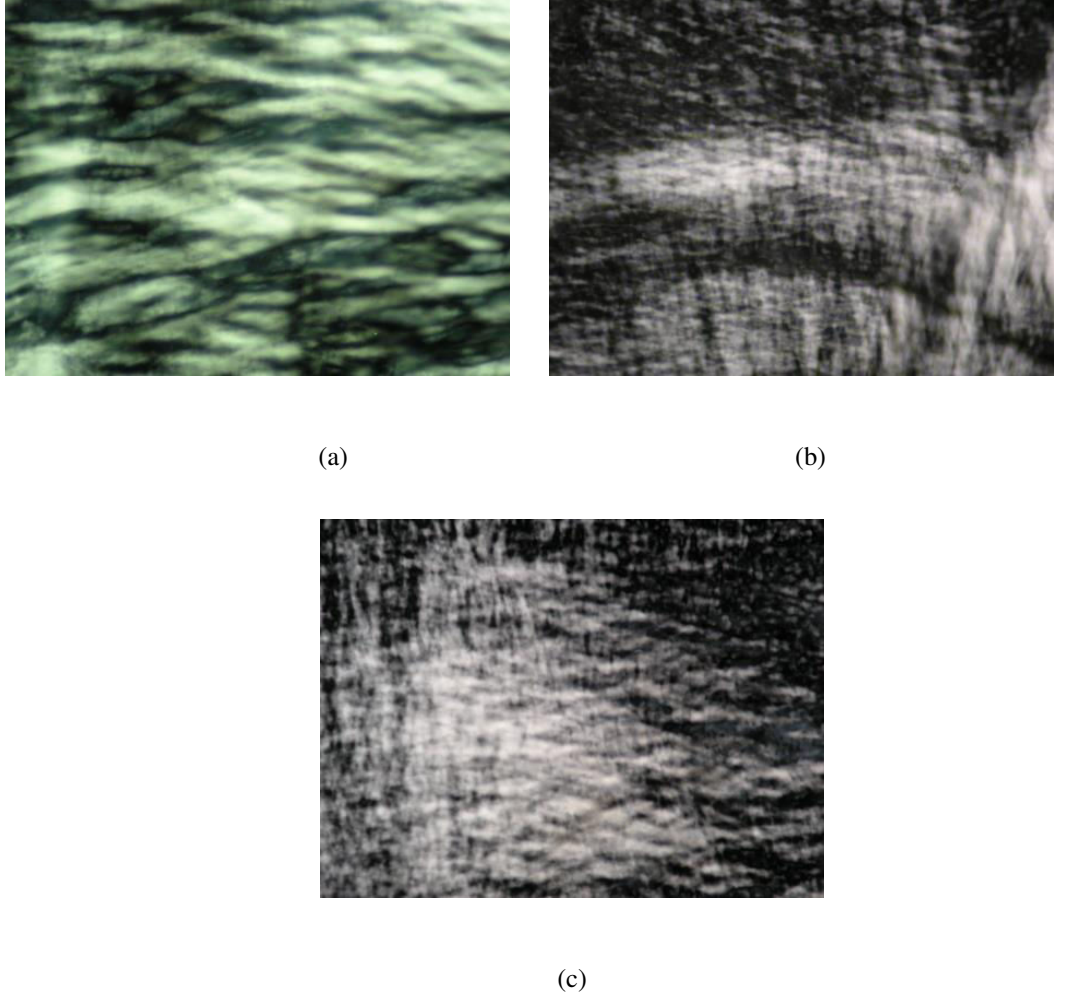
Şekil 3.10. Krüss EasyDyne marka tensiyometre.

4. TTAB+SU+OKTANOL SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

Belirli konsantrasyonlarda oluşturulan TTAB+su+oktanol sisteminin ara fazları, polarize mikroskop yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntemle incelemeler sonucunda, TTAB+su+oktanol sistemlerinin nematik kalamitik (N_c), nematik diskotik (N_d), hegzagonal E ve lamellar D ara fazlarını gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca bu ara fazların anizotropik doğası nedeniyle mikroskop tablasının döndürülmesiyle tekstürlerin ışıklanıp söndüğü görülmüştür. Çünkü misel direktörlerinin tablanın dönmesiyle analizöre göre yönünün değişmesi, polarize ışığın miselle etkileşimini değiştirmektedir.

Üçlü sistemlerin polarize mikroskop yöntemiyle incelenmesiyle, N_c ara fazının tekstürleri, diğer ara fazlara göre daha düşük oktanol konsantrasyonlarında ortaya çıkmıştır. %1 oktanol konsantrasyonundaki örneklerin incelemelerinde tipik N_c tekstürleri elde edilmiştir. Bu tekstürler %32 TTAB konsantrasyonundan itibaren ortaya çıkmaya başlamışlardır ve bu konsantrasyondan öncekilerin izotropik faz olduğu tespit edilmiştir.

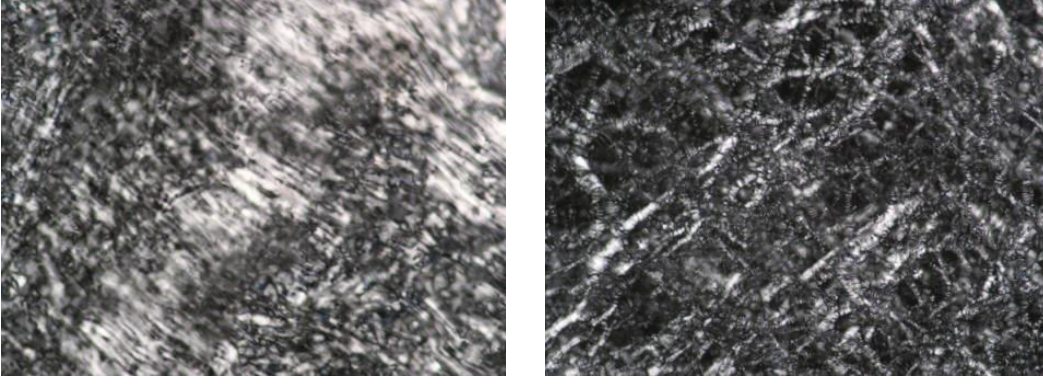
Gözlenen tekstürler, N_c için karakteristik olan ipliksi oluşumlar içermektedir. Şekil 4.1.a' da görüldüğü gibi bu ipliksi oluşumlar, %32 TTAB+%67 su+%1 oktanol konsantrasyonlarındaki tekstürde belirgin şekilde görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.1.b ve Şekil 4.1.c' de de olduğu gibi daha yüksek TTAB konsantrasyonlarındaki tekstürlerde de benzer oluşumlar görülmüştür ama TTAB konsantrasyonunun artmasıyla ipliksi oluşumlar incelmış, uzunlukları kısalmış ve sıklaşmışlardır. %35 ve daha büyük TTAB konsantrasyonlarındaki tekstürlerin incelemelerinde N_c ara fazının olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. N_c ara fazının a) % 32 TTAB+%67 su+%1 oktanol, b) %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol ve c) %34 TTAB+%65 su+%1 oktanol su için elde edilen tekstür fotoğrafları. x100 büyültme.

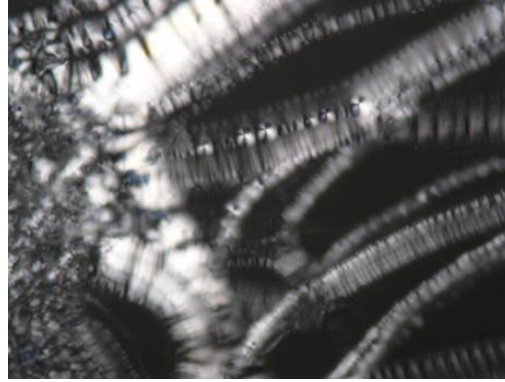
%5 ile %8 oktanol ve %25 ile %39 TTAB konsantrasyonları arasında N_d ara fazına ait tipik tekstürler görülmüştür. Bu tekstürlerde schlieren oluşumlar gözlenmiştir. Schlieren yapılar, direktörlerin sandviç hücrelerin referans yüzeylerine paralel ama farklı yönlerde yönelimlerinden dolayı oluşur. Polarize mikroskop altında gözlenen bu tekstürlere ayrıca “schlieren tekstürler” de denilmektedir (Senyuk, 2015).

Şekil 4.2.a’ da görüldüğü gibi N_d ara fazına ait tekstürlerde, N_c ara fazının tekstürlerinde de gözlenen ipliksi oluşumlar dikkati çekmektedir. Ama bu ipliksi oluşumlar nispeten daha kısa yapıdadırlar. Oktanöl konsantrasyonunun artmasıyla birlikte tekstürde ipliksi oluşumların yoğunluğu azalmış ve sözde-izotropik bölgeler ortaya çıkmıştır (Şekil 4.2.b.). Ayrıca mikroskop altında tekstür görüntüsünün daha da büyütülmesiyle birbiri ardına sıralanmış schlieren oluşumlar görülmüştür (Şekil 4.2.c).



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.2. N_d ara fazına ait tekstür görüntüleri: a) %32TTAB+%62 su+%6 oktanol, b) %38 TTAB+%54 su+%6 oktanol, x100 büyültme ve c) %32 TTAB+%62 su+%6 oktanol, x200 büyültme.

Üçlü sistemde %1 ile %4 oktanol % 32 ile % 45 TTAB konsantrasyonları arasında hegzagonal E ara fazı ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu ara fazın daha diğer ara fazlara göre daha viskoz olduğu deney esnasında görülmüştür (Neto and Salinas, 2005). Hegzagonal E ara fazı geniş bir konsantrasyon aralığında Şekil 4.3.a daki gibi fibröz tekstür göstermiştir. Oktanölün konsantrasyon miktarının artırılmasıyla, tekstürde fibröz yerine filament benzeri oluşumlar meydana gelmeye başlamıştır ve renklenmenin arttığı görülmüştür (Şekil 4.3.b).

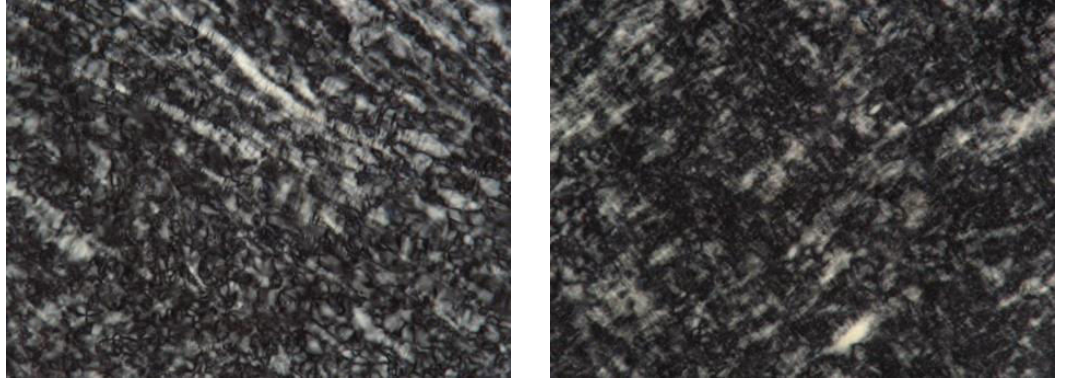


(a)

(b)

Şekil 4.3. Hegzagonal E ara fazına ait tekstür görüntüleri: a) %41 TTAB+%58 su+%1 oktanol ve b) %41 TTAB+%56 su+ %3oktanol, x100 büyültme.

%9 ve daha yukarı oktanol konsantrasyonlarında içinde şerit benzeri yapılar olan mozaik tekstürle lamelar D ara fazı ortaya çıkmıştır. Oktanöl konsantrasyonun artması ile tekstürlerdeki şerit benzeri yapının seyrekleştiği gözlenmiştir (Şekil 4.4).



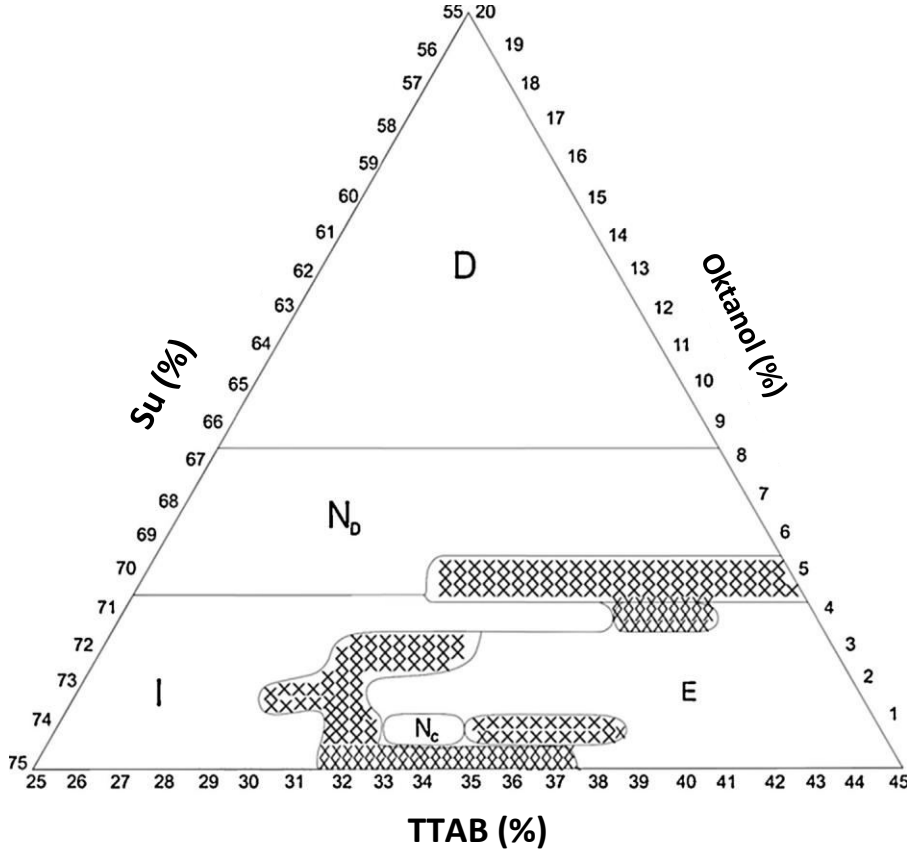
(a)

(b)

Şekil 4.4. Lamelar D ara fazına ait tekstür görüntüleri: a) %36 TTAB+%55 su+%9 oktanol ve b) %26 TTAB+%63 su+%11 oktanol, x100 büyültme.

TTAB+su+oktanol liyotropik sistemlerinin ara fazlarının tekstürleri literatürle karşılaştırılarak ara fazları belirlenmiş ve böylece belirlenen ara fazlar ağırlıkça konsantrasyon yüzdelere göre faz diyagramında gösterilmiştir. Anizotropik ara fazların birbirleri ile daha iyi kıyaslanabilmeleri için konsantrasyon aralıkları TTAB için %25 ile %45, oktanöl için %1 ile %10 ve su için %55 ile %75 olarak seçilmiştir (Şekil 4.5).

Düşük TTAB ve düşük oktanol konsantrasyonlarında izotropik fazın varlığı görülmüştür. TTAB konsantrasyonunun artırılmasıyla, sırasıyla N_c ve hegzagonal E anizotropik ara fazlarını ortaya çıkarmıştır. Diğer yandan oktanol konsantrasyonunun artırılmasıyla da önce N_d ara fazı, daha sonra da lamelar D ara fazı tespit edilmiştir.

