

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAN GRUBUNDA STEROİD İÇEREN SIVI KRİSTAL
POLİMERLERİN SENTEZİ VE ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

FIRAT KAYABAŞI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAN GRUBUNDA STEROİD İÇEREN
SIVI KRİSTAL POLİMERLERİN SENTEZİ
VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

FIRAT KAYABAŞI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. AYŞE GÜL GÜREK

GEBZE

2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**SYNTHESIS OF STEROID CONTAINING
LIQUID CRYSTAL POLYMERS IN THE
SIDE GROUP AND INVESTIGATION OF
ELECTRICAL PROPERTIES**

FIRAT KAYABAŞI
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. AYŞE GÜL GÜREK

GEBZE
2019



GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/07/2019 tarih ve 2019/30 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/07/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Fırat KAYABAŞI'nın tez çalışması Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Prof. Dr. Ayşe Gül GÜREK

ÜYE

: Prof. Dr. Hayal BÜLBÜL SÖNMEZ

ÜYE

: Doç.Dr. Erdinç DOĞANCI

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../2019 tarih ve 2019/..... sayılı kararı.

ÖZET

Transistörler girişine uygulanan sinyali yükselterek gerilim ve akım kazancı sağlayan, gerektiğinde anahtarlama elemanı olarak kullanılan yarı iletken bir elektronik devre elemanıdır. İki N maddesi, bir P maddesi (NPN) ya da iki P maddesi, bir N maddesi (PNP) birleşiminden oluşur. Devre sembolü üzerinden orta kutup Base (B), okun olduğu kutup Emitter (E), diğer kutup Collector (C) olarak adlandırılır. Organik alan etkili transistörler organik polimer yalıtkan tabaka ve organik yarı iletken tabaka olmak üzere iki organik tabakadan, kaynak (source), savak (drain) ve kapı (gate) olmak üzere 3 elektrottan oluşmuştur. Organik alan etkili transistörlerde, yüksek dielektrik katsayısına sahip inorganik yalıtkan tabaka (SiO_2 , Al_2O_3 , SiN_x , vb.) ve polimer yapılı yalıtkan tabaka PMMA (poli metilmetakrilat), PVP (poli vinilfenol), PVA (Poli vinilalkol) vb. kullanılır. OFET'in yapısındaki "gate" dielektrik tabakası iyi işlenebilirliğe yeniden üretilebilirliğe, bozulmaya karşı kararlı, düşük yük tuzaklarına, küçük sızıntı akımına ve yüksek bozulma voltajına sahip olmalıdır. OFET'lerde yapı içindeki taşıyıcı yüklerin oluşumunda yalıtkan ve yarı iletken malzemenin morfolojisi ve uyumu önemli bir rol oynadığından dolayı ve yüklerin taşınması iletken kanal üzerinden olduğundan elektriksel kuvvet uygulandığında belli bir yönelim sağlayan malzeme kullanmak önemlidir. Sıvı kristal malzemelere belli bir elektrik alanı uygulandığında belli bir yönelim yaptıklarından dolayı yalıtkan ya da iletken tabakanın sıvı kristal özellik gösteren bir malzeme olması mobilitenin artmasına pozitif etki edecektir.

Bu tez çalışmasında sıvı kristal özelliğe sahip yan grubu kolesterol (steroid) içeren metil metakrilat (CholMMA) monomerleri ile stiren (S) ve metiltiyenil metakrilat (MTM, yan grubunda tiyofen içeren metakrilat tabanlı monomer) monomerleri ile farklı kompozisyonda kopolimerleri (Poli (CholMMA-ko-S) ve Poli (CholMMA-ko-MTM)) hazırlanacaktır ve yapıları aydınlatılacaktır. Daha sonra, polimerlerin dielektrik sabitleri ölçülerek OFET uygulamalarında kullanılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kolesterol, OFET, MTM, Stiren, Sıvı Kristal.

SUMMARY

Transistors is a semiconductor electronic circuit element which can be used as a switching element if necessary to increase the voltage and current gain by increasing the signal applied to the input. It consists of two N substances, one P substance (NPN) or two P substances, one N substance (PNP) combination. Through the circuit symbol, the middle pole is called Base (B), the pole where the arrow is Emitter (E), the other pole is called Collector (C). Organic field effect transistors are composed of two organic layers, organic polymer insulating layer and organic semiconductor layer, 3 electrodes as source, drain and gate. In organic field effect transistors, inorganic insulating layer with high dielectric coefficient (SiO_2 , Al_2O_3 , SiN_x , etc.) and polymer structured insulating layer are PMMA (poly methylmethacrylate), PVP (poly vinylphenol), PVA (Poly vinyl alcohol) and etc used. The “gate” dielectric layer in the OFET's structure should have good processability, reproducibility, distortion-stable, low load traps, small leakage current and high distortion voltage. Because the morphology and compatibility of the insulator and semiconductor material play an important role in the formation of carrier loads in the OFETs, and because the transport of the loads is through the conducting channel, it is important to use material that provides a certain orientation. The fact that the insulating or conductive layer is a liquid crystalline material will have a positive effect on the increase in mobility because they make a certain orientation when a certain electric field is applied to the liquid crystal materials. In this thesis, methyl methacrylate (CholMMA) monomers which contain liquid crystalline side group cholesterol (steroid), styrene (S) and methylthienyl methacrylate (MTM, methacrylate-based monomer containing thiophene in its side group) copolymers of different composition (Poly (CholMMA-co-S) and Poly (CholMMA-co-MTM)) will be prepared with their monomers and their structures will be illuminated. The dielectric constants of the polymers will then be measured and used in OFET applications.

Key Words: Cholesterol, OFET, MTM, Styren, Liquid Crystal.

TEŞEKKÜR

Tez konusunu öneren ve bu çalışmayı yapabilmem için gerekli olanakları sağlayan, derin bilgi ve tecrübesiyle her zaman beni destekleyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Erdiñ DOĞANCI' ya en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince bizi destekleyen ve elinden gelen tüm katkıyı sağlayan Prof. Dr. Ayşe Gül GÜRLEK, Prof. Dr. Hayal BÜLBÜL SÖNMEZ ve Doç. Dr. Ahmet DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvardaki yoğun deneysel çalışma sürecinde, yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Zeynep M. ŞAHİN, Figen AYNALI, Sümeyra BAYIR, Sedat KÜÇÜKKÖYLÜ'ye bu dönemimde bana karşı anlayış ve sabır gösteren ismini yazamadığım tüm arkadaşlarıma ve tüm sevdiklerime teşekkür ederim.

Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca bana devamlı destek olan aileme de sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1. Transistörler	3
2.1.1. Organik Alan Etkili Transistör (OFET)	4
2.1.2. Organik Alan Etkili Transistörlerin Çeşitleri	6
2.2. Alan Etkili Transistörlerin Çalışma Prensibi	7
2.2.1. Alan Etkili Transistörün Performans Karakteristikleri	8
2.2.2. Yüksek Performanslı OFET'ler İçin Temel Parametreler	9
2.2.3. OFET'lerde Kullanılan Yarı İletken Malzemeler	10
2.2.4. OFET'lerde Kullanılan Yalıtkan Malzemeler	10
2.3. OFET'lerde Kullanılan Üretim Teknikleri	12
2.4. STEROİDLER	14
2.4.1. Steroidlerin Yapısı ve Özellikleri	14
2.4.2. Kolesterol	15
2.4.3. Sıvı Kristaller	16
2.4.4. Sıvı Kristaller Türleri	17
2.4.5. Termotropik Sıvı Kristaller	17
2.4.6. Liyotropik Sıvı Kristaller	18
2.4.7. Sıvı Kristal Polimerler	19
3.MALZEME ve METOD	22
3.1. Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Maddeler	22
3.2. Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Cihazlar	23

4. DENEYSEL KISIM	24
4.1. Yalıtkan Kopolimerin Sentezi	24
4.1.1. 3-Metiltiyenil Metakrilat(3-MTM) Monomerinin Sentezi	24
4.1.2. [P(CholMMA-ko-MTM)] Yalıtkan Kopolimerin Sentezi	25
4.1.3.[P(CholMMA-ko-S)] Yalıtkan Kopolimerin Sentezi	25
4.2. Transistörün Hazırlanması	26
4.2.1. Kapı Elektrodunun Formülasyonu	26
4.2.2. ITO Alttaşlarının Temizlenmesi	27
4.2.3.Yarı İletkenin Katmanın Hazırlanması	28
4.2.4. Yalıtkan Katmanın Hazırlanması	29
4.2.5. Kapı Elektrotunun Hazırlanması ve OFET Üretiminin Tamamlanması	30
5. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI	31
5.1.3-Metiltiyenil Metakrilat(3-MTM) Karakterizasyonu	31
5.2. [P(CholMMA-ko-MTM)] Yalıtkan Kopolimerin Karakterizasyonu	31
5.3. [P(CholMMA-ko-MTM)] Kopolimerinin Isısal Özelliklerinin İncelenmesi	33
5.4. [P(CholMMA-ko-MTM)] Kopolimerin GPC ile İncelenmesi	34
5.5. [P(CholMMA-ko-S)] Yalıtkan Kopolimerin Karakterizasyonu	35
5.6. [P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin Isısal Özelliklerinin İncelenmesi	36
5.7. [P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin GPC ile İncelenmesi	37
5.8. [P(CholMMA-ko-S)] Yalıtkan Kopolimerin POM ile İncelenmesi	38
5.9. [P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin ve PS Elektriksel Karakterizasyonu	38
5.9.1. [P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin Kapasitans Özellikleri	38
5.9.2. Yalıtkan Polimerlerli OFET'lerin Çıkış Karakteristikleri	41
5.9.3.Yalıtkan Polimerlerli OFET'lerin Transfer Karakteristikleri	43
6.SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	53
EKLER	55

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kisaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
LCP	: Sıvı Kristal Polimer
MCLCP	: Ana Zincir Sıvı Kristal Polimer
SCLCP	: Yan Zincir Sıvı Kristal Polimer
Chol	: Kolesterol
LC	: Sıvı Kristal
OFET	: Organik Alan Etkili Transistör
PMMA	: Polimetilmetakrilat
RFID	: Radyo Frekansı Tanımlama
PS	: Polistiren
CholMMA	: Kolesterol Metil Metakrilat
S	: Stiren
P(CholMMAkoS)	: Poli Kolesterol Metil MetakrilatkoStiren
P(CholMMAkoMTM)	: Poli Kolesterol Metil MetakrilatkoMetilTineyilMetakrilat
TGBC	: Üst Yüzey Kapı Alt Katman Kontak
P3HT	: Poli(3-HekzilTiyofen)
B	: Temel
E	: Emitör
C	: Kollektör
L	: Kanal Boyu
W	: Kanal Genişliği
ITO	: İndinyum Kalay Oksit
PVP	: Poli Vinil Fenol
PVA	: Poli Vinil Alkol
V _g	: Kapı Voltajı
V _d	: Savak Voltajı
V _{ds}	: Kaynak Savak Voltajı
I _{ds}	: Kaynak Savak Akımı