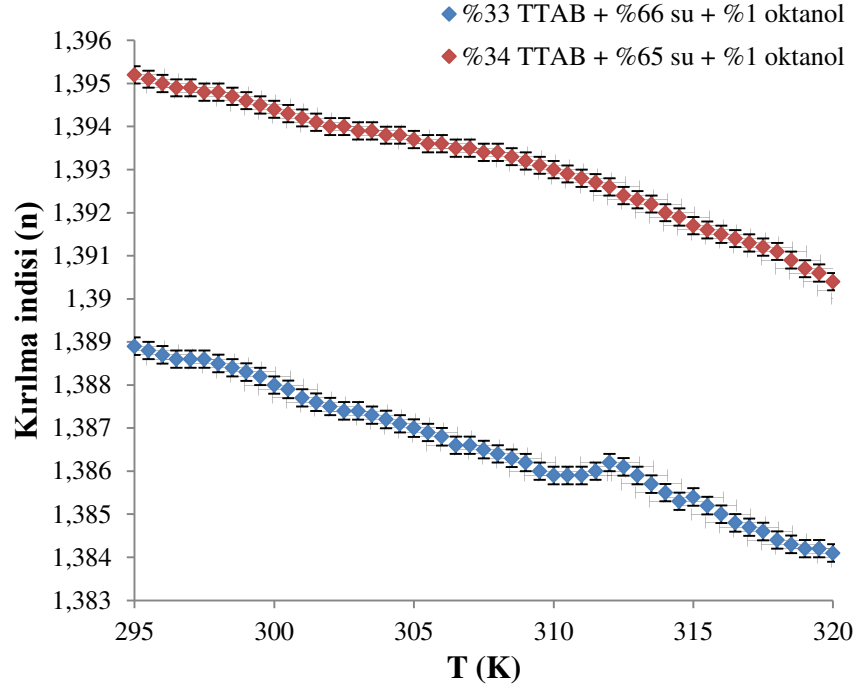


Şekil 4.5. TTAB+su+oktanol sisteminin faz diyagramı, 295 K.

4.1. Optiksel Ölçümler

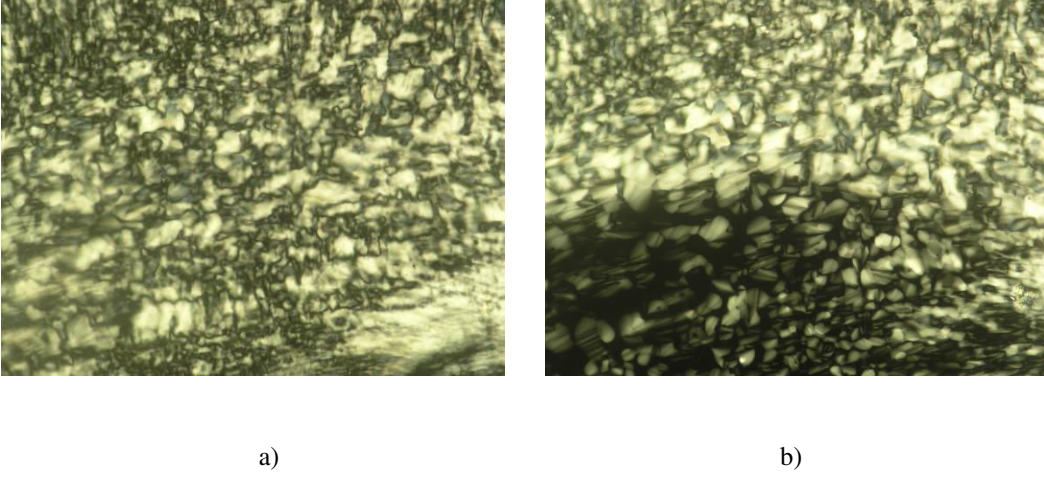
TTAB+su+oktanol sisteminin oluşturduğu ara fazların ortalama kırılma indisi değerleri sıcaklığa bağlı olarak Abbe refraktometresi kullanılarak incelenmiştir. Bu ölçümler sonucunda ara fazların kırılma indisi değerleri sıcaklığın artmasıyla birlikte düşüş gösterdikleri bulunmuştur.

N_c ara fazının kırılma indisi değerleri sıcaklığa bağlı olarak %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol ve %34 TTAB+%65 su+%1 oktanol konsantrasyon değerleri için ölçülmüştür (Şekil 4.6).



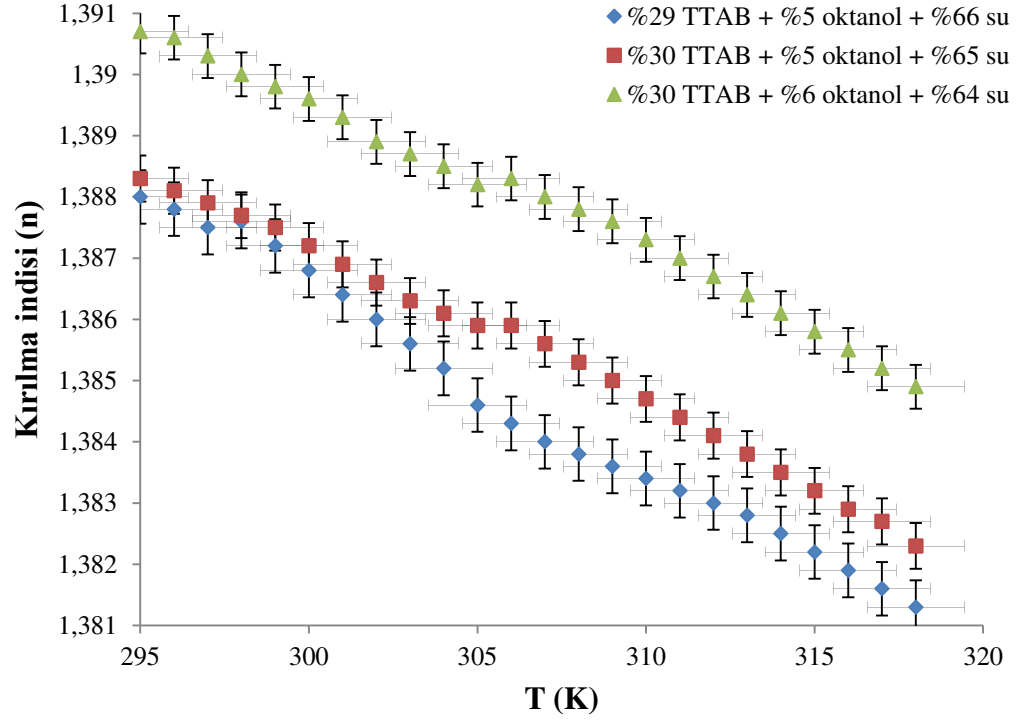
Şekil 4.6. n_c kırılma indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi

Bu sonuçlara göre %34 TTAB+%65 su+%1 oktanol konsantrasyonunun kırılma indisi değeri %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol konsantrasyonu değerinden daha büyük çıkmıştır. Amfifil konsantrasyonu arttıkça kırılma indisi değerinde de artış meydana gelmiştir. Her iki konsantrasyon değeri için de sıcaklığın artmasıyla birlikte kırılma indisi değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Diğer yandan %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol konsantrasyonuna ait kırılma indisi, 310 K sıcaklık değerinde lineerliğin bozulduğu ve kırılma indisinin ani artış gösterdiği görülmektedir. Bu örneğin sıcaklığa bağlı tekstür değişimleri polarize mikroskop altında incelendiğinde bu sıcaklık değerinden sonra izotropik faza geçişin başladığı belirtilmiştir (Şekil 4.7). Diğer yandan %34 TTAB+%65 su+%1 oktanol konsantrasyonunun kırılma indisi değeri sıcaklık artışıyla yaklaşık olarak lineer azalmaktadır. Ayrıca bu örneğin tekstürü 323 K sıcaklığına kadar polarize mikroskop yöntemiyle incelendiğinde tekstüründe bir faz geçişi gözlenmemiştir.



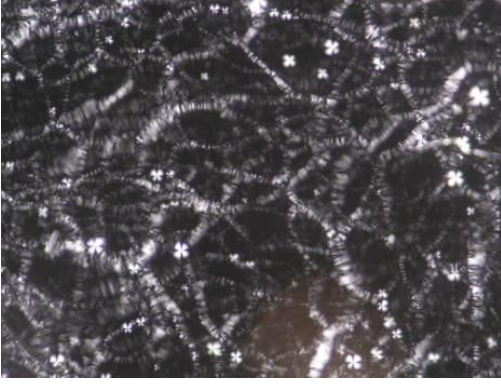
Şekil 4.7. %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol konsantrasyonunun a) 308 K ve b) 312 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri.

N_d ara fazının kırılma indisi değerleri sıcaklığa bağlı olarak incelendiğinde, benzer şekilde sıcaklık artışıyla birlikte değerlerde azalma meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 4.8). Alkol konsantrasyonunun sabit tutulup amfifil konsantrasyonu arttırıldığında kırılma indisi değerinde artış görülmüştür. Bu durumda %30 TTAB+%65 su+%5 oktanol konsantrasyonunun kırılma indisi, %29 TTAB+%66 su+%5 oktanol değerine göre daha yüksek kırılma indisi değerine sahiptir. İki örneğin kırılma indisi değerlerinde belli sıcaklıklarda anlık bir artış meydana gelmiştir. Bu değerler; %29 TTAB+%66 su+%5 oktanol için yaklaşık 298 K iken %30 TTAB+%65 su+%5 oktanol konsantrasyonlu örnek için yaklaşık 305 K dir. N_d ara faz çözeltilerinde, amfifil konsantrasyonu arttıkça izotropik faza geçiş daha yüksek sıcaklıklara çıkmıştır. Diğer yandan amfifil konsantrasyonun sabit tutulup alkolün konsantrasyon değeri arttırıldığında kırılma indisi değerinde belirgin bir artış meydana gelmiştir. Diğer bir ifadeyle %30 TTAB+%64 su+%6 oktanol konsantrasyonlu örneğin kırılma indisi değeri, %30 TTAB+%65 su+%5 oktanol konsantrasyonunda bulunan örnekten daha yüksek kırılma indisi değerine sahiptir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte her iki örneğin de kırılma indisi değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Benzer şekilde %30 TTAB+%64 su+%6 oktanol konsantrasyonlu örnek için de anlık bir kırılma indisi artışı meydana gelmiştir. Bu değer, %30 TTAB+%65 su+%5 oktanol konsantrasyonundaki N_d ara fazının faz geçiş sıcaklığına yakın olup 306 K' dir (Şekil 4.8).

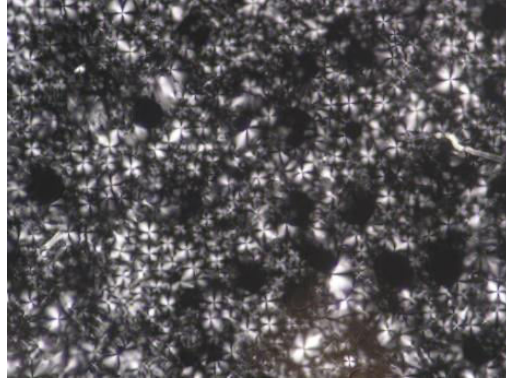


Şekil 4.8. N_d kırıcılık indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

N_d örneklerin kırılma indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı ölçümü yanında polarize mikroskop yöntemiyle de tekstür özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir. %29 TTAB+%66 su+%5 oktanol konsantrasyonuna sahip örneğin tekstüründe sıcaklığa bağlı olarak değişimler incelendiğinde, 298 K sıcaklığında izotropik faza geçiş gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.9). Benzer şekilde izotropik faza geçiş %30 TTAB+%65 su+%5 oktanol konsantrasyonun tekstürü için 305 K civarında başladığı görülmüştür (Şekil 4.10). Daha yüksek alkol konsantrasyonuna sahip %30 TTAB+%64 su+%6 oktanol örneğinin tekstüründe ise 306 K de izotropik faza geçişin başladığı gözlenmiştir (Şekil 4.11).

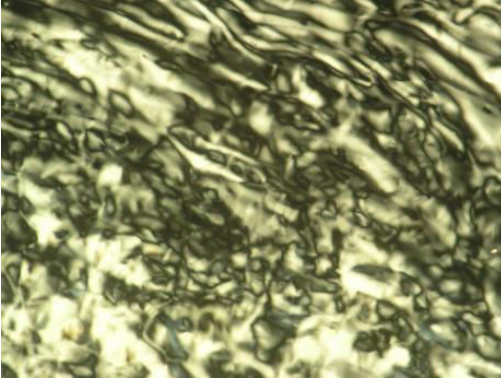


a)

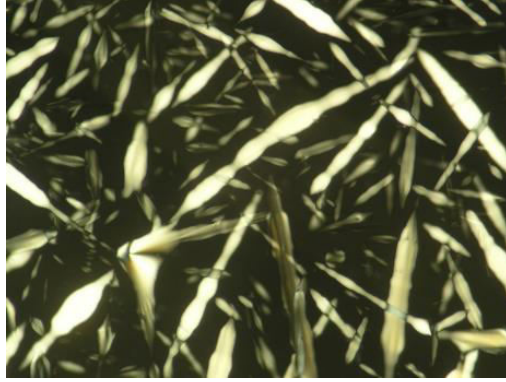


b)

Şekil 4.9. %29 TTAB+%66 su+%5 oktanol konsantrasyonunun a) 297 K ve b) 299 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x100.

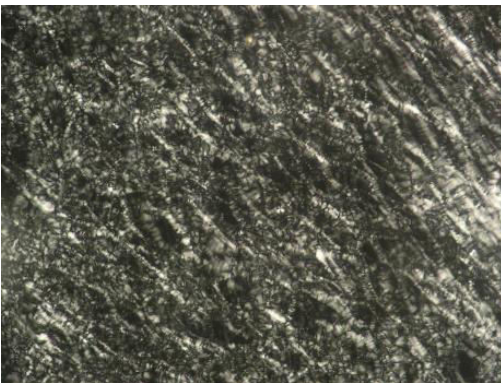


a)

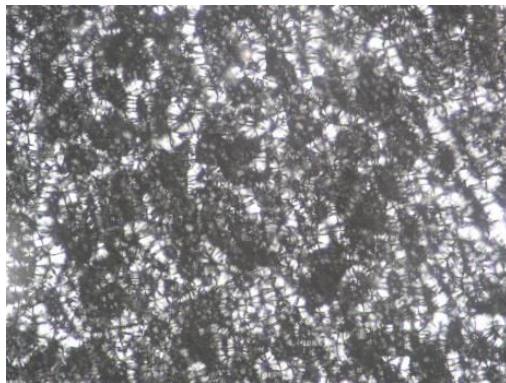


b)

Şekil 4.10. %30 TTAB+%65 su+%5 oktanol konsantrasyonunun a) 296 K ve b) 307 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x100.