V _{gs}	:	Kaynak Kapı Voltajı
Ion/off	:	Açma Kapama Akımı
TC/BG	:	Üst Yüzey Kontak/ Alt Katman Kapı
BC/BG	:	Alt Katman Kontak / Alt Katman Kapı
BC/TG	:	Alt Katman Kontak / Üst Yüzey Kapı
TC/TG	:	Üst Yüzey Kontak / Üst Yüzey Kapı
R _s	:	Kanal Direnci
HOMO	:	En Yüksek Enerjili Dolu Molekül Orbital
LUMO	:	En Düşük Enerjili Boş Molekül Orbital
PVC	:	Polivinilklorür
CYEPL	:	Siyanaetilpulluan
BCB	:	Benzosiklobüten
3-MTM	:	3-Metiltiyelin Metakrilat
AIBN	:	Azobisizobütironitril
FT-IR	:	Fourier Transform Kızıl Ötesi Spektrometresi
GPC	:	Jel Geçirgenlik Spektrometresi
DSC	:	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
TGA	:	Termo Gravimetrik Analiz Cihazı
DMSO	:	Dimetilsülfoksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Transistör a) Görüntüsü b) Sembolü.	3
2.2: Organik Alan Etkili Transistör Yapısı.	5
2.3: Organik Alan Etkili Transistör Üretim Geometrilere.	6
2.4: OFET'ler İçin Enerji Düzeyi Diyagramı.	8
2.5: Bazı Organik Yarı iletkenlerin Kimyasal Yapısı.	10
2.6: Organik Alan Etkili Transistörlerde Kullanılan Yalıtkan Polimerler.	11
2.7: OFET Üretim Teknikleri.	13
2.8: Steroidlerin Ana İskelet Yapısı Olan Steran Halkası.	15
2.9: Kolesterolün Yapısı.	15
2.10: Katı Sıvı Kristal ve Sıvı Moleküllerin Düzeni.	16
2.11: Sıvı Kristallerin Sınıflandırma Şeması.	17
2.12: Kalamitik Sıvı Kristal Fazlarının Şematik Gösterimi.	18
2.13: Diskotik Sıvı Kristal Fazların Şematik Gösterimi.	18
2.14: Liyotropik Bir Sıvı Kristal Olan Sodyum Dodesil Sülfatın Şekli.	19
2.15: Sıvı Kristal Polimerler.	20
4.1: 3-Metiltiyenil Metakrilatın (3-MTM) Sentez Reaksiyonu.	24
4.2: [P(CholMMA-ko-MTM)] Yalıtkan Kopolimerin Sentezi.	25
4.3: [P(CholMMA-ko-S)] Yalıtkan Kopolimerin Sentezi.	26
4.4: Kapı Elektrotunun Hazırlanması.	27
4.5: ITO Alt taşlarının Temizlenmesi.	27
4.6: İletken Yüzeyin Belirlenmesi.	28
4.7: ITO'nun Kaplanması.	28
4.8: P3HT Katmanının Hazırlanması.	29
4.9: Yalıtkan Katmanının Hazırlanması.	29
4.10: Kapı Elektrotunun Kaplanması.	30
5.1: 3-MTM ¹ H-NMR Spektrumu.	31
5.2: [P(CholMMA-ko-MTM)] ¹ H-NMR Spektrumu.	32
5.3: [P(CholMMA-ko-MTM)] FT-IR Spektrumu.	33
5.4: Molce Farklı Oranda CholMMA İçeren P(CholMMA-ko-MTM)	34

Kopolimerlerinin TGA Grafiği.	
5.5: [P(CholMMA-ko-MTM)] Polimerinin DSC Grafiği.	34
5.6: [P(CholMMA-ko-S)] ve PS'nin ¹ H-NMR Spektrumu.	35
5.7: [P(CholMMA-ko-S)] ve PS'nin FT-IR Spektrumu.	36
5.8: Molce Farklı Oranda CholMMA İçeren P(CholMMA-ko-S) Kopolimerlerinin TGA Grafiği.	37
5.9: [P(CholMMA-ko-S)] Polimerinin ve PS'in DSC grafiği.	37
5.10: [P(CholMMA-ko-S)] Polimerinin POM Görüntüsü.	38
5.11: %1 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerinin Kapasite Grafiği.	39
5.12: %3 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerinin Kapasite Grafiği.	40
5.13: %5 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerinin Transfer Grafiği.	40
5.14: %100 PS Polimerinin Kapasite Grafiği.	40
5.15: %1 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Çıkış Karakteristiği.	41
5.16: %3 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Çıkış Karakteristiği.	42
5.17: %5[P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Çıkış Karakteristiği.	42
5.18: %100 PS Polimerli OFET'in Çıkış Karakteristiği.	42
5.19: %1 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Transfer Karakteristiği.	44
5.20: %3 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Transfer Karakteristiği.	44
5.21: %5 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Transfer Karakteristiği.	45
5.22: %100 PS Polimerli OFET' Transfer Karakteristiği.	45
5.23: Eşik Voltajı ve Mobiltenin CholMMA Oranına Göre Değişimi. <i>I_{on}/I_{off}</i> Değerinin CholMMA Oranına Göre Deđerimi.	46

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Kimyasal Maddeler.	22
3.2: Yapı Aydınlatma Çalışmalarında Kullanılan Cihazlar.	23
5.1: [P(CholMMA-ko-MTM)] Kopolimerin Termal Özellikleri.	33
5.2: Sentezlenen Polimerlere Ait Ortalama Mol Kütlesi ve Polidispersite.	35
5.3: [P(CholMMA-ko-S)] kolimerin Termal Özellikleri.	36
5.4: Sentezlenen Polimerlere Ait Ortalama Mol Kütlesi ve Polidispersite.	38

1.GİRİŞ

Polimerlerin ve sıvı kristal maddelerin özelliklerini bir arada gösteren yapılara sıvı kristal polimer (LCP) denir. Polimerin sıvı kristal özellik göstermesi için ana ya da yan zincirinde mezojenik (çubuk veya disk benzeri birimler) gruplar bulunması gerekir. Mezojenik birim ana zincir içerisinde yer alıyorsa ana zincir sıvı kristal polimer (MCLCP) yan grupta yer alıyorsa yan zincir sıvı kristal polimer (SCLCP) oluşur. SCLCP'lerin mezojenik davranışı MCLCP'ye göre daha geniş bir sıcaklık aralığında seyreder [1]-[3]. SCLCP'ler, polimer omurga, mezojenik grup ve polimer omurga ve mezojen arasındaki esnek boşluk gibi bileşenleri değiştirilerek çeşitlendirilebilir [4]-[7]. Literatürde SCLCP'lerin kolesterol (Chol) izosorbid ve menthol gibi kiral bileşiklerle sentezlendiği görülmektedir [8]-[11]. Yan grubunda kolesterol içeren LCP optik özelliklerinden dolayı önemli bir faydaya sahiptirler [12]. Sıvı kristal (LC) Kiral, nematik ve smatik fazları sebebiyle elektro ve termo optik uygulamalarda kullanılır [13]. Mikro elektronik cihazlar için sıvı kristal polimerler en umut verici maddelerden biridir [14]-[17]. Son zamanlarda Organik Alan Etkili Transistorler (OFET) elastik, hafif ve düşük maliyetli olmaları sebebiyle elektronik cihazlarda kullanımı büyük bir ilgi görmektedir [18]-[21]. Ayrıca düz panel ekranlar, elektronik kâğıt ve kimyasal sensörler gibi çeşitli alanlarda kullanılır [22]-[23]. Poli (metil metakrilat) PMMA iyi bir dielektrik malzeme olarak bilinir [24].

PMMA sert, kırılğan az polarlı ve dielektrik sabiti 3.5 (5Khz) ile 2.6 (1MHz) arasında değişmektedir. Bu özellikleri sebebiyle OFET'lerde kapı elektrodu olarak kullanılır [25]-[26]. Son zamanlarda düşük üretim fiyatı esneklik düşük sıcaklıkta üretim ve geniş uygulama alanları sebebiyle OFET'ler büyük bir ilgi çekmektedir [27]-[29].