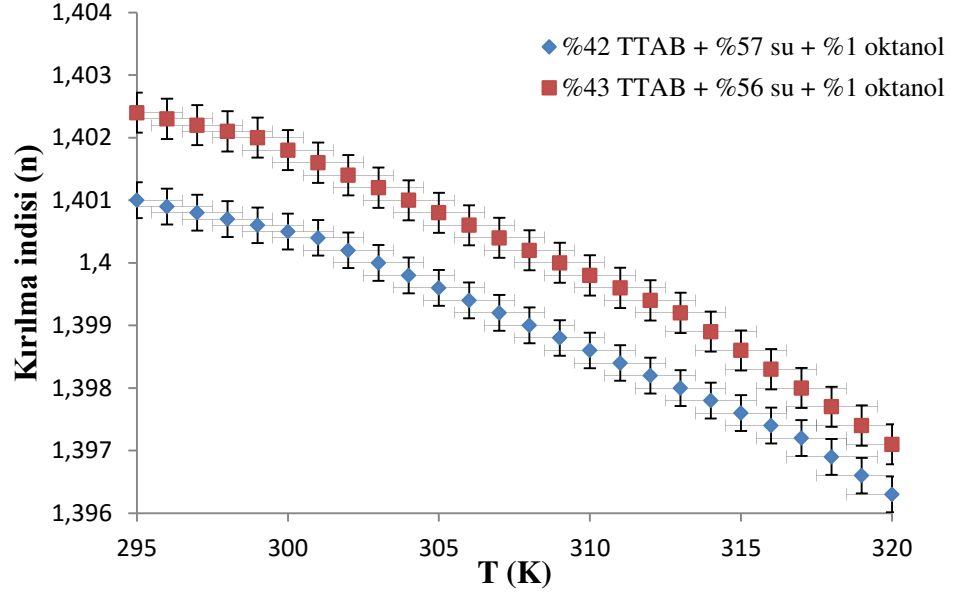
a)



b)

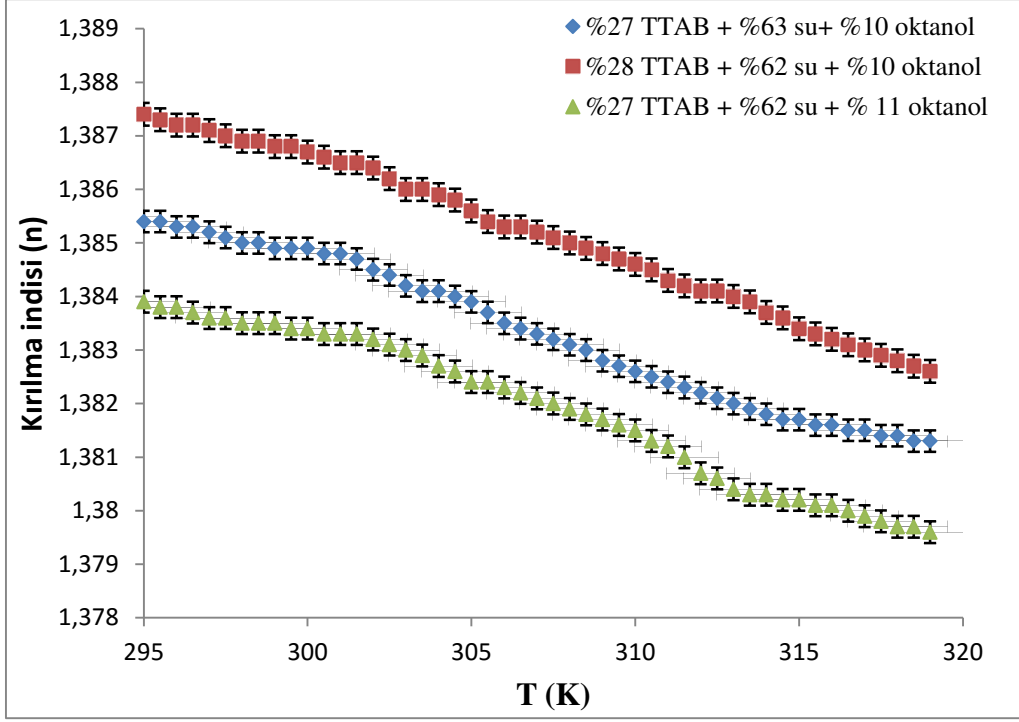
Şekil 4.11. %30 TTAB+%64 su+%6 oktanol konsantrasyonunun a) 294 K ve c) 306 K sıcaklık değerleri için tekstür görüntüleri, büyültme x100.

Hegzagonal E ara fazının ise kırılma indisi değerleri sıcaklığa göre ölçüldüğünde kırılma indisinde meydana gelene azalma, amfifil ve alkol konsantrasyonlarına bağlı olarak farklı hızda düşüş göstermiştir (Şekil 4.12). Ayrıca amfifil konsantrasyonun daha büyük olmasıyla, kırılma indisi değerinin arttığı görülmüştür. Araştırılan sıcaklık aralığında faz geçişi gözlenmemiştir.



Şekil 4.12. Hegzagonal E ara fazının kırıcılık indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Lamelar D ara fazının sıcaklığa bağlı kırılma indisi değerleri ise diğer ara fazlarda olduğu gibi sıcaklığa bağlı olarak azalmıştır (Şekil 4.13). Amfifil konsantrasyonunun artmasıyla, lamelar D ara fazının kırılma indisi değerinde artış meydana gelmiştir.

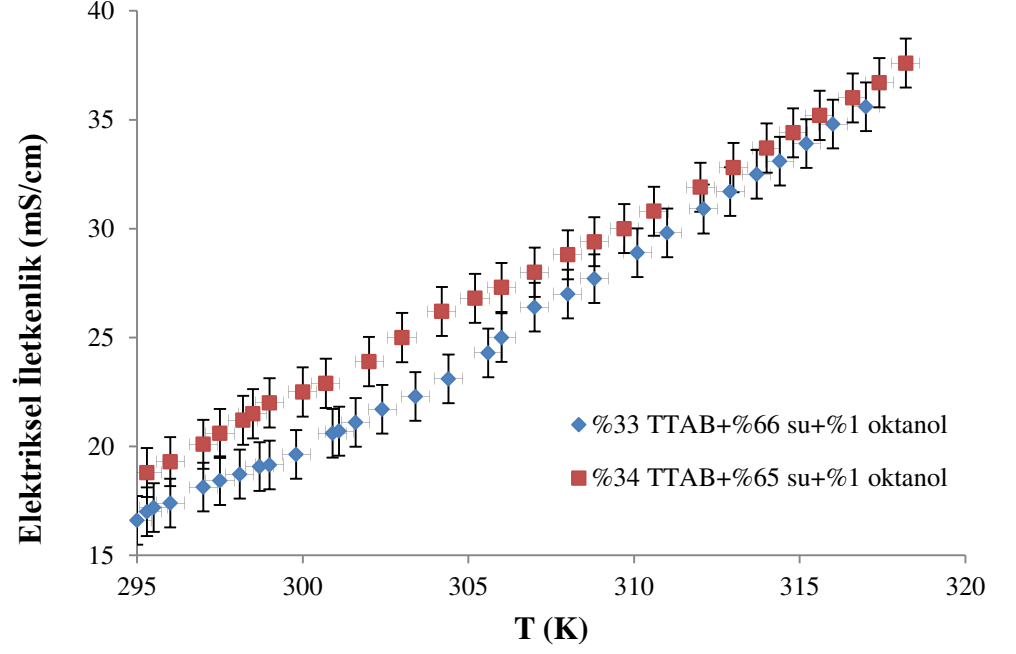


Şekil 4.13. Lamelar D ara fazının kırıcılık indisi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

4.2. Elektriksel İletkenlik Ölçümleri

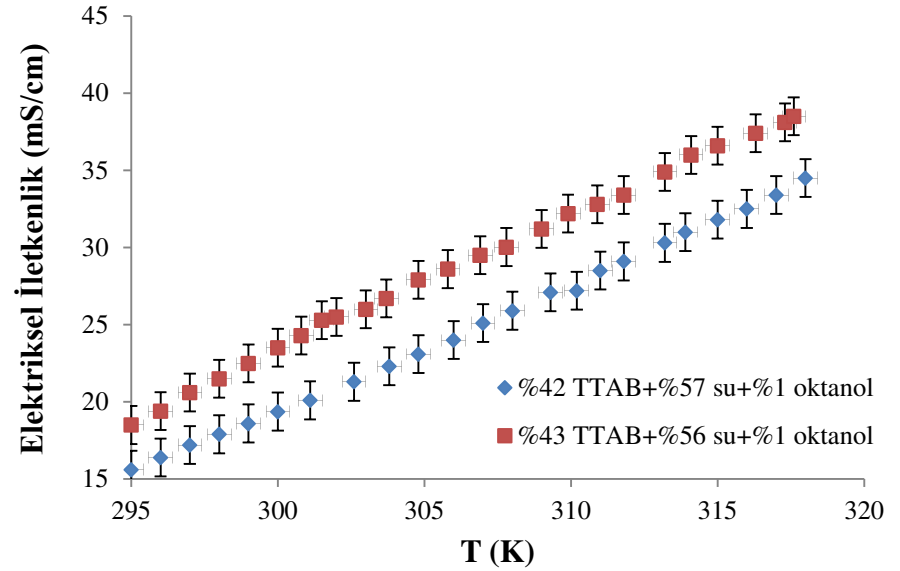
Liyotropik sistemin oluşturduğu ara fazlar için, ayrıca elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir. Her ara faz için elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla beraber arttığı görülmüştür. Masalcı (2006) ve Nesrullazade (2000) çalışmalarında da belirtildiği gibi elektriksel iletkenliği meydana getiren, su bölgesine dağılmış bulunan iyonlardır. Sıcaklığın artması ile liyotropik sistemin vizkositesi azalacağından, iyonların hareket kabiliyeti artar ve böylece elektriksel iletkenlik değerinde artış meydana gelir.

N_c ara fazının elektriksel iletkenlik değerleri, sıcaklığa bağlı olarak Şekil 4.14' da verilmiştir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi amfifil konsantrasyonu daha büyük olan örneğin elektriksel iletkenlik değeri daha büyüktür. TTAB amfifil molekülü katyonik bir molekül olduğundan, daha yüksek konsantrasyonlarda bulunması, elektriksel iletkenliği daha iyi sağlar. Diğer yandan %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol konsantrasyonuna sahip örneğin elektriksel iletkenlik değerinin artışında, iki farklı lineer bölge görülmüştür. Daha önce örneğin sıcaklığa bağlı tekstür özellikleri incelendiğinde de görüldüğü gibi, lineer artışın değiştiği sıcaklıkta N_c den izotropik faza geçiş olmaktadır. Benzer durum Dong et al. (2015) çalışmasında da görülmüştür.



Şekil 4.14. N_c ara fazı için elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değişimi.

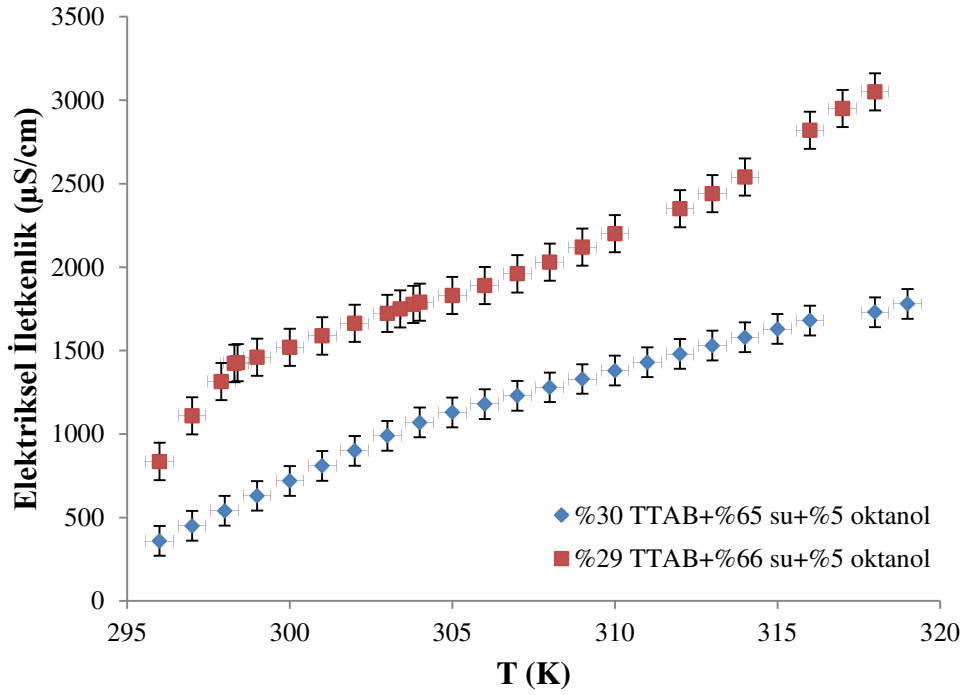
Aynı şekilde hegzagonal E ara fazının, amfifil konsantrasyonu daha yüksek olan örnekte elektriksel iletkenliği daha büyüktür (Şekil 4.15). Elektriksel iletkenliğin sıcaklığa bağlı olarak lineer artması benzer olarak Cho (2014) çalışmasında da görülmüştür.



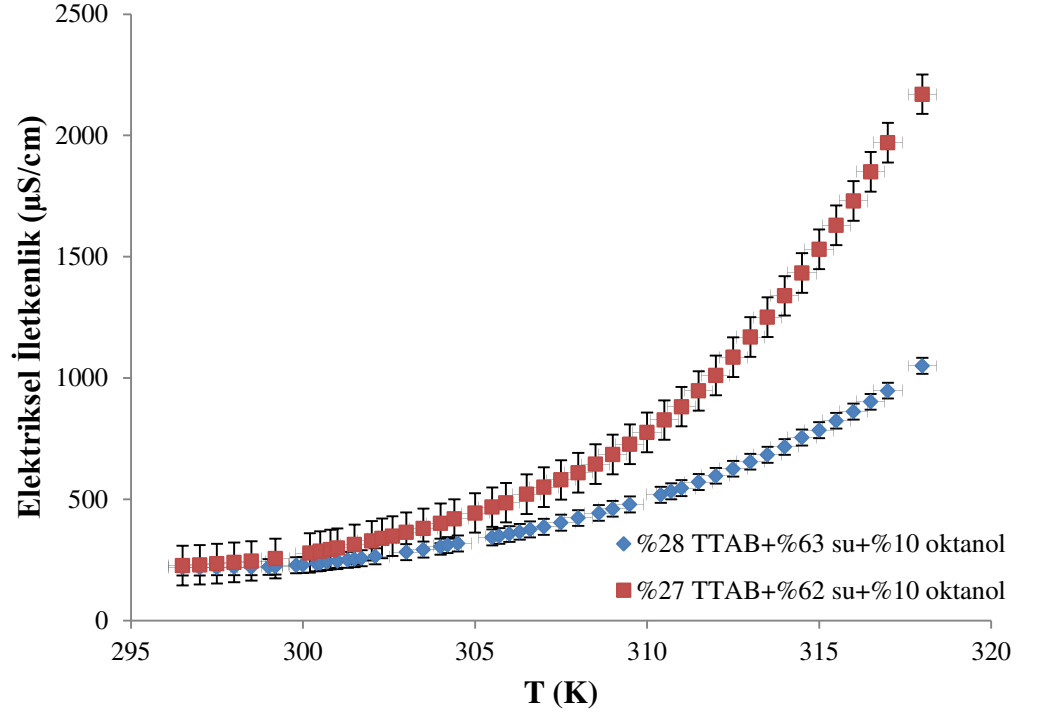
Şekil 4.15. Hegzagonal E ara fazı için elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Diğer yandan N_d ve lamelar D ara fazlarının elektriksel iletkenlik değerleri diğer ara fazlara göre oldukça düşük çıkmıştır. Bunun nedeni Nesrullazade (2006) çalışmasında da belirtildiği gibi, bu ara fazların disk benzeri veya tabakalı yapıya sahip olmaları nedeniyle suda dağılmış bulunan iyonların hareketini engellemiştir. Bu ara fazların daha yüksek amfifil konsantrasyonuna sahip olması ise bu tabakalı yapıları genişletmektedir. Bu nedenle N_c ve hegzagonal E ara fazlarının aksine, amfifil konsantrasyonunun daha büyük olması N_d ve lamelar D ara fazlarının elektriksel iletkenlik değerlerini düşürmüştür (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17).

Şekil 4.16’ da görüldüğü gibi N_d ara fazlarının elektriksel iletkenlik artışları belli sıcaklıklarda farklılık göstermeye başlamıştır. Örneklerin tekstür değişimlerini sıcaklığa bağlı olarak daha önce incelenmişti (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10) ve izotropik faz geçişinin olduğu sıcaklıkta elektriksel iletkenlik artış oranının da değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.16. N_d ara fazı için elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi.