OFET'lerin kullanım alanlarına örnek verecek olursak; sensörler, elektronik kâğıtlar, radyo frekansı tanımlama etiketi (RFID), akıllı kartlar, elektronik deriler organik [30]-[33]. OFET cihazlarının performansı sadece yarı iletken tabakaya bağlı değil aynı zamanda yalıtkan tabakaya ve yalıtkan tabaka ile yarı iletken tabaka arasındaki morfolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklere de bağlıdır [34]-[36]. OFET'lerde yük akışı ve toplanması yarı iletken ve yalıtkan arasındaki ara yüz

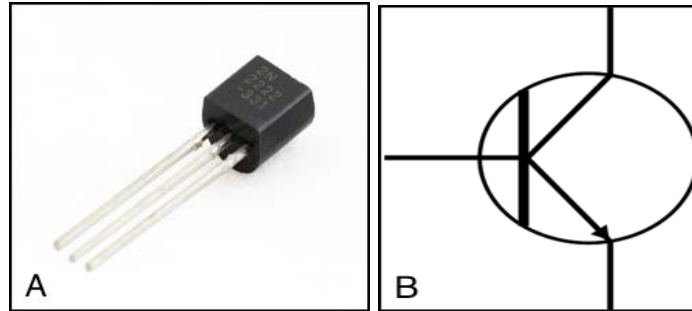
üzerinden gerçekleştiği için yalıtkan tabakanın morfolojik ve elektriksel özellikleri çok önemlidir [37]-[39]. Polistiren (PS) oluşan kapı yalıtkanları iyi dielektrik özelliklerine sahiptir [40]. PS, kimyasal ve yapısal özellikler bakımından çok yönlü bir polimerdir ve çeşitli taktiklikleri ve zincir uzunlukları ile çeşitli polimerizasyon mekanizmalarıyla kolayca sentezlenebilir [41]. Böylece, dielektrik malzeme olarak PS, elektronik uygulama ve kompozit malzemeler gibi alanlarda ilginç uygulamalara sahiptir [42]-[45]. Son zamanlarda üretilen PS-PEDOT OFET'i cihaz karakterisliği olarak iyi sonuçlar vermiştir örneğin düşük eşik değeri, uygun mobilite ve on/off değeri.

Bu çalışmamız da farklı oranlarda Kolesterol Metil Metakrilat (CholMMA) ve Stiren (S) içeren P(CholMMAkoS) ve P(CholMMAkoMTM) polimerini sentezleyerek sıvı kristal özelliği gösteren polimerin mobilite üzerine etkisi incelenmiştir. Karakterizasyon işlemi ¹H NMR ve DSC VE FTIR ile gerçekleştirilmiştir. Ürettiğimiz OFET Üst Yüzey Kapı Alt Katman Kontak olan (TGBC) ve iletken tabaka olarakta Poli(3-HekzilTiyofen) P3HT kullanılmıştır. Elektriksel karakterizasyonu sonucu iyi bir mobilete değeri gözlemlenmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Transistörler

Transistörler girişine uygulanan sinyali yükselterek gerilim ve akım kazancı sağlayan, gerektiğinde anahtarlama elemanı olarak kullanılan yarı iletken bir elektronik devre elemanıdır (Şekil 2.1). Transistör üç kutuplu bir devre elemanıdır. İki N maddesi, bir P maddesi (NPN) ya da iki P maddesi, bir N maddesi (PNP) birleşiminden oluşur. Devre sembolü üzerinden orta kutup Base (B), okun olduğu kutup Emitter (E), diğer kutup Collector (C) olarak adlandırılır. Base akımının şiddetine göre kollektör ve emiter akımları ayarlanır. Bu ayar oranı kazanç faktörüne göre değişir. Transistörler elektronik cihazların temel yapı taşlarındandır. Günlük hayatta kullanılan elektronik cihazlarda birkaç taneden birkaç milyara varan sayıda transistör bulunabilir.



Şekil 2.1: Transistör a) Görüntüsü, b) Sembolü.

20. Yüzyılın en önemli buluşlarından biri olarak kabul edilen ve elektronik devrelerin can damarı olan transistörler, 1947 yılında yapıldı. Dünyanın en büyük telefon şirketi olan Bell kuruluşlarının araştırma laboratuvarlarında, William Shockley başkanlığında John Bardeen ve Walter Brattain'den oluşan ekip, teknolojiye yepyeni bir çığır açan bu buluşlarından dolayı, 1956 yılında Nobel Ödülü'nü paylaştı. Bardeen ve Brattain, radyo ve telefon sinyallerinin alınmasında, güçlendirilmesinde ve yansıtılmasında kullanılan termiyonik kapaklara karşı bir seçenek bulmak için uğraşıyorlardı. Çabuk kırılabilen ve pahalıya mal olan bu lambaların ısınması için belirli bir sürenin geçmesi gerekiyordu, ayrıca bir hayli de elektrik tüketiyordu.

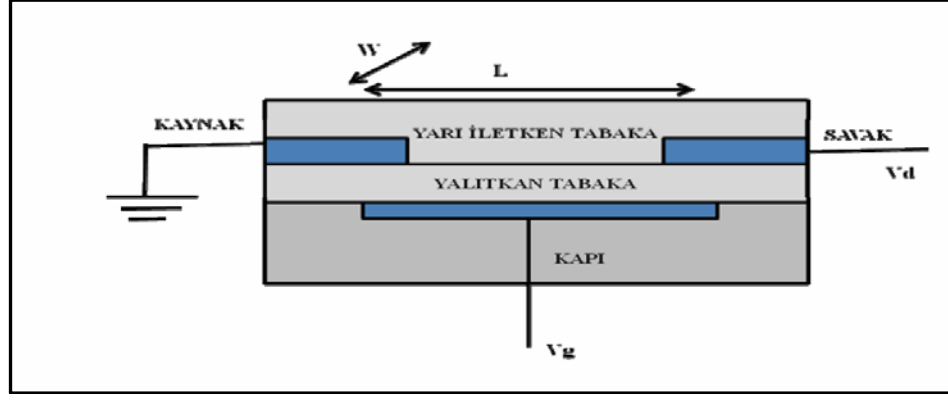
Ekip ilk transistörü, ince bir germanyum tabakasından yaptı. 1947 Noel'inden iki gün önce, bu transistör bir radyo devresine takıldı ve Brattain, defterine şu satırları yazdı: "Bu devre gerçekten işe yarıyor. Çünkü ses düzeyinde hissedilir bir yükselme sağlandı." Transistör, tıpkı lamba gibi, ses sinyalini güçlendiriyordu. Ama hem boyut olarak çok daha küçüktü hem de daha az enerjiye ihtiyaç duyuyordu. Önceleri küçücük bir aygıtın o koca lambaların yerini alabileceğine pek az kimse inandı. Ama Shockley ve ekibi, dört yıl içinde büyük gelişmeler sağladılar. 1952 yılında transistör orijinal boyutunun onda birine indirildi ve çok daha güçlendi. 1957'de yılda 30 milyon transistor üretilebilecek aşamaya gelindi. Bu alanda gelişmeler yine de sürdürüldü. Bilim adamları, germanyum tabakası yerine, çok daha büyük sıcaklıklara dayanabilen silisyum kullanmaya başladılar. Akımı saniyenin 100 milyonda biri kadar kısa bir zamanda iletebilen transistörler imal edildi. Bunların sayesinde cep tipi hesap makineleri, dijital saatler yapıldı. Radyo ve TV alıcılarındaki lambaların yerini de transistörler aldı. Eğer bu küçük harika aygıtlar olmasaydı, uydu haberleşmeleri, uzay araçları ve aya insan göndermek de mümkün olmayacaktı".