Şekil 4.17. Lamelar D ara fazı için elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi.

4.3. Yüzey Gerilim Ölçümleri

TTAB+su+oktanol LSK örneklerin ayrıca ara fazlara ve her ara fazın farklı konsantrasyonlarına bağlı olarak yüzey gerilimi ölçülmüştür (Çizelge 4.1). Deney sabit laboratuvar sıcaklığında yapılmıştır. Ara fazların amfifil konsantrasyonu yüksek olan örneklerde daha düşük yüzey gerilimine sahip olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni amfifil moleküllerin ayrıca yüzey aktif (sürfektan) madde olmaları ve konsantrasyon değerlerinin arttıkça yüzey gerilimini düşürmeleridir.

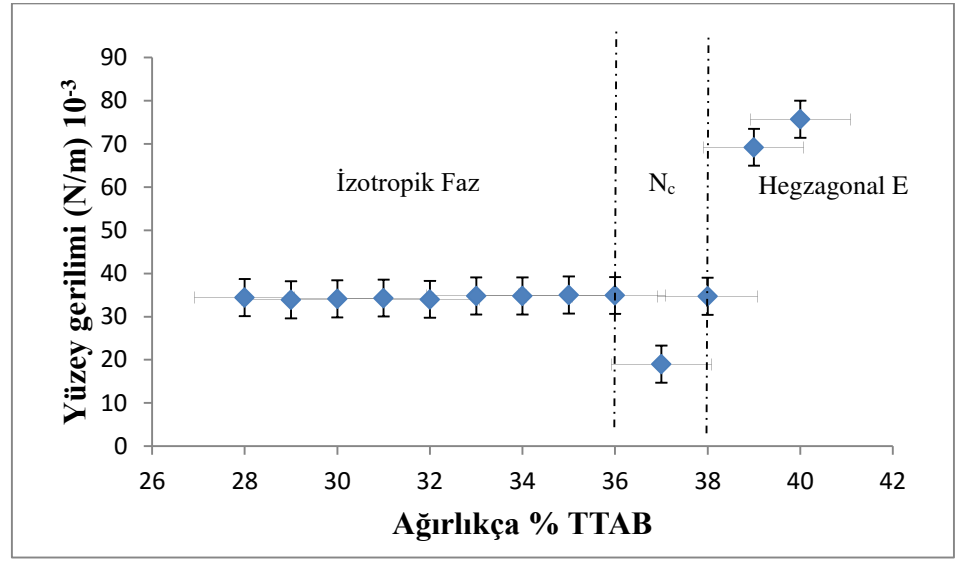
Çizelge 4.1. TTAB+su+oktanol sistemi için ara fazlara ait konsantrasyon değerleri için yüzey gerilim değerleri, sıcaklık 294 K.

Ara faz	Konsantrasyon	Yüzey gerilim değeri (N/m)
N _c	%33 TTAB+%66 su+%1 oktanol	5,1x10 ⁻³
N _c	%34 TTAB+%65 su+%1 oktanol	3,6x10 ⁻³
N _d	%29 TTAB+%66 su+%5 oktanol	25,4x10 ⁻³
N _d	%30 TTAB+%65 su+%5 oktanol	25,2x10 ⁻³
N _d	%30 TTAB+%64 su+%6 oktanol	27,4x10 ⁻³
Hegzagonal E	%42 TTAB+% 57 su+%1 oktanol	14,1x10 ⁻³
Hegzagonal E	%43 TTAB+%56 su+%1 oktanol	13,5x10 ⁻³
Lamelar D	%27 TTAB+%63 su+%10 oktanol	31,4x10 ⁻³
Lamelar D	%28 TTAB+%62 su+%10 oktanol	31,0x10 ⁻³

Çizelge 4.1’ deki sonuçlardan da görüldüğü gibi her ara fazın yüzey gerilim değerleri birbirlerinden oldukça farklıdır. En yüksek yüzey gerilimi lamelar D ara fazında ve en düşük yüzey gerilimi ise N_c ara fazında görülmüştür. N_d ara fazında ayrıca amfifil konsantrasyonu sabit tutulup alkol konsantrasyonunun arttırılmasıyla yüzey geriliminin de arttığı görülmüştür.

Yüzey gerilimlerinin her ara faz için farklı değerlere sahip olması nedeniyle, TTAB+su ikili sistem için konsantrasyona bağlı olarak yüzey gerilim değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.18). Masalci et al. (2007) çalışmasında TTAB+su ikili

sisteminin ara fazları konsantrasyona bağılı olarak tespit edilmiştir. Bu konsantrasyonlara bağılı olarak yüzey gerilim değerleri ölçülmüştür. Düşük amfifil konsantrasyonuna sahip izotropik faz bölgesinde, yüzey gerilimi hemen hemen sabit olmaktadır. %38 TTAB+%62 su konsantrasyonunda ise N_c ara fazı ortaya çıkmış ve yüzey gerilim değeri ani düşüş göstermiştir. %39 TTAB+%61 su ve %40 TTAB+%60 su konsantrasyon değerleri N_c -hegzagonal E ara fazları arasında geçiş bölgesidir. Bu bölgede amfifil konsantrasyonu arttıkça yüzey gerilim değeri artmaktadır. Bu artış %41 TTAB+%59 su konsantrasyonundaki hegzagonal E ara fazına kadar devam etmektedir.



Şekil 4.18. TTAB+su ikili sisteminin yüzey gerilim değerlerinin konsantrasyona bağlılığı, sıcaklık 300 K.

4.4. Mekanik Deformasyon Etkisi

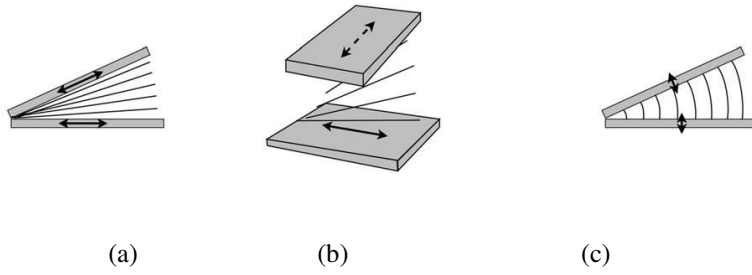
Liyotropik sıvı kristaller mekanik deformasyonlara karşı oldukça duyarlıdır, çünkü misellerin yapıları ve/veya direktörlerin yönü bu etki ile değişime uğrayabilir.

Mekanik deformasyon, sandviç hücre içerisindeki liyotropik sıvı kristal örneğe uygulanır. Bu durumda sandviç hücrenin lamaları, kuvvet uygulanarak çeşitli yönlerde hareket ettirilir. Uygulanan kuvvetle beraber liyotropik örneğin kararlı yapısı bozulur ve morfolojik özelliklerinde değişim başlar.

Sandviç hücre içerisindeki liyotropik örneğe üç çeşit hareketle deformasyon uygulanabilir. Bunlar; lamlardan birinin ileri geri hareket ettirilmesiyle “yayma”,

sağa sola döndürülmesi ile “bükme” ve yukarı aşağı kaldırılmasıyla “eğme” şeklindedir (Şekil 4.19). TTAB+su+oktanol sisteminin ara fazlarına ait örneklerle eğme hareketiyle deformasyon uygulanmıştır.

Mekanik deformasyon için N_c ve N_d ara fazları ağırlıkça olmak üzere sırasıyla %32 TTAB+%67 su+%1 oktanol ve %34 TTAB+%60 su+%6 oktanol konsantrasyonlu örneklerden seçilmiştir. Hegzagonal E ara fazı için %35 TTAB+%62 su+%3 oktanol ve lamelar D ara fazı için ise %28 TTAB+%62 su+%10 oktanol konsantrasyonlarından oluşturulmuştur. Lamalar içindeki örneğin kalınlığı ise 120 μm dir.



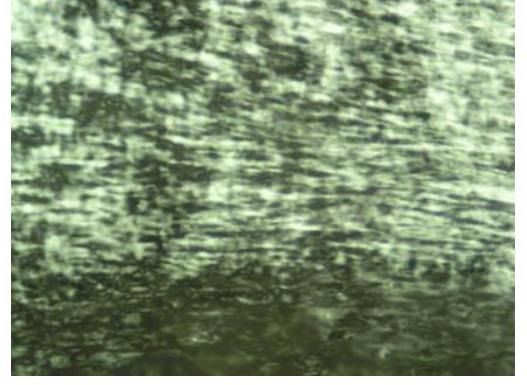
Şekil 4.19. Mekanik deformasyon uygulama çeşitleri: a) yayma b) bükme c) eğme.

Her ara faza mekanik deformasyon uygulanmış ve tekstür özelliklerindeki değişim, polarize mikroskop yöntemiyle incelenmiştir. Ayrıca deformasyondan önce ve sonra meydana gelen çift kırıcılıkları Berek kompensatör kullanılarak ölçülmüştür. N_c , N_d , hegzagonal E ve lamelar D ara fazlarının tekstürlerinde meydana gelen değişimler, deformasyondan önceki ve sonraki durumla kıyaslanmıştır.

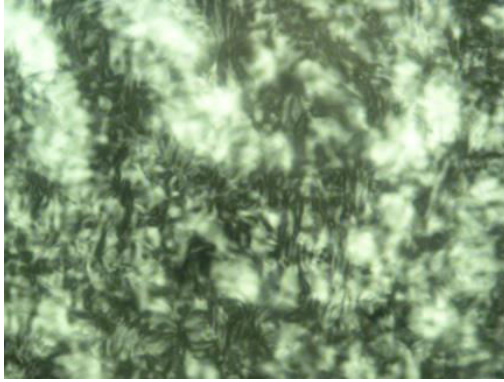
Deformasyon N_c ara fazına uygulandığında, tekstüründeki ipliksi yapıların değişime uğradığı görülmüştür (Şekil 4.20). Bu yapılar deformasyonun hemen ardından kısalmış ve zaman içerisinde planar bölgeler ortaya çıkmıştır. Bu planar bölgelerin zaman ilerledikçe daha genişlediği tespit edilmiştir. Tekstürdeki hareketlilik, deformasyon uygulandıktan yaklaşık 100 dakika sonra durmuştur. Ayrıca ara fazın $\Delta n = 1,459 \times 10^{-3}$ olan çift kırıcılık değeri, deformasyondan ardından zamanla $\Delta n = 0,953 \times 10^{-3}$ değerine düşmüştür.



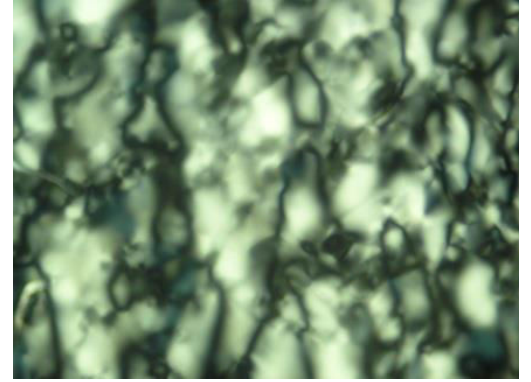
(a)



(b)



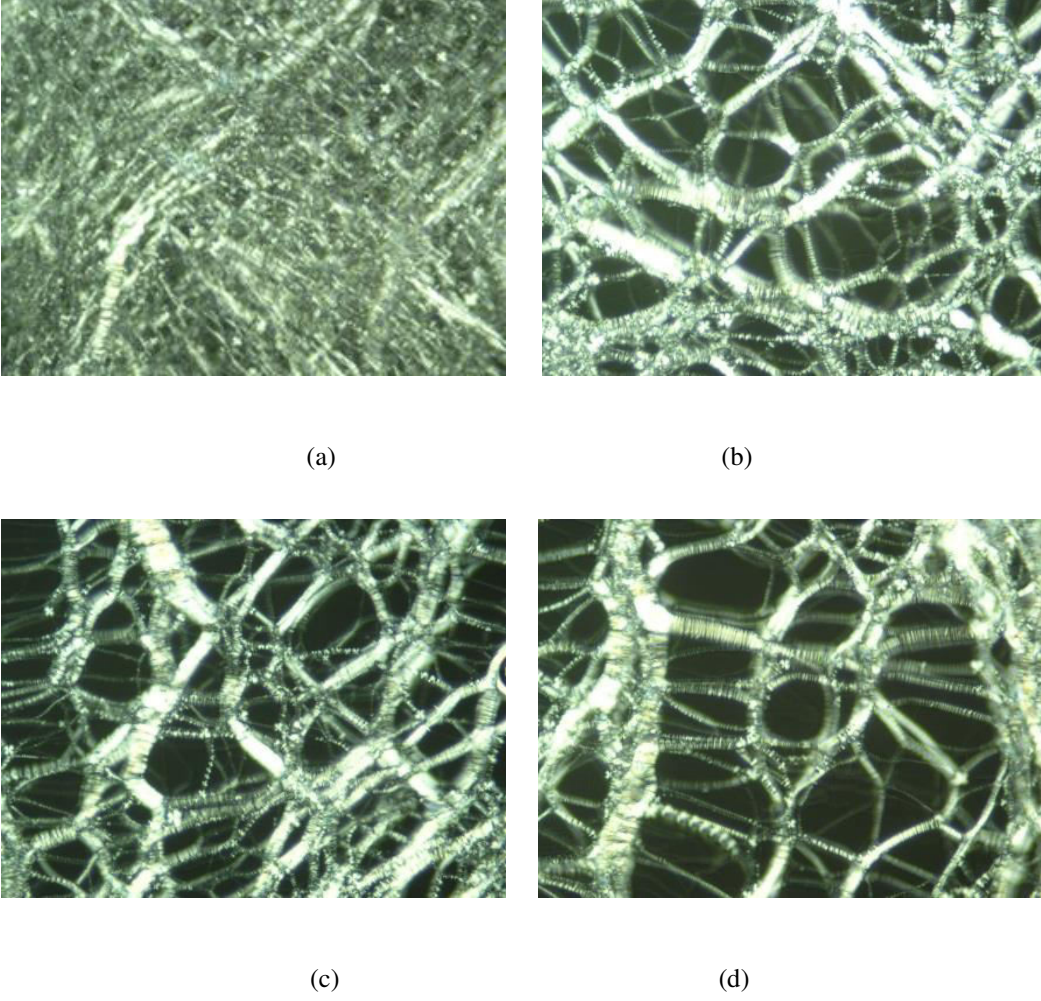
(c)



(d)

Şekil 4.20. N_c ara fazının tekstürlerindeki değişim: a) deformasyondan önce b) deformasyonun hemen ardından, c) deformasyondan 10 dk. sonra ve d) deformasyondan 100 dk. sonra, $\times 100$ büyültme, 295 K.

N_d tekstüründe ise sözde-izotropik siyah bölgelerin, deformasyonun hemen ardından genişlediği görülmüştür (Şekil 4.21). Bu bölgeler zamanla daha fazla genişlemiş ve bu genişleme yaklaşık 120 dakika sonra durmuştur. $\Delta n = 1.961 \times 10^{-3}$ olan çift kırıcılık değeri, deformasyondan sonra $\Delta n = 1.037 \times 10^{-3}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.21. N_d arafazı tekstürleri: a) deformasyondan önce b) deformasyonun hemen ardından, c) deformasyondan 30 dk ve d) 120 dk sonra. $\times 100$ büyültme, 295 K.

Hegzagonal E ara fazına deformasyon uygulanmadan önce tekstür kendini fibroz yapıda göstermiştir. Deformasyondan sonra ise tekstürde ipliksi yapılar oluşmaya başladı. Tekstür, 10 dakika sonra kararlı hale gelmiştir (Şekil 4.22). Ara fazın $\Delta n = 2.598 \times 10^{-3}$ olan çift kırıcılık değeri ise deformasyonun ardından $\Delta n = 1.960 \times 10^{-3}$ değerine değişmiştir.

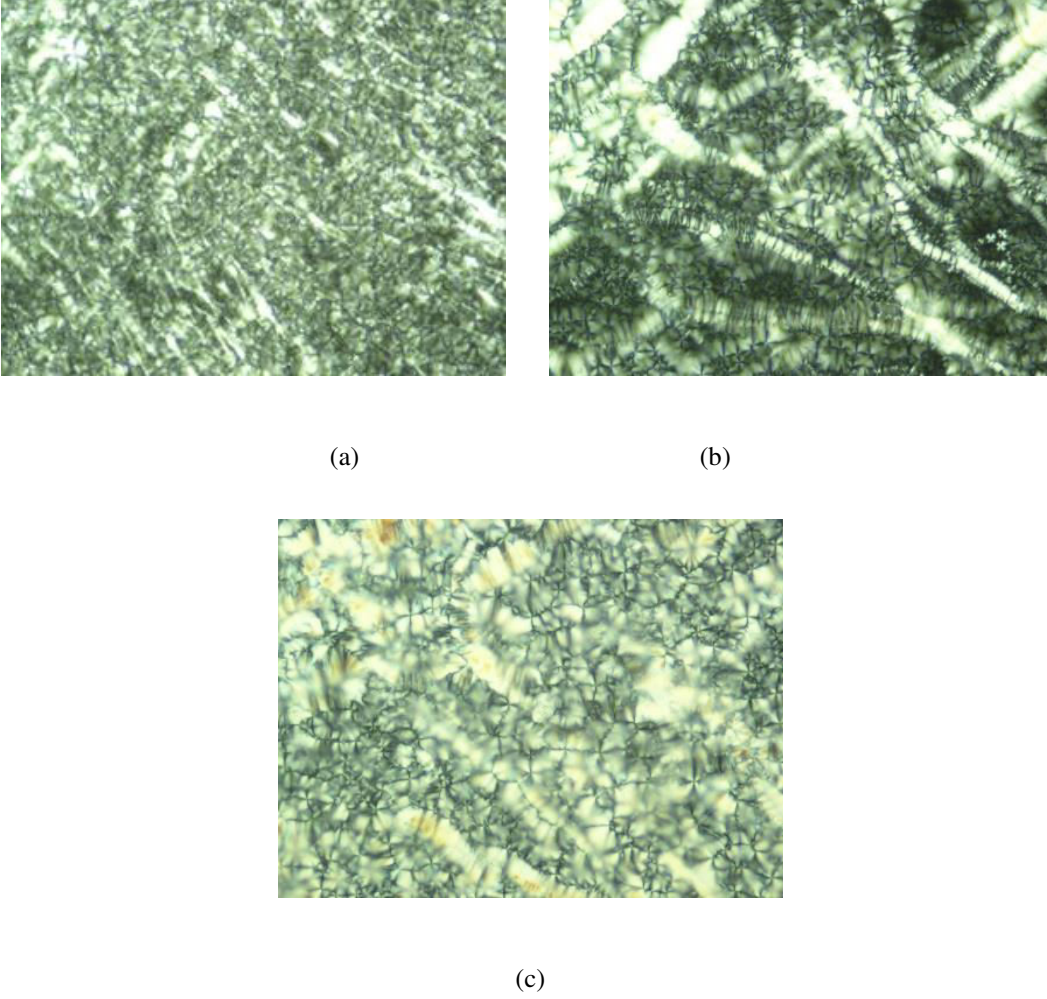


(a)

(b)

Şekil 4.22. Hegzagonal E arafazı tekstürleri: a) deformasyondan önce b) deformasyonun ardından 10 dk sonra. x100 büyültme, 295 K.

Lamellar D ara fazının mozaik benzeri tekstüründe, deformasyondan sonra geniş schlieren oluşumlar görülmüştür ve zaman geçtikçe schlieren yapılarında artış olmuştur (Şekil 4.23). Tekstür yaklaşık 75 dakika sonra kararlı duruma gelmiştir. Çift kırıcılık değeri deformasyondan önce $\Delta n = 1,410 \times 10^{-3}$ değerinde iken deformasyondan sonra $\Delta n = 1,170 \times 10^{-3}$ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ayrıca Yavuz et al. (2014) çalışmasında yayınlanmıştır.



Şekil 4.23. Lamelar D arafazı tekstürleri a) deformasyondan önce, deformasyonun ardından b) 10 dakika ve c) 75 dakika sonra. x100 büyültme, 295 K.

Her bir ara faz için deformasyondan önceki ve sonraki çift kırıcılık değerleri ile deformasyonun ardından kararlı duruma geçme süreleri, Çizelge 4.2 de verilmiştir. Buna göre deformasyondan sonra Δn değeri en fazla N_d ara fazında düşüş göstermiş ve kararlı duruma geçmesi daha uzun sürmüştür. Diğer yandan Δn değeri en az hegzagonal E ara fazında azalmıştır. Aynı zamanda hegzagonal E ara fazı, kararlı duruma en kısa sürede varmıştır.

Çizelge 4.2. Her ara faz için mekanik deformasyonun etkisi

Ara Faz	$\Delta n_{\text{önce}}$	Δn_{sonra}	Kararlı duruma geçme süresi
N_c	$1,459 \times 10^{-3}$	$0,953 \times 10^{-3}$	100 dakika
N_d	$1,961 \times 10^{-3}$	$1,037 \times 10^{-3}$	120 dakika
Hegzagonal E	$2,598 \times 10^{-3}$	$1,960 \times 10^{-3}$	10 dakika
Lamellar D	$1,410 \times 10^{-3}$	$1,170 \times 10^{-3}$	75 dakika

4.5. Manyetik Deformasyon Etkisi

Liyotropiklerin en önemli özelliklerinden birisi, misel direktörlerinin yönleri dış manyetik alan etkisi altında iken değişebilmesidir. Direktörlerin yön değiştirmesiyle, ara fazların tekstür özelliklerinde de değişiklik meydana gelir. Yapılan çalışmalarda manyetik alandan en çok etkilenen ara fazların N_c ve N_d olduğu görülmüştür (Özden et al., 2010). Bunun en önemli nedenlerinden birisi, bu ara fazların diğer ara fazlara göre daha düşük viskoziteye sahip olmasıdır (Filho et al., 2007).

N_c ve N_d ara fazları, birbirlerine göre zıt diyamanyetik anizotropiye sahiptirler ve bu yüzden manyetik alan altında birbirlerinden farklı davranış sergilerler. N_c ara fazı pozitif diyamanyetik anizotropiye ($\Delta\chi > 0$) sahiptir. Diğer bir deyişle manyetik alan etkisindeki N_c ara fazının direktörleri, alanla aynı yönde yönelir. N_d ara fazı ise negatif anizotropiye ($\Delta\chi < 0$) sahip olduğundan direktörleri manyetik alana dik olarak yönelir (Filho et al., 2003; Demus et al., 1999).

Bu ara fazların, manyetik alana karşı duyarlılıkları ve birbirlerine göre farklı davranış sergileyebilmeleri nedeniyle, manyetik alan altındaki özellikleri incelenmiştir. Alan etkisi ile zamanla meydana gelen tekstürlerindeki değişimleri gözlenmiş ve çift kırıcılık değerleri ölçülmüştür.

Çalışma için N_c ara fazı ağırlıkça %32 TTAB+%67 su+%1 oktanol ve N_d ise %34 TTAB+%60 su+%6 oktanol konsantrasyonlarındaki liyotropik örnekler seçilmiştir. Her bir örneğin tekstür görüntüsü polarize mikroskop yöntemi

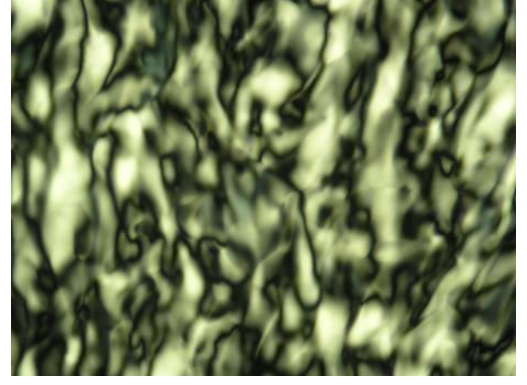
kullanılarak incelenmiş ve Berek kompensatörü yardımıyla çift kırıcılık değerleri ölçülmüştür. Örnekler sandviç hücreler içerisine hava almayacak şekilde kalınlığı 120 μm olacak şekilde yerleştirilerek manyetik alanlar referans yüzeyine dik olarak uygulanmıştır. Alanların şiddeti 400 mT, 600 mT ve 1000 mT olmak üzere kalıcı mıknatıslarla sağlanmıştır.

N_c ara fazı manyetik alan etkisine bırakılmadan önce tekstüründe iplik benzeri yapılar görülmüş (Şekil 4.24.a) ve $\Delta n = 1,44 \cdot 10^{-3}$ olarak ölçülmüştür. Daha sonra 400 mT manyetik alan etkisi altında bırakılmış ve zamana bağlı olarak tekstür özellikleri (Şekil 4.24) gözlenmiş ve çift kırıcılık değerleri ölçülmüştür.

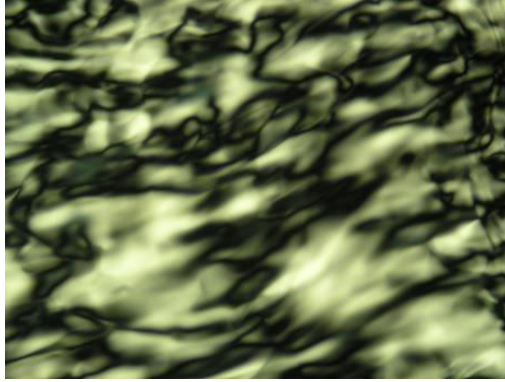
400 mT manyetik alan altında kalan N_c örnek, zamanın ilerlemesiyle tekstüründeki iplik benzeri yapıların genişlediği görülmüştür. Diğer yandan N_c örnekler, daha yüksek manyetik alanda da incelenmiştir. 600 mT örneklere uygulandığında iplik yapıların daha hızlı bir şekilde genişlediği görülmüştür (Şekil 4.25.a ve Şekil 4.25.b). Örnekler 1000 mT etkisi altında iken tekstürdeki iplik yapılar 400 ve 600 mT'e göre daha hızlı bir şekilde genişleme meydana gelmiştir (Şekil 4.25.c ve Şekil 4.25.d). Bu genişlemeler sonunda tekstürler, planar tekstürlere benzemişlerdir. Tekstürlerde meydana gelen bu değişimlerin nedeni N_c ara fazında direktörlerin manyetik alan etkisi ile yönelmeye başlamasıdır. Manyetik alanın şiddeti daha büyük olduğunda, direktörlerin yönelmesi de daha çabuk olmaktadır. Bu da tekstürlerde meydana gelen değişimi hızlandırır.



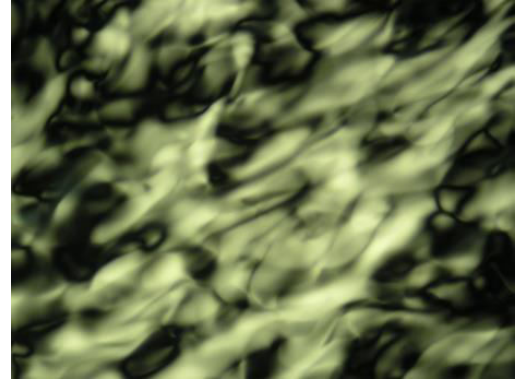
(a)



(b)

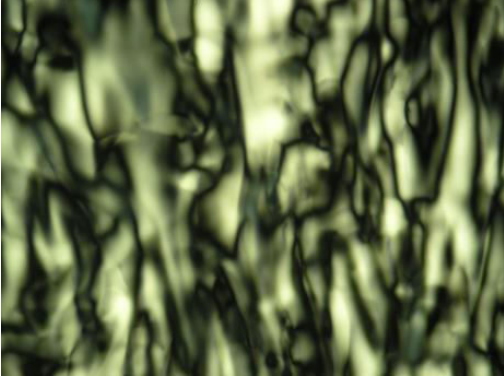


(c)

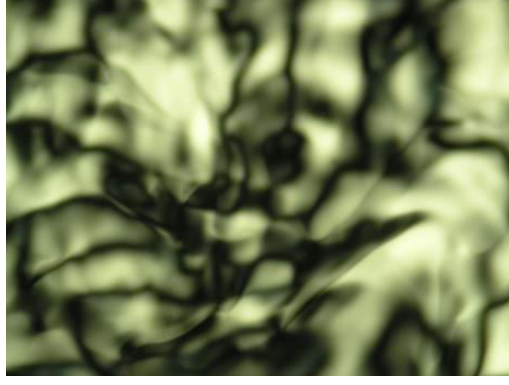


(d)

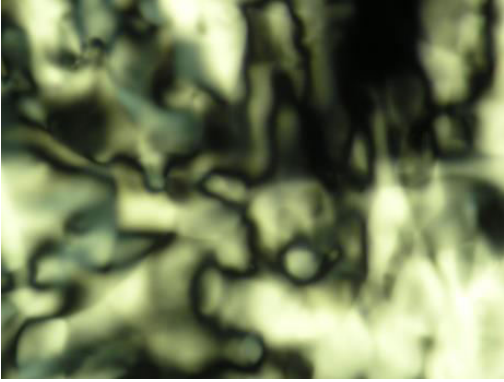
Şekil 4.24. N_c ara fazına a)manyetik alan uygulanmadan önce, 400 mT manyetik alan uygulandıktan sonra b) 3 saat c) 6 saat d) 10 saat sonra tekstür görüntüleri, x100 büyültme.



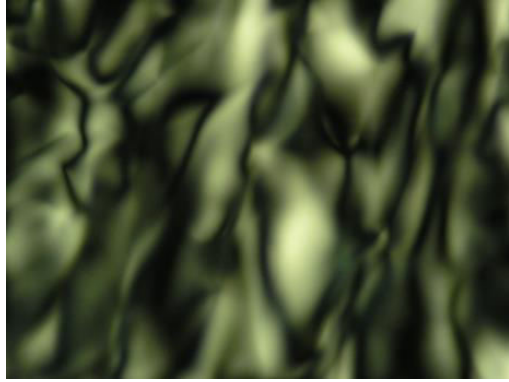
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.25. N_c ara fazına 600 mT manyetik alan uygulandıktan a) 3 saat b) 10 saat sonra, 1000 mT manyetik alan uygulandıktan c) 3 saat d) 10 saat sonra tekstür görüntüleri, $\times 100$ büyültme.

Ayrıca manyetik alandan etkilenen N_c örneklerin, çift kırıcılık değerlerindeki değişimleri de ölçülmüştür. Bu da çizelge olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.3).

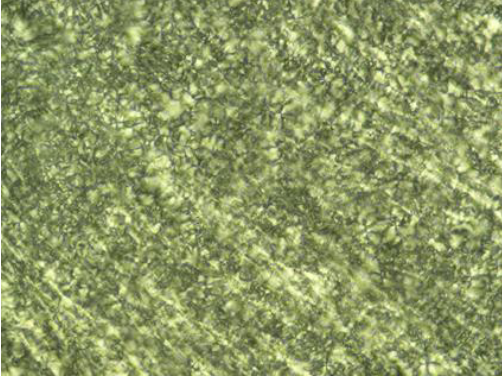
Çizelge 4.3. Manyetik alan şiddeti ve N_c örneğin alanda kaldığı süreler içinde Δn değerleri.