Elektronik alanda en fazla kullanılan entegre devre elemanlarından biri olan transistörlerin başlıca temel tipleri:

- Yüzey eklemli transistör
- Nokta temaslı transistör
- Tek eklemli transistör
- Alan etkili transistör (FET) Foto transistör
- Dört uçlu transistör
- Koaksiyal transistör olarak verilebilir.

2.1.1. Organik Alan Etkili Transistör (OFET)

Alan etkili transistör, Şekil 2.2 'te gösterilen organik polimer yalıtkan tabaka ve organik yarı iletken tabaka olmak üzere iki organik tabakadan, kaynak (source), savak (drain) ve kapı (gate) olmak üzere 3 elektrottan oluşmuştur. Diğer parametreler ise; kanal boyu = L (kaynak ve savak kontakları (genellikle LiF/Al veya Altın arasında kalan mesafe), kanal genişliği= W , ile belirtilmiştir.



Şekil 2.2: Organik Alan Etkili Transistörün Yapısı.

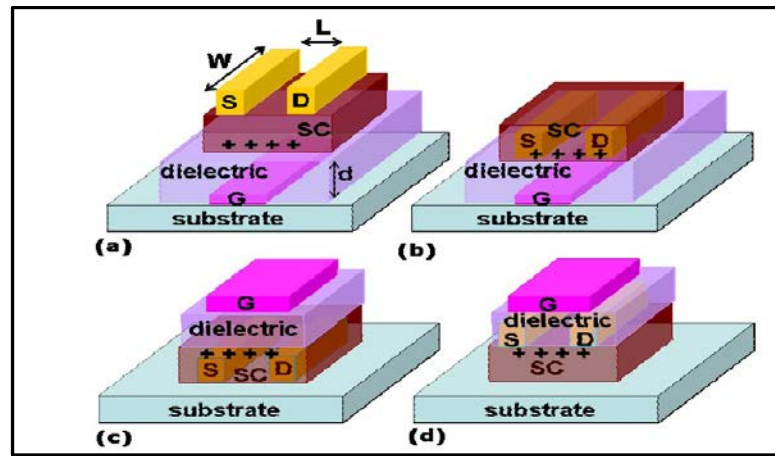
Alan etkili transistörlerde kullanılan ince yarı iletken tabaka, kapı (gate) elektrotu üzerindeki yalıtkan tabaka ile kontak durumundaki kaynak (source) ve savak (drain) elektrotları arasındaki bölümde bulunmaktadır. İlk organik alan etkili transistör, 1986 yılında politiyofen kullanılarak yapılmıştır [46]. Organik alan etkili transistörlerde kullanılan yarı iletken ince film tabaka oluşumu, kullanılan malzemenin fiziksel özelliğine bağlı olarak vakum süblimleştirme (vacuum sublimated), döndürerek kaplama (spin-coated), damlatarak kaplama (drop-casting) yöntemleri kullanılarak oluşturulur.

Gate elektrotu, yalıtkan tabakanın alt kısmında bulunan indiyum kalay oksit (ITO) denilen ince bir iletken tabakadan meydana gelmiştir. Organik alan etkili transistörlerde, yüksek dielektrik katsayısına sahip inorganik yalıtkan tabaka (SiO_2 , Al_2O_3 , SiN_x , vb.) ve polimer yapılı yalıtkan tabaka PMMA (poli metilmetakrilat), PVP (poli vinilfenol), PVA (Poli vinilalkol) vb.) olarak başlıca 2 türlü yalıtkan tabakadan oluşturulan transistör, yapısına ve tasarımı istenilen özelliklere bağlı olarak tasarlanmaktadır [47]. Yarı iletken tabakaya yük enjeksiyonunu sağlayan, kaynak (source) ve savak (drain) elektrotları genellikle altın gibi değerli metaller ile iletken polimerler tarafından meydana gelir [48]. Alan etkili transistor yapısında voltaj, kapı (gate) elektroduna (V_g) ve savak (drain) elektroduna (V_d) uygulanır. Kaynak (source) elektrotu genellikle toprak olarak belirlenir ($V_g=0$). Kaynak ile savak arasındaki potansiyel fark kaynak (source)-savak (drain) voltajı olarak tespit edilir (V_{ds}). Alan etkili transistör yapısına pozitif kapı (gate) voltajı uygulandığında, kaynak (source) elektrotundan enjekte edilen yükler kapı (gate) elektrotundan daha negatif bir değerde olduğu zaman elektron enjeksiyonu ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde, negatif kapı voltajı uygulandığında kaynak elektrotuna enjekte edilen yükler

kapı elektrotundan daha pozitif bir değerde olursa delik (hole) enjeksiyonu oluşmaktadır [49].

2.1.2. Organik Alan Etkili Transistörlerin Çeşitleri

Organik alan etkili transistörlerde kullanılan yarı iletken malzemenin özellikleri ve yapıda kullanılan kapı (gate) yalıtkan tabaka tarafından sağlanan çeşitli transistor yapıları, çok farklı transistor karakteristikleri sergileyebilmektedir. Değişik tasarım yapıları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Organik Alan Etkili Transistörlerin Üretim Geometrileri.