Manyetik alan şiddeti	3 saat sonra Δn	6 saat sonra Δn	10 saat sonra Δn
400 mT	$1,46.10^{-3}$	$1,48.10^{-3}$	$1,49.10^{-3}$
600 mT	$1,47.10^{-3}$	$1,49.10^{-3}$	$1,53.10^{-3}$
1000 mT	$1,49x.0^{-3}$	$1,53.10^{-3}$	$1,62.10^{-3}$

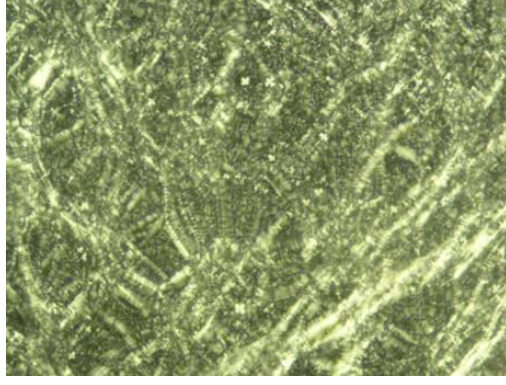
Manyetik alan etkisinde kalan N_c örneklerinin çift kırıcılık değerleri, zamanla arttığı görülmektedir. Bunun nedeni alana maruz kalan direktörlerin yönlenmeye başlaması ve optiksel anizotropiyi arttırmalarıdır.

N_c örneği için yapılan bu çalışma, aynı zamanda diğer liyotropik nematik ara faz olan N_d için de yapılmıştır. N_d örneğin tekstürü polarize mikroskopla incelendiğinde N_c tekstürüne benzer şekilde ipliksi oluşumlar gözlenmiştir ama bu oluşumlar, daha kısa ve sıktır. Ayrıca tekstürde schlieren oluşumlar da bulunmaktadır (Şekil 4.26.a). Örnek manyetik alana maruz bırakıldıktan sonra zamana bağlı olarak tekstür özellikleri incelenmiştir. Manyetik deformasyona uğramadan önce örneğin çift kırıcılık değeri $\Delta n=1,87.10^{-3}$ olarak bulunmuştur.

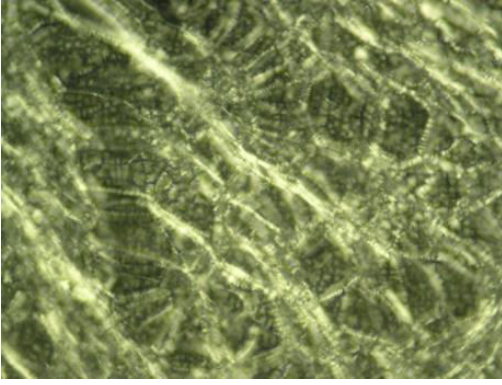
400 mT şiddetinde manyetik alana maruz kalan N_d örnekte, zamanla sözde-izotropik bölgelerin varlığı gözlenmeye başlamış ve zamanla genişlediği görülmüştür (Şekil 4.26). 600 mT şiddette ise sözde-izotropik bölgelerin daha çok genişlediği görülmüştür. Diğer yandan bu bölgeler, en çok 1000 mT manyetik alan altında genişlemiştir (Şekil 4.27).



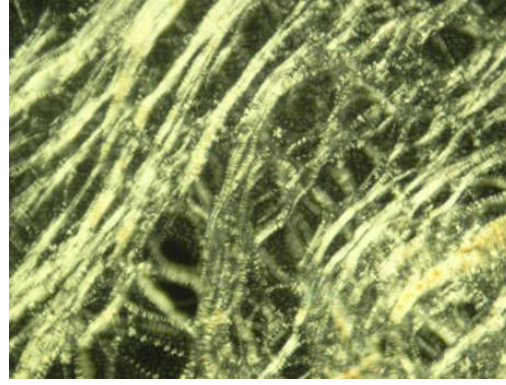
(a)



(b)

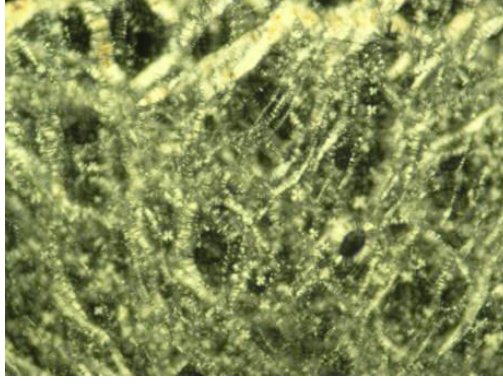


(c)

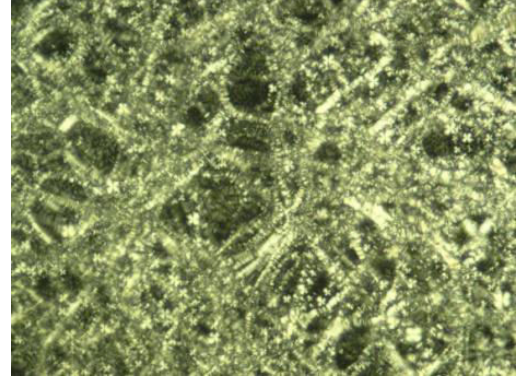


(d)

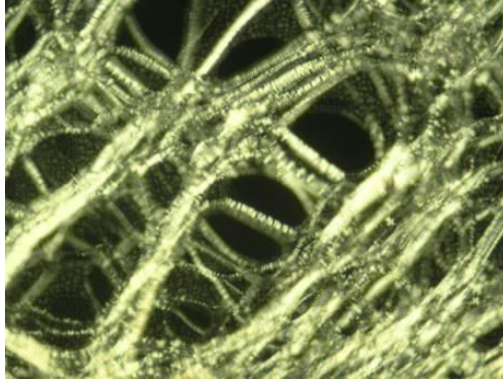
Şekil 4.26. a) N_d örnek manyetik alana bırakılmadan önce, 400 mT uygulanan örneğin b) 3 saat, c) 6 saat ve d) 10 saat sonraki tekstür görüntüleri, x100 büyültme.



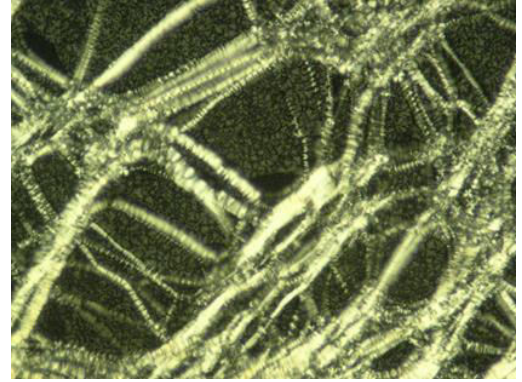
(a)



(b)



(c)



(d)

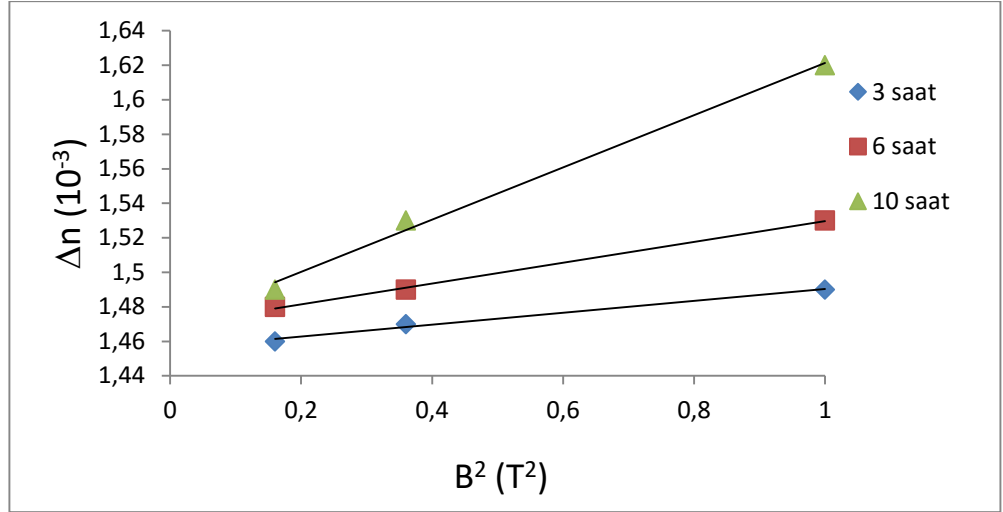
Şekil 4.27. N_d örneğin 600 mT manyetik alan altında a) 3 saat ve b) 10 saat, 1000 mT alan altında c) 3 saat ve d) 10 saat sonraki tekstürleri, x100 büyültme.

Diğer yandan N_d örneğin çift kırıcılık değerlerinin değişimi, manyetik alan altında zamana bağlı olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.4). Manyetik alan etkisinde kalan N_d örneklerin zaman içerisinde çift kırıcılık değerlerinin arttığı görülmüştür. Manyetik alan şiddetinin daha yüksek olması, çift kırıcılık indisinin aynı zaman aralığında daha çok artış göstermesini sağlamıştır. Çünkü yüksek manyetik alan, misel direktörlerinin yönelmesini daha çok hızlandırmıştır.

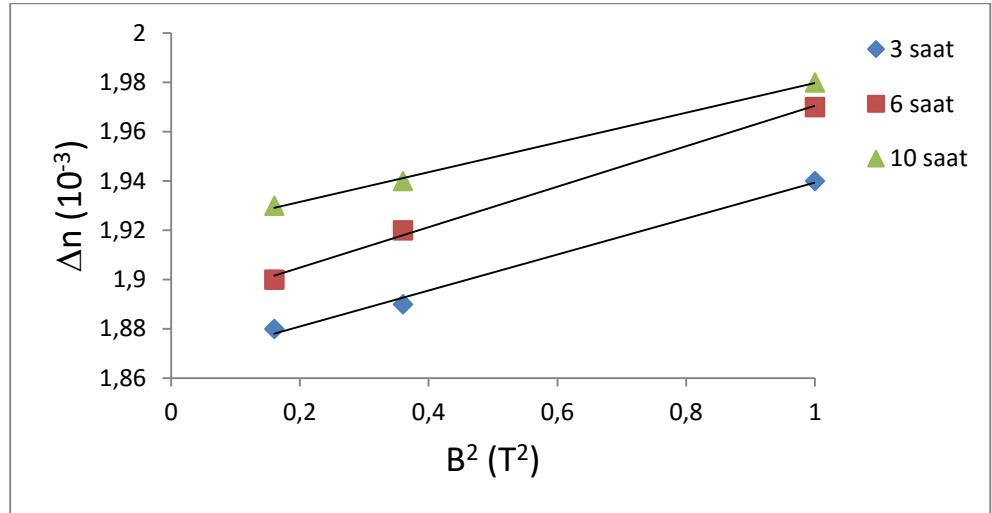
Çizelge 4.4. Manyetik alan şiddeti ve N_d örneğin alanda kaldığı süreler için çift kırıcılık değerleri.

Manyetik alan şiddeti	3 saat sonra Δn	6 saat sonra Δn	10 saat sonra Δn
400 mT	$1.88.10^{-3}$	$1,90.10^{-3}$	$1,93.10^{-3}$
600 mT	$1,89.10^{-3}$	$1,92.10^{-3}$	$1,94.10^{-3}$
1000 mT	$1,94.10^{-3}$	$1,97.10^{-3}$	$1,98.10^{-3}$

N_c ve N_d ara fazlarının, manyetik alan etkisi altında zamanla misel direktörlerinde yönelme meydana gelmiştir. Ayrıca bu ara fazların belirli zamanlardaki Δn değerlerinin, örneğe etki eden manyetik alanların kareleriyle aralarında lineer bir ilişki olduğu görüldü. Bunu $\Delta n = f(H^2)$ grafiğinde gösterebiliriz (Şekil 4.28). Bu sonuçlar ayrıca Yavuz et al. (2014) çalışmasında da yayınlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.28. a) N_c ara fazı ve b) N_d ara fazı için çift kırıcılık değerlerinin manyetik alanın karesiyle olan ilişkisi.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada TTAB+su+oktanol üçlü liyotropik sistemlerin meydana getirdikleri ara fazlar ile bu ara fazların çeşitli fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Polarize mikroskop yöntemi ile bu sistemlerin, farklı konsantrasyonlarda N_c , N_d , hegzagonal E ve lamelar D ara fazlarını gösterdiği belirlenmiştir. Bu ara fazların optiksel kırıcılık indisi, elektriksel iletkenlikleri ve yüzey gerilim özellikleri incelenmiştir. Ayrıca dış fiziksel etkiler olarak mekanik deformasyon ve manyetik deformasyon uygulanarak optiksel özelliklerinde meydana gelen değişimler de araştırılmıştır.

Masalci (2006), Filho et al. (2007) ve Masalci et al. (2007) çalışmalarında TTAB+su ikili sistemlerinin N_c ve hegzagonal E ara fazına sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca Masalci (2006) ve Masalci and Kazanci (2009) çalışmalarında ikili sisteme dekanol eklenerek sistemin oluşturduğu ara fazlar belirlenmiş ve her ara fazın fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada ise dekanol alkolü yerine oktanol alkolü kullanılmış ve oluşturdukları ara fazların fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Böylece TTAB+su+dekanol sisteminin fiziksel özellikleriyle karşılaştırılmıştır.

TTAB+su ikili sistemine oktanol alkolünün ilave edilmesiyle üçlü sistemin, N_c , hegzagonal E, N_d ve lamelar D ara fazlarından oluştuğu belirlenmiştir. Oktanol, amfifilik moleküller arasındaki etkileşimi azaltarak N_d ve lamelar D ara fazlarının da meydana gelmesini sağlamıştır. Başka bir ifadeyle oktanol alkolü, miselleri oluşturan amfifil molekülleri etkileyerek paketlenme parametresini arttırmıştır ve ara faz çeşitliliğinde artış meydana getirmiştir (Zana, 1995; Akpınar et al., 2012). Böylece TTAB+su+oktanol liyotropik sistemlerinin, Filho et al. (2007) ve Masalci et al. (2007) çalışmalarındaki TTAB+su ikili sistemlerine göre daha fazla çeşit ara faz sergilediği görülmüştür. Benzer durum Masalci and Kazanci (2009) nın çalışmasında olduğu gibi dekanol alkolünün eklenmesiyle de görülmüştür.

TTAB+su+oktanol sisteminin gösterdiği ara fazlar, TTAB+su+dekanol sisteminkilerle hemen hemen aynıdır. Ancak bu sistemlerin farklı çeşit alkollere sahip olmaları, ara fazların konsantrasyon aralıklarının farklı olmasını sağlamıştır. Alkolün değiştirilmesi, ara fazların konsantrasyon bölgelerinin genişliğini değiştirmiştir.

TTAB+su+oktanol sisteminde N_c ara fazı, düşük alkol ve amfifil konsantrasyonunda ortaya çıkmıştır. Bu ara faz Masalci and Kazanci (2009) çalışmasındaki TTAB+su+dekanol liyotropik sistemlerine göre daha küçük konsantrasyon aralığında görülmüştür. Bunun nedeni olarak 8-karbonlu oktanol alkolünün, 10-karbonlu dekanole göre su içerisinde daha çok karışabilmesi ve miseleri daha az etkilemesidir (Zana, 1995; Akpınar et al., 2012).

Dekanol alkolünün hidrofobik zincir uzunluğunun daha uzun olması, oktanole göre suda daha az karışmasını ve sudan uzaklaşarak misellerle daha çok temas halinde olmasını sağlar. Böylece miseli oluşturan amfifillerin polar baş grupları, birbirleri ile daha az etkileşimde olurlar. Bu durumda amfifil konsantrasyonu artsa bile çubuksu miseller daha geniş konsantrasyon aralığında varlığını sürdürür.

Oktanol alkolü ise misellerle daha az temas halindedir ve bu yüzden miseldeki amfifiller birbirleri ile daha çok etkileşim halinde olurlar. Oktanol alkolü, amfifil polar baş gruplarının birbirleri ile etkileşimine daha çok izin vermiştir. Bu yüzden N_c ara fazına ait çubusu miseller daha dar konsantrasyon aralığında görülmüştür. Konsantrasyonun artması ile çubuksu miseller hegzagonal paketler haline gelmiş ve hegzagonal E ara fazı ortaya çıkmıştır. Hegzagonal E ara fazı böylece, TTAB+su+oktanol sisteminde TTAB+su+dekanol sistemine göre daha düşük amfifil konsantrasyonlarında gözlenebilmiştir.

Diğer yandan TTAB+su+oktanol sisteminde N_d ara fazı, TTAB+su+dekanol sistemindekine göre daha yüksek amfifil konsantrasyonlarında da görülmüştür. Çünkü oktanol alkolü amfifillerin polar baş gruplarının birbirleri ile etkileşimine dekanole göre daha çok izin vermiştir. Böylece polar baş grupları birbirlerine daha yakın durmak için disk şeklini almışlardır. Amfifiller, konsantrasyonları artsa bile daha geniş diskotik miseller meydana getirirler. Dekanol alkolü ise amfifil polar baş gruplarının birbirleri ile etkileşimini azaltmıştır ve böylece miseller diskotik yapıdan, geniş tabakalı yapıya geçmişlerdir. Çünkü dekanol, polar baş gruplarının birbirine daha yakın olmasını engelleyerek diskotik miselden daha kolay şekilde tabakalı yapıya geçiş olmasını sağlamıştır. Diğer yandan bu iki farklı sistemlerde de lamelar D ara fazı hemen hemen aynı konsantrasyon aralıklarında görülmüştür.

Sistemin kırılma indisi değerleri her ara fazın farklı konsantrasyonları için sıcaklığa bağlı olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla birlikte kırılma indisi değerlerinde belirgin bir azalma tespit edilmiştir. Benzer durum sistemde oktanol

yerine dekanol alkolü kullanıldığı Masalci and Kazancı (2009) nın çalışmasında da görülmüştür. Kırılma indisi değerlerinin azalması, sistemin yoğunluğunun sıcaklıkla birlikte azalmasından kaynaklanmaktadır (Masalci et al., 2007; Kazancı and Nesrullajev, 2003). Bütün ara fazlarda kırılma indisi değerlerindeki azalma, 294 K ile 323 K arasında hemen hemen aynı miktarda olmaktadır.

N_c ara fazının kırılma indisi değeri, amfifil konsantrasyonun artmasıyla daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni olarak amfifillerin, misellerin büyüklüğünü ve de çözeltinin yoğunluğunu arttırması olarak düşünülebilir. Ayrıca %33 TTAB+%66 su+%1 oktanol konsantrasyonuna sahip N_c ara fazı, 310 K sıcaklığında kırılma indisi değerinde ani bir artış meydana gelmiştir. Sonrasında kırılma indisi değeri sıcaklıkla daha hızlı bir şekilde azalmaya başlamıştır. Bunun nedeni anizotropik misel yapılarının bozulmasıyla birlikte misellerden kopan amfifil ve alkol molekülleri çözeltinin yoğunluğunu arttırmıştır ve böylece sıcaklıkla kırılma indisinde daha hızlı düşüş meydana gelmiştir. (Rioboo et al., 2009) çalışmalarında bahsedildiği gibi çözelti konsantrasyonu arttırılırsa kırıcılık indisi, sıcaklıkla daha hızlı düşüş gösterir. Aynı örnek polarize mikroskop yöntemiyle tekstüründe meydana gelen değişimler sıcaklığa bağlı olarak incelenmiştir. Örneğin tekstüründe 310 K sıcaklığında izotropik faza geçişin meydana geldiği görülmüştür. Bu sıcaklık değerinde izotropik faza geçiş olmasından dolayı kırılma indisi değerinde artış olduğu gözlenmiştir. Yıldız and Kazancı (2008), Masalci et al. (2007) ve Kazancı and Nesrullajev (2003) çalışmalarında da benzer artış görülmüştür.

Diğer yandan N_d ara fazının kırılma indisi değerleri, sistemdeki amfifil konsantrasyonunun daha büyük olduğu örneklerde daha yüksek çıkmıştır. Başka bir deyişle %30 TTAB+%65 su +%5 oktanol konsantrasyonlu örnek, %29 TTAB+%66 su+%5 oktanol konsantrasyonundan daha büyük kırılma indisi değerine sahiptir. Ayrıca tekstür özellikleri sıcaklığa bağlı olarak incelendiğinde, izotropik faza geçişin düşük amfifil konsantrasyonlu örnekte belirgin bir derecede daha düşük sıcaklıkta olduğu görülmüştür. Bu durum, örneğin misellerinin daha az sayıda amfifilden oluşması ve bu yüzden sıcaklıkla misel yapısının daha çabuk bozulmasından kaynaklandığı söylenebilir (Tanford, 1972; Malliaris et al., 1985).

N_d ara fazında amfifil konsantrasyonun sabit tutulup alkol konsantrasyonu arttırıldığında ise kırılma indisi değerinin daha çok arttığı görülmüştür. Oktanöl alkolünü, örneğin yoğunluğunu arttırmıştır ve böylece kırılma indisi değeri de artmıştır. Örneklerin tekstür özellikleri sıcaklığa bağlı olarak incelendiğinde, izotropik faza geçiş sıcaklıkları belirgin bir şekilde değişmediği görülmüştür. Diğer

bir ifadeyle amfifil konsantrasyonun daha büyük olması faz geçiş sıcaklığını arttırırken, alkol konsantrasyonunun arttırılması geçiş sıcaklığında fazla etkisi olmamıştır. Bu da aynı şekilde misellerin, alkol etkisiyle daha büyük olmasına rağmen amfifil sayılarında fazla değişimin olmamasından kaynaklanabilir. Böylece, nematik-izotropik faz geçiş sıcaklığının, misellerdeki amfifil sayısıyla orantılı olduğunu söyleyebiliriz.

Hegzagonal E ve lamelar D ara fazına ait örneklerde de benzer şekilde amfifil konsantrasyonlarının arttırılmasıyla daha büyük kırılma indisine sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca incelenen sıcaklık aralığında tekstür özelliklerinde bir değişim görülmemiş ve izotropik faza geçiş olmamıştır.

TTAB+su+oktanol sisteminin ara fazlarının sahip oldukları kırılma indisi değerleri, ayrıca Masalcı (2006) ve Masalcı and Kazancı (2007) çalışmalarındaki TTAB+su+dekanol sisteminin kırılma indisi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma aynı amfifil ve alkol konsantrasyonlarına sahip ara fazlar için eşit sıcaklıkta yapılmıştır. Böylece TTAB+su+oktanol sisteminin kırılma indisi değerlerinin, TTAB+su+dekanol sistemininden daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise oktanol alkolünün dekanole göre daha çok su içerisinde çözünebilmesi ve sisteminin yoğunluğunu arttırabilmesidir.

Elektriksel iletkenlik değeri her ara faz için sıcaklığa bağlı olarak ölçülmüştür. Bütün ara fazların sıcaklıkla birlikte elektriksel iletkenlik değerlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Sıcaklık artışı ile birlikte örneklerin vizkositelerinin düşmesi iyonların daha rahat hareket etmesini sağlamış ve iletkenlik değerlerinin artmasında rol oynamışlardır.

N_d ve Lamelar D ara fazlarının sırasıyla tabakalı ve diskotik misellere sahip olmaları nedeniyle iyonların hareket kabiliyetlerini zorlaştırmışlardır. Çubuksu misellere sahip N_c ile hegzagonal E ara fazları, iyonların hareketine daha az sınırlama getirdiği için elektriksel iletkenlik değerleri bu ara fazlara göre oldukça yüksek çıkmıştır.

N_c ve hegzagonal E ara fazlarında yüksek amfifil konsantrasyonuna sahip olan örneklerin elektriksel iletkenlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi amfifilin yük taşıyıcılarının örnekte daha yoğun sayıda bulunmasıdır. Bu durumun tersi olarak N_d ve lamelar D ara fazlarında amfifil konsantrasyonundaki artış elektriksel iletkenlik değerlerini azaltmıştır. Tabakalı

yapıya sahip olan bu ara fazlar, amfifil konsantrasyonunun artmasıyla tabakalı yapıları genişlemiş ve yük taşıyıcı iyonların geçişlerini daha çok engellemişlerdir.

Ayrıca sistemin her ara fazın farklı konsantrasyonları için yüzey gerilim değerleri ölçülmüştür. Ara fazların kendi içlerinde amfifil konsantrasyonu daha büyük olan örneklerin, yüzey gerilimlerinin daha küçük değer çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni TTAB molekülünün aynı zamanda yüzeyce aktif madde (sürfektan) olması ve sulu çözeltilerinde yüzey gerilimini düşürmesidir.

TTAB+su+oktanol sisteminin oluşturduğu ara fazlar içinde, en yüksek yüzey gerilim değeri lamelar D ara fazında çıkmaktadır. Bu ara faz yüksek alkol konsantrasyonlarına sahip olduğu için, oktanol alkolü yüzey gerilimini arttırmıştır. N_d ara fazı için amfifil konsantrasyonu sabit tutularak, alkol konsantrasyonu arttırıldığında yüzey gerilim değeri de artmaktadır. Bu da alkol konsantrasyonunun daha fazla olması ile ilgilidir.

Her ara fazın birbirlerine göre farklı yüzey gerilimine sahip olmasından dolayı TTAB+su ikili sisteminin konsantrasyon değerlerine bağlı olarak yüzey gerilimleri ölçülmüştür. Bu ikili sisteminin amfifil konsantrasyonuna bağlı olarak yüzey gerilim değeri incelendiğinde, N_c ara fazının ortaya çıktığı konsantrasyonda yüzey gerilim değerinde ani düşüş gözlenmiştir.

LSK'lar dış fiziksel etkilere karşı oldukça duyarlı olduklarından (Nesrullajev et al., 2003), TTAB+su+oktanol sistemleri üzerlerinde ayrıca mekanik deformasyon etkisi incelenmiştir. Bu deformasyon her ara faza uygulanmış ve etkileri karşılaştırılmıştır. Deformasyondan önceki ve sonraki tekstür özellikleri gözlenmiş ve çift kırıcılık değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak mekanik deformasyondan sonra tekstürlerin yapısının zamanla değiştiği görülmüştür. Ama her ara fazın tekstürünün değişimi, farklı sürelerde durmuş ve kararlı hale gelmiştir. Ardından deformasyona uğramadan önceki ve deformasyondan sonraki çift kırıcılık değerleri karşılaştırılmıştır.

TTAB+su+oktanol sistemine mekanik deformasyon uygulanmasıyla ara fazlar, karakteristik olmayan tekstür özellikleri göstermiştir. N_c ve N_d ara fazları, deformasyonun etkisiyle tekstürlerindeki ipliksi oluşumlar genişlemiştir. Böylece bu bölgelerdeki misel direktörlerinin rastgele yöneldiğini söyleyebiliriz. Diğer yandan hegzagonal E ara fazının tekstüründeki değişimin, diğer ara fazlara göre çok daha az olduğu görülmüştür. Aynı zamanda hegzagonal E ara fazının

tekstürlerindeki değişim diğer ara fazlara göre çok daha kısa zamanda meydana gelmiştir. Lamelar D ara fazında ise deformasyona uğrayan tekstürlere bakıldığında, schlieren oluşumlar görülmüştür ve bu durumda tabakalı yapı, bazı bölgelerde bozulmaya uğramıştır.

Mekanik deformasyon, tüm ara fazların çift kırıcılık değerlerini azaltmıştır. Çift kırıcılık değerlerinin, ara faz anizotropisiyle doğrudan ilgisi vardır. Deformasyon sonrasında ara fazların direktörlerinin yöneliminde meydana gelen değişiklik sonucunda çift kırıcılık değerlerini de etkilenmiştir. Özellikle N_d ara fazının deformasyondan çok daha fazla etkilendiğini hem tekstürlerden hem de çift kırıcılık değerinin daha çok azalmasından anlaşılabılır. Hegzagonal E ara fazı ise deformasyondan en az etkilenen ara faz olmuştur. Çünkü deformasyon ile tekstür özellikleri diğer ara fazlara göre daha az değişmiştir ve çift kırıcılık değerinde fazla düşüş olmamıştır. Bunun nedeni hegzagonal E arafazının diğer ara fazlara göre daha yüksek viskoziteye sahip olmasıdır (Neto and Salinas, 2005).

TTAB+su+oktanol liyotropik sistemlerinin nematik ara faz örneklerine, diğer bir dış fiziksel etki olarak manyetik alan uygulanmıştır. Manyetik alan etkisiyle N_c ve N_d ara fazlarının tekstürlerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve çift kırıcılık değerlerinin arttığı görülmüştür. Çift kırıcılık değerinin artışı, Pavlin et al. (2013) ve Palangana et al. (1995) çalışmalarında da bahsedildiği gibi misel direktörlerinin yönlenmesiyle ilgilidir. Ayrıca manyetik alan şiddetinin artmasıyla tekstürlerde meydana gelen değişimlerin hızlandığı ve çift kırıcılık değerlerinin daha çok arttığı tespit edilmiştir. Böylece direktörlerin daha hızlı yöneldiklerini söyleyebiliriz.

Mekanik deformasyon uygulanmasıyla ara fazların çift kırıcılık değerleri azalırken, manyetik alan etkisiyle çift kırıcılık değerleri artmıştır. Mekanik deformasyon misel direktörlerinin yönelim düzenlerini bozmuştur ve bu çift kırıcılık değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Misellerin aynı yönde yönelmeleri çift kırıcılık değeriyle bağlantılıdır (Pavlin et al., 2013; Mahadeva et al., 2009). Bu yüzden manyetik alan etkisiyle aynı yönde yönelen ara fazların çift kırıcılık değerleri artmıştır.