OFET 'te bilinen başlıca transistör yapıları aşağıda belirtilmiştir.

- Üst yüzey kontak / alt katman kapı (top contact /bottom gate) (TC/BG)
- Alt katman kontak / alt katman kapı (bottom contact / bottom gate) (BC/BG)
- Alt katman kontak / üst yüzey kapı (bottom contact / top gate) (BC/TG)
- d) Üst yüzey kontak / üst yüzey kapı (top contact / top gate) (TC/TG)

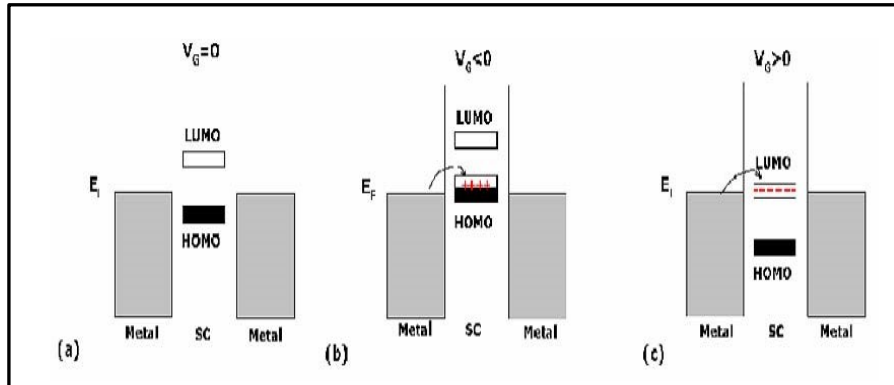
Bu tasarımlarında en çok tercih edilen yapı, Şekil 2.3'te gösterilen alt tabanı kapı (gate) elektrotu üst kısmı kaynak-savak elektrotları olarak tasarlanan yapıdır. Bunun sebebi; ince film transistörlerden örnek alınarak yüksek kalitede bir yalıtkan tabaka oluşturulması ve alt kısımda bulunan kapı (gate) yalıtkan maddesi sayesinde oluşturulan elektrik alanıyla kontrol edilmesidir [50].

Diğer bir tasarım, üst kısım kapı (gate) elektrot alt kısım savak ve kaynak elektrotuna sahip OFET yapılarının en önemli avantajı, organik yarı iletken maddenin esnek substrat (substrate) yüzeyinde oluşturulması ve bu sayede uygun kullanım alanına rahatça uyum sağlamasıdır [51]. Organik alan etkili transistörlerde kullanılan elektrotlar, fotolitografi (photolithography), özel gölgelendirmeli maskeleme yöntemi (shadowmask evaporation), çeşitli formlardaki baskılama (printing) yöntemleri kullanılarak oluşturulur. Transistörlerde kanal boyu (L), top kontak (üst yüzey kontak) yapılarında özel gölgelendirmeli maskeleme (shadow mask evaporation) yöntemi kullanılarak onlu mikrometre (μm) katlarında yapılar tasarlanabilir. Alt katman kontak (bottom contact) yapılarında ise kanal boyu daha küçük bir değer olarak fotolitografi veya baskılama yöntemi ile elde edilir. Kullanılan farklı transistör yapıları, enjekte edilen elektrotların pozisyonu ile bu elektrotlarla ilişkili olan kapı (gate) elektrotunun konumundan dolayı oluşmaktadır. Alt katman kontak / alt katman gate yapısında yükler, yarı iletken/yalıtkan ara yüzeyinde direk olarak birikerek kanal oluşumu sağlanır. Fakat diğer geometri yapılarında ((TC/BG) ve (BC/TG)) ise iletken kanal yarı iletken tabaka tarafından ayrılır. Böylece yükler ilk olarak iletken kanala erişmeden önce birkaç nanometrelik yarı iletken kalınlığını geçmek zorundadır. Transistör yapıları arasındaki diğer bir farklılık ise, farklı morfolojilere sahip yüzeylerdeki yalıtkan/yarı iletken ve elektrot/yarı iletken ara yüzeylerinden meydana gelen tuzak düzeylerinin miktarlarıdır [51].

2.2. Alan Etkili Transistörlerin Çalışma Prensibi

Genel olarak organik alan etkili transistörlerin karakterizasyon işlemlerinde, kaynak (source) elektrotu topraklanarak kapı (gate) ve savak (drain) elektrotlarına voltaj uygulanır. Kapı elektrotuna uygulanan voltaj ile kaynaktan savaka doğru akan akım kontrol edilir. Kapı elektrotuna hiçbir voltaj uygulanmadığı zaman, kaynaktan savak elektrotuna çok az bir akım akmaktadır. Bu akıma sızıntı akımı (leakage current) denir. Bu akımın değeri savak voltajının (V_d) kanal direncine (R_s) oranı olarak tespit edilir [51]. Eğer, kapı (gate) elektrotuna hiçbir voltaj değeri uygulanmadığı zaman ($V_g=0$), yapı içerisindeki organik yarı iletken katmanında

hiçbir katkılandırma olayı görünmeyecek yani yapıda hiçbir yük taşıyıcısı oluşamayacaktır (Şekil 2.4.a).



Şekil 2.4: OFET'ler İçin Enerji Düzeyi Diyagramı.

Kapı (gate) elektrotuna negatif voltaj değeri uygulandığı zaman ($V_g < 0$), organik yarı iletken/yalıtkan yüzeyinde pozitif yükler indüklenmektedir (p-tipi iletken kanal oluşumu) (Şekil.2.4.b). Eğer, kaynak-savak elektrotlarının fermi seviyesi organik yarı iletken malzemenin HOMO seviyesi ile uyumlu ise, kaynak ve savak arasında, uygulanan voltaj sayesinde pozitif yüklerden bir iletken kanal oluşumu sağlanır.

Kapı (gate) elektrotuna pozitif voltaj değeri uygulandığı zaman ($V_g > 0$), organik yarı iletken/yalıtkan yüzeyinde negatif yükler indüklenmektedir (n-tipi iletken kanal oluşumu) (Şekil 2.4.c). Eğer kaynak-savak elektrotlarının fermi seviyesi organik yarı iletken malzemenin LUMO seviyesi ile uyumlu ise, kaynak ve savak arasında, uygulanan voltaj sayesinde negatif yüklerden bir iletken kanal oluşur. Organik yarı iletken malzemeler bu davranış özelliklerinden dolayı pozitif ya da negatif yük taşıyıcıları p-tipi ya da n-tipi yarı iletken olarak sınıflandırılır. Bazı organik yarı iletken malzemeler hem elektron hem de boşluk taşıma özelliğine sahip olabilirler. Bu tip malzemelerden oluşturulan transistörler ambipolar transistör olarak adlandırılır.

2.2.1. Alan Etkili Transistörün Performans Karakteristikleri

Organik alan etkili transistörlerde performans karakteristikleri birçok parametre yardımı ile tanımlanabilir. Bu parametreler:

- Alan etkili mobilite değeri
- Alt eşik değeri eğrisi
- Açma kapama oranı
- Geçiş iletkenlik değeri

Transistörden elde edilen bu parametreler yardımıyla tasarlanan transistörün performans ve karakteristikleri belirlenerek elde edilen transistör hakkında fikir sahibi olunmaktadır.

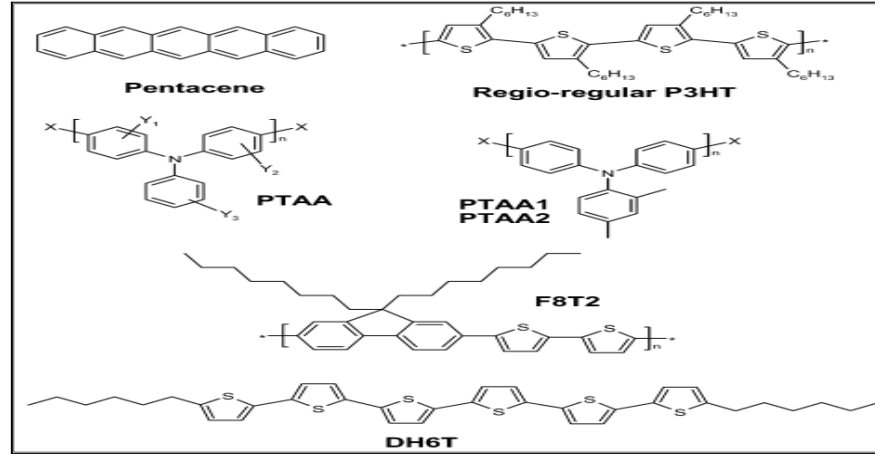
2.2.2. Yüksek Performanslı OFET'ler İçin Temel Parametreler

Organik bir transistörün kalitesini belirleyen temel kriterler arasında yük taşıyıcılarının mobilitelerini, aygıtın kararlılığını, çalışma voltajını, on-off durumları için akım şiddetindeki oranı ve düşük maliyetli üretimi saymak mümkündür. Yeni moleküllerin, alternatif transistör yapılarının üzerine sıkı araştırmalar devam ederken p-türü yarı iletkenler pentasen ve rubren sağladıkları üstünlüklerle öne çıkıyor ve bu nedenle çok çalışılan yüksek performanslı yarı iletkenlerin başında geliyorlar. Bu yarı iletkenlerle yapılan OFET'lerde ideallikten uzaklaştıran etkilerin çoğunun ara yüzlerin özelliklerinden kaynaklandığı düşünüldüğünden bu etkileri tam olarak anlamak için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Şu anda en iyi performanslı organik transistör özelliğine Rubren tek kristalli örnekleri sahip. Tek kristalleri kullanmanın, aygıt karakteristiklerinde kusurların ve safsızlıkların etkisini araştırmada avantajlar vardır. İnce filmlerde ise morfolojik ve elektrik özellikler alt tabanın karakteristiklerinden etkilendiklerinden bu tür analizler yarar göstermez. Tek kristalli FET'ler organik yarıiletkenin yüzeyindeki yük taşınmasını daha iyi anlamak ve mobilitenin üst sınırını belirleyebilmek için kullanılırlar. Farklı çalışmalarda benzer rubren kristalleri için elde edilen I-V özellikleri ve Hall akımı, organik yarı iletkenlerde düşük yoğunluklu saçılma merkezleri olan ve kusur ve safsızlıklardan ileri gelen elektronik tuzak yoğunlukları olan organik bir yarı iletkende bandımsı taşınma gözlenmiştir. Hall etkisinin ölçülmesi, yerelleşmeyen durumlar için taşıma hareketi ile yerelleşmiş durumlar arasında termal oluşan sıçramayı ayırt etmeyi sağlar. Yüksek performanslı OFET'ler için mobiliteye bir alt sınır koymak gerekirse

bunu $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak alabiliriz. Bu sınırı sağlayabilen şu anda birkaç organik malzeme var. Yüksek performanslı OFET’ler için dikkat edilmesi gereken önemli konulardan biri elbette ki yarıiletken ve dielektrik arasındaki arayüzdür çünkü iletken kanal burada oluşmaktadır. Kontak direnci ise yükler bu noktalardan enjekte edildiği için ayrıca önemlidir.

2.2.3. OFET’ lerde Kullanılan Yarı İletken Malzemeler

Organik yarı iletken malzemeler ya p -tipi ya da n- tipi taşıyıcı özelliği gösterir. P- tipi yarı iletken yapılarında çoğunlukla taşıyıcılar boşluklar, n-tipi taşıyıcılarda ise elektronlardır. Transistörler bu sebeple p- tipi veya n-tipi olarak adlandırılır. N –tipi malzemeler yüksek elektron ilgileri p-tipi malzemeler düşük iyonlaşma potansiyel değeri olarak tanımlanır. Daha çok günümüzde p-tipi üzerine araştırmalar yapılmaktadır bunun sebebi p-tipi yarı iletken malzemelerin havaya karşı daha kararlı n-tipine göre daha yüksek mobilite değerine sahip olmalarıdır. N- tipi organik yarı iletkenler yapılarında bulunan anyonlar ve karbanyonlar nedeniyle havaya karşı hassastır [52]. Şekil 2.5 ‘de organik alan etkili transistörlerde kullanılan bazı organik yarı iletken malzemelerin yapıları gösterilmektedir [53].



Şekil 2.5: Bazı Organik Yarı iletkenlerin Kimyasal Yapıları.

2.2.4. OFET’lerde Kullanılan Yalıtkan Malzemeler

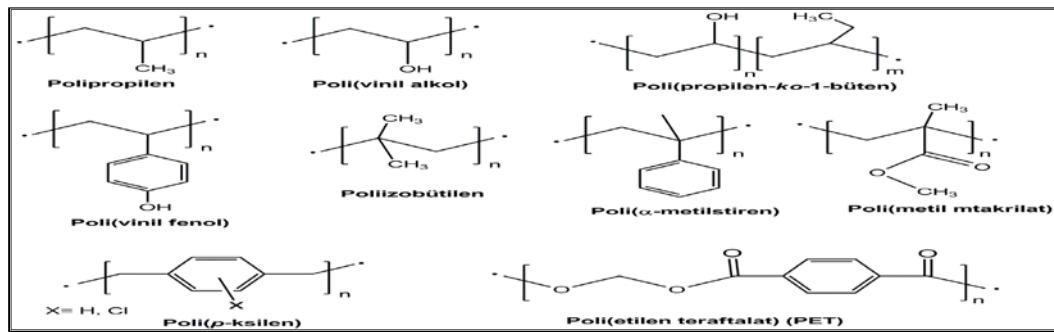
OFET’in yapısındaki “gate” dielektrik tabakası iyi işlenebilirliğe yeniden üretilebilirliğe, bozulmaya karşı kararlı, düşük yük tuzaklarına, küçük sızıntı akımına

ve yüksek bozulma voltajına sahip olmalıdır. Transistörlerde yalıtkan tabaka olarak poli(metilmetakrilat) (PMMA) veya benzeri yalıtkanlar kullanılmaktadır. PMMA ince filmlerde gate malzeme olarak kullanılmaktadır. Gate malzeme olarak SiO₂ den daha iyi elektriksel özellik gösterdiği bilinmektedir ve ayrıca daha yüksek alan etkili mobiliteye ulaşmıştır [54].

OFET’lerde polimerik dielektrik kapının iyi elektriksel özellik gösteren ince film oluşturabilmesi kritik rol oynamaktadır [55]. OFET dizaynı sırasında yalnızca organik yarı iletken malzeme seçimi etkili olmayıp, uygun kapı yalıtkan malzeme seçimi de transistörün performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir [56]. Transistör parametreleri, voltaj değeri, eşik değeri, mobilité transistörde kullanılan yalıtkan maddenin kimyasal yapısına ve dielektrik özelliğine bağlıdır [57]. OFET’lerde kullanılan yalıtkan malzemeler Şekil 2.6’da verilmiştir [58].

OFET’lerde yalıtkan polimerik malzemelerde istenen özellikler:

- Organik yalıtkan özelliği gösteriyor ise uygun kimyasal çözücülerde iyi çözülebilmeli
- Cam ve plastik yüzeylerde düzgün bir film yapısı oluşturmalı,
- Yüksek sıcaklıklarda termal kararlılık sağlamalı,
- İstenmeyen tuzak etkisinden dolayı minimum safsızlık içermeli,
- Yüksek dielektrik katsayısına sahip olmalı (bu konu hala tartışma konusudur),



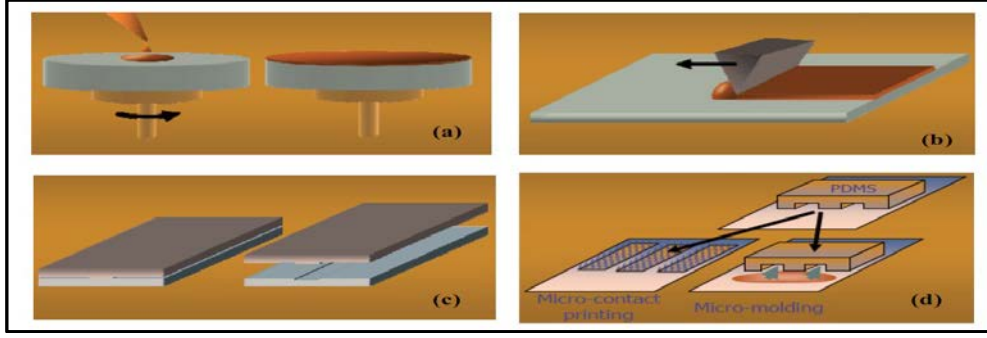
Şekil 2.6: Organik Alan Etkili Transistörler de Kullanılan Yalıtkan Polimerler.

Alan etkili mobilité değeri değerlerinin organik yarı iletken yapılarındaki farklı polimerik yalıtkan etkisi üzerindeki ilk detaylı çalışma Peng ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Peng ve arkadaşları tarafından yapılan çeşitli yalıtkanlar; poli (vinil alkol) (PVA), poli (vinil klorür) (PVC), siyanaetilpulluan (CYEPL) PMMA kullanılarak tasarlanan transistör çalışmalarında yalıtkanın ϵ değeri ile alan etkili

mobilité değeri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir [59]. 2002 yılında Klauk ve arkadaşları PVP tabanlı yalıtkanın detaylı olarak araştırmışlardır ve çapraz bağ işleminin PVP polimer maddesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çapraz bağ yapılan PVP yalıtkan yüzeyinin daha kaliteli bir film oluşturduğu ve çok daha iyi bir yalıtkan özelliği gösterdiğini görülmüştür [61]. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda Veres ve arkadaşları yapı içerisinde taşıyıcı yüklerin oluşumunda sadece kaplanan organik yarı iletken malzemenin morfolojisinin etkili olmadığı, yalıtkan ve yarı iletken malzemeler arasındaki uyumun önemli bir rol oynadığını tespit etmiştir [58]. Chua ve arkadaşları benzosiklobüten (benzocyclobutene, BCB) gibi hidroksil grubu içermeyen yalıtkan malzemeleri n-kanallı konjuge polimer yapılı alan etkili transistör yapılarında kullanmışlardır [60]. Birçok polimerik yarı iletken malzemenin karakteristik özelliği, delik tuzaklama özelliğinin aksine güçlü elektron tuzaklama (p-tipi özellik göstermesi) yeteneğine sahip olmasıdır (uygun düşük iş fonksiyonlu elektrotlarla). Yapılan çalışmalarda n-tipi organik malzemelerde kullanılan hidroksil fonksiyon gruplarından dolayı yarı iletken/yalıtkan ara yüzeyinde elektron tuzakları bulunması nedeniyle bu tip yapılarda silanol grup yapısındaki SiO₂ yalıtkan film yapı formları kullanılmaktadır [61]. Elde edilen bu teori tam olarak doğru değildir, çünkü PVA gibi hidroksil fonksiyonel grubu içeren yalıtkan malzemelerde elektron transportuna imkân tanımaktadır [62]. Bulunan bu sonuç vasıtasıyla, organik yalıtkan ve organik yarı iletken ara