Sonuç olarak, literatürde ilk defa TTAB+su+oktanol sisteminin oluşturduğu ara fazlar belirlenmiş ve alkol zincir uzunluğunun liyotropik sistemlerdeki etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda bu sistemin ara fazlarının fiziksel özellikleri, sıcaklığa ve konsantrasyona bağlı olarak incelenmiştir. Mekanik ve manyetik deformasyon

etkisi uygulanarak, ara fazların tekstürlerinde meydana gelen dönüşümler incelenmiş ve çift kırıcılık (Δn) değerlerindeki değişim araştırılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akpınar, E., Reis, D. and Neto, A. M. F.,** 2012, Effect of alkyl chain length of alcohols on nematic uniaxial-to-biaxial phase transitions in a potassium laurate/alcohol/K₂SO₄/water lyotropic mixture, *Liquid Crystals*, 39 (7):881-888 pp.
- Bell, C.G., Breward, C.J.W., Howell, P.D., Penfold, J. and Thomas, R.K.,** 2007, Macroscopic modeling of the surface tension of polymer-surfactant systems, *Langmuir*, 23:6042-6052 pp.
- Burducea, G.,** 2004, Lyotropic liquid crystals I. specific structures, *Romanian Reports in Physics*, 56(1): 66-86 pp.
- Butt, H.J., Graf, K. and Kappl, M.,** 2003, Physics and Chemistry of Interfaces, Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, Weinheim, 361p.
- Chandrasekhar, S.,** 1992, Liquid Crystals, Second Edition, Cambridge University Press, UK, 460p.
- Chandrasekhar, S.,** 1992, Liquid Crystals, Second Edition, Cambridge University Press, UK, 460p.
- Charvolin, J., Levelut, A.M. et Samulski, E.T.,** 1979, Lyotropic nematics: molecular aggregation and susceptibilities, *Journal de Physique Lettres*, 40:587-592 pp.
- Cho, B.,** 2014, Nanostructured organic electrolytes, *RSC Adv.*, 4:395-405 pp.
- Collings, P.J.,** 1990, Liquid Crystals: Nature's Delicate Phase of Matter, Princeton University Press, New Jersey, 222p.
- Crawford, G.P. and Woltman, S.J.,** 2007, Liquid Crystals: A Unique Phase of Matter, 1-69, Liquid Crystals: Frontiers in Biomedical Applications, Woltman S.J., Crawford, G.P. and Jay, G.D. (Eds), World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 493p.
- Davidson, P. and Gabriel, J.C.P.,** 2005, Mineral liquid crystals, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9(6):377-383 pp.
- De Gennes, P.G. and Prost, J.,** 1993, The Physics of Liquid Crystals, Clarendon Press, Oxford, 596p.
- Demus, D., Goodby, J. and Gray, G. W.,** 1999, Physical Properties of Liquid Crystals, WILEY-VCH, New York, 503p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demus, J., Goodby, J., Gray, G. W., Spiess, H. W. and Vill, W.,** 1999, Physical Properties Of Liquid Crystals, Wiley-VCH, Germany, 490p.
- Dong, B., Xing, X., Wang, R., Wang, B., Zhou, X., Wang, C., Yu, L., Wub, Z. and Gao, Y.,** 2015, Reversible switching of amphiphilic self-assemblies between micelles and microemulsions by a thermal stimulus, *Chem. Commun.*, 51: 11119-11122 pp.
- Feher, A.,** 2006, Formulation and Investigation of in Situ Gelling Lyotropic Liquid Crystalline Systems, PhD thesis, University of Szeged, Faculty of Pharmacy Department of Pharmaceutical Technology, Szeged, 50p (unpublished).
- Filho, A. M., Amadeu, S. and Fujiwara, F. Y.,** 2007, The phase diagram of the lyotropic nematic mesophase in the Ttab/Nabr/water system, *Liquid Crystals*, 34 (6):683-691 pp.
- Filho, A. M., Laverde, A., Fujiwara, F. Y.,** 2003, Observation of two biaxial nematic mesophases in the Tetradecyltrimethylammonium bromide/decanol/water system, *Langmuir*, 19:1127-1132 pp.
- Fisch, M.R.,** 2004, Liquid Crystals, Laptops and Life, World Scientific Publishing Co., 376p.
- Fujiwara, F., Reeves, L. W., Suzuki, M. and Vanin, J. A.,** 1979, Studies of lyotropic liquid crystals that align in magnetic fields, *Solution Chemistry of Surfactants*, 1:63-77 pp.
- Hadgiivanova, R.,** 2009, Aggregation of Amphiphilic Molecules in Solution: Thermodynamics, Metastability, and Kinetics, PhD Thesis, Tel Aviv University, 77p (unpublished).
- Hecht, E.,** 2002, Optics, Pearson Education, Inc., San Fransisco, 698p.
- Hyde, S.T.,** 2001, Identification of Liquid Crystalline Mesophases, 299-332, Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry, Holmberg, K. (Ed.), John Willy & Sons Ltd., 1110p.
- Jenkins, F.A. and White, H. E.,** 1976, Fundamentals of Optics, McGraw Hill Inc., New York, 768p.
- Kazanci, N. and Nesrullajev, A.,** 2003, Refracting and birefringent properties of lyotropic nematic mesophases, *Materials Research Bulletin*, 38(6):1003-1012 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kazancı, N. and Nesrullajev, A.**, 2003, Refracting and birefringent properties of lyotropic nematic mesophases, *Materials Research Bulletin*, 38(6):1003-1012 pp.
- Kelly, S.M. and O'Neill, M.**, 2001, Liquid Crystals for Electro-optic Applications, 1-66, Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices, Volume 7: Liquid Crystals, Display and Laser Materials, Nalwa, H.S. (Ed.), Elsevier Inc., 3336p.
- Khoo, I.**, 2007, Liquid Crystals, John Wiley & Sons Inc., New Jersey 6, 368p.
- Kimura, N. M., Santoro, P. A., Fernandes, P. R. G. and Palangana, A. J.**, 2014, Reentrant isotropic-discotic nematic lyotropic phase transition: a refractive index study, *Liquid Crystals*, 31(3):347-350 pp.
- Kliger, D.S. and Lewis, J.W.**, 1990, Polarized Light in Optics and Spectroscopy, Academic Press, 440p.
- KRÜSS GmbH**, “Wilhelmy plate method”, <http://www.kruss.de/services/education-theory/glossary/wilhelmy-plate-method/>, (Erişim tarihi: 3 Ağustos 2015).
- Kumar, S.**, 2011, Chemistry of Discotic Liquid Crystals, CRC Press, Florida, 491p.
- Kuzma, M. R.**, 1986, Nonequilibrium periodic structures induced by rotating and static fields in a lyotropic nematic liquid crystal, *Physical Review Letters*, 57:349-357 pp.
- Kyowa Interface Science Co., Ltd.**, “Measurement of Surface Tension”, http://www.face-kyowa.co.jp/english/en_science/en_theory/en_what_Surface_tension/#id01, (Erişim tarihi: 3 Ağustos 2015)
- Lagerwall, J.P.F. and Scalia, G.**, 2012, A new era for liquid crystal research: Applications of liquid crystals in soft matter nano-, bio- and microtechnology, *Current Applied Physics*, 12: 1387-1412 pp.
- Larson, B. D. and Litster, J. D.**, 1984, Nematic ordering in lyotropic liquid crystals, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Vol. 113:13-24 pp.
- Lawson, K.D. and Flautt, T.J.**, 1967, Magnetically oriented lyotropic liquid crystalline phases, *Journal of the American Chemical Society*, 89(21):5489–5491 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lowrie, W., 2007**, Fundamentals of Geophysics, Cambridge University Press, 390p.
- Mahadeva, J., Govindaiah, T. N., Somashekar, R. and Nagappa, 2009**, Lyotropic liquid crystalline phases in the mixtures of non-mesogenic compounds, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 509: 21-29 pp.
- Malliaris, A., Le Moigne, J., Sturm, J., and Zana, R., 1985**, Temperature dependence of the micelle aggregation number and rate of intramicellar excimer formation in aqueous surfactant solutions, *J. Phys. Chem.*, 89: 2709-2713 pp.
- Martin, A., 1993**, Physical Pharmacy - Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences, Lippincott Williams & Wilkins, USA, 622p.
- Masalci, Ö., 2006**, Tetradecyl-trimethyl-ammonium bromide (TDTAbr) Temelli İkili ve Üçlü Sistemlerdeki Faz Hallerinin Belirlenmesi ve Mezofazların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s (yayınlanmamış).
- Masalci, O. and Kazanci, N., 2007**, Refractive index measurements in the lyotropic nematic phase, *AIP Conference Proceedings*, 899:265-266 pp.
- Masalci, O. and Kazanci, N., 2009**, Compared properties of textures of lyotropic mesophases of binary and ternary systems based on tetradecyltrimethyl ammonium bromide, *Journal of Molecular Structure*, 919:1-6 pp.
- Masalci, Ö., Okcan, M. and Kazanci, N., 2007**, Refracting and electrical properties and the phase equilibria of the TTAB + water binary system, *Journal of Molecular Structure*, 843: 32-37 pp.
- Massachusetts Institute of Technology**, “Mechanical definition of surface tension”, <http://web.mit.edu/nnf/education/wettability/definition.html> (Erişim tarihi: 9 Şubat 2015).
- Murphy, D.B., Spring, K.R., Fellers, T. J. and Davidson, M.W., “Introduction to Optical Birefringence”,** <http://www.microscopyu.com/articles/polarized/birefringenceintro.html>, (Erişim tarihi: 20 Ocak 2015).
- Nesrullajev, A. and Kazanci, N., 1999**, Peculiarities of the schlieren textures in lyotropic nematic mesophases, *Acta Physica Polonica-Series A*, 95: 931-937 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nesrullajev, A., Kazancı, N. and Yıldız, T.,** 2003, Hexagonal lyotropic liquid crystalline mesophase: change of rod-like micelle sizes with changes in concentrations, *Materials Chemistry and Physics*, 80: 710–713 pp.
- Nesrullazade, A.,** 2006, Liyotropik Sıvı Kristaller: Amfifilik Sistemler, Muğla Üniversitesi Basımevi, Muğla, 269s.
- Nesrullazade, A., Yurtseven, H. ve Kazancı, N.,** 2000, Sıvı Kristaller: Yapıları, Özellikleri, Uygulamaları, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 305s.
- Neto, A.M.F. and Salinas, S.R.A.,** 2005, The Physics of Lyotropic Liquid Crystals: Phase Transitions and Structural Properties, Oxford University Press, 320p.
- Okcan, M.,** 2005, N-Cetyl-N,N,N-Trimethyl-Ammonium Bromide (CTAB) + Su + Oktanol Üçlü Liyotropik Sistemdeki Faz Hallerinin Belirlenmesi ve Ara Fazların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 80s (yayınlanmamış).
- Özden, P., Nesrullajev, A. and Oktik, Ş.,** 2010, Phase states and thermomorphologic, thermotropic, and magnetomorphologic properties of lyotropic mesophases: Sodium lauryl sulphate–water–1-decanol liquid-crystalline system, *Physical Review E*, 82:061701 pp.
- Palangana, A. J., Evangelista, L. R. and Zvezdin, A. K.,** 1995, The behavior of the distortion angle for lyotropic nematic liquid crystals as a function of the magnetic field, *Physics Letters A*, 200:56-60 pp.
- Pasechnick, S.V., Chigrinov, V.G. and Shmeliova, D.V.,** 2009, Liquid Crystals: Viscous and Elastic Properties, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 424p.
- Pavlin, J., Vaupotič, N. and Čepič, M.,** 2013, Liquid crystals: a new topic in physics for undergraduates, *Eur. J. Phys.*, 34:745–761 pp.
- Piazza, R.,** 2011, Soft Matter: The Stuff That Dreams Are Made Of, Springer Science & Business Media, 294p.
- Prajapati, K. and Patel, S.,** 2012, Micellization of surfactants in mixed solvent of different polarity, *Archives of Applied Science Research*, 4(1):662-668 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Quist, P.O., Halle, B. and Furó, I.**, 1992, Micelle size and order in lyotropic nematic phases from nuclear spin relaxation, *Journal of the American Chemical Society*, 96(5):3875-3891 pp.
- R. Hadgiivanova**, 2009, Aggregation of Amphiphilic Molecules in Solution: Thermodynamics, Metastability, and Kinetics, Phd Thesis, Tel Aviv University, 77 (unpublished).
- Radley, K. and Saupe, A.**, 1978, The structure of lyotropic nematic decylammoniumchloride and bromide systems by pmr of monomethyltin complexes and by microscopic studies, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 44: 227-235 pp.
- Refratometer.pl**, 2011, Abbé refractometer, <http://www.refractometer.pl/Abbe-refractometer>, (Erişim tarihi: 3 Ağustos 2015).
- Reis, D., Akpınar, E. and Neto, A.M.F.**, 2013, Effect of alkyl chain length of alcohols on cholesteric uniaxial to cholesteric biaxial phase transitions in a potassium laurate/alcohol/potassium sulfate/water/brucine lyotropic mixture: evidence of a first-order phase transition, *Journal of Physical Chemistry B*, 117 (3):942-948 pp.
- Rioboo, R. J. J., Philipp, M., Ramos, M. A. and Krüger, J. K.**, 2009, Concentration and temperature dependence of the refractive index of ethanol-water mixtures: Influence of intermolecular interactions, *Eur. Phys. J. E*, 30:19–26 pp.
- Rosevear, F.B.**, 1968, Liquid crystals: the mesomorphic phases of surfactant compositions, *J. Soc. Cosmetic Chemists*, 19:581–594 pp.
- Santoro, P. A., Pereira, J. R. D. and Palangana, A. J.**, 2002, Refractive index measurements in a reentrant isotropic-calamitic nematic phase transition; *Physical Review E*, 65: 057602 pp.
- Senyuk, B.**, Liquid Crystals: a Simple View on a Complex Matter <http://www.personal.kent.edu/~bisenyuk/liquidcrystals/textures1.html>, (Erişim tarihi: 18 Şubat 2015).
- Singh, S.**, 2002, Liquid Crystals: Fundamentals, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 531p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Smith, M.H.**, 1990, Lyotropic Mesomorphism in Micellar Liquid Crystals Formed from Aqueous Solutions of the Salts of Pentadecafluorooctanoic Acid – PhD Thesis, Department of Chemistry and Biochemistry, Massey University, New Zealand, 192p.
- Sonin, A.S.**, 1987, Lyotropic nematics, *Sov. Phys. Usp.*, 30(10):875-896 pp.
- Stony Brook University**, “Refraction”, http://www.ic.sunysb.edu/Class/phy141md/doku.php?do=export_s5&id=phy142:lectures:30, (Erişim tarihi: 3 Ağustos 2015).
- Tamhane, K.**, 2009, Formation of Lyotropic Liquid Crystals Through the Self-Assembly of Bile Acid Building Blocks, MSc Thesis, University of Central Florida, Florida, 80p (unpublished).
- Tanford, C.**, 1972, Micelle shape and size, *J. Phys. Chem.*, 76 (21):3020–3024 pp.
- University of Cambridge**, Optical Anisotropy and the Optical Indicatrix, University Of Cambridge, <http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/anisotropy/optical.php>, (Erişim tarihi: 29 Ocak 2015).
- Wang, X.J. and Zhou, Q.F.**, 2004, Liquid Crystalline Polymers, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 374p.
- Woltman, S. J., Crawford, G.P. and Jay, G.D.**, 2007, Liquid Crystals: Frontiers in Biomedical Applications, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 493p.
- Yavuz, A. E., Masalci, Ö. and Kazanci, N.**, 2014, Phase diagram of tetradecyltrimethylammonium bromide (TTAB) + water + octanol system with application of mechanical deformation, *Applied Surface Science*, 318: 251-255 pp.
- Yavuz, A. E., Masalci, Ö. and Kazanci, N.**, 2014, Morphological properties and birefringences of uniaxial lyotropic nematic mesophases under influence of various magnetic field values, *Advanced Materials Letters*, 5(7): 409-413 pp.
- Yıldız, T. and Kazanci, N.**, 2008, Investigation of temperature dependence of mesomorphism and refracting index of sodium dodecylsulphate + water + decanol lyotropic system, *Journal of Molecular Structure*, 886:158–165 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yu, L.J. and Saupe, A.,** 1980, Liquid crystalline phases of the sodium decylsulfate/decanol/water system. nematic-nematic and cholesteric-cholesteric phase transitions, *Journal of American Chemical Society*, 102(15):4879–4883 pp.
- Zana, R.,** 1995, Aqueous surfactant-alcohol systems: a review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 57: 1-64 pp.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Aykut Evren YAVUZ

Doğum Yeri ve Yılı: Denizli, 01/01/1982

ÖĞRENİM DURUMU

Lise: Efeler Süper Lisesi, 1996-2000, Aydın.

Lisans: Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, 2000 - 2005, İzmir.

Yüksek Lisans: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, 2009, İzmir.

YAYINLAR

Yavuz, A. E. , Bayarı, S. H. and Kazancı, N., 2009, Structural and vibrational study of maprotiline, *Journal of Molecular Structure*, 924–926: 313–321 pp.

Yavuz, A. E., Masalci, Ö. and Kazancı, N., 2014, Phase diagram of tetradecyltrimethylammonium bromide (TTAB) + water + octanol system with application of mechanical deformation, *Applied Surface Science*, 318: 251-255 pp.

Yavuz, A. E., Masalci, Ö. and Kazancı, N., 2014, Morphological properties and birefringences of uniaxial lyotropic nematic mesophases under influence of various magnetic field values, *Advanced Materials Letters*, 5(7): 409-413 pp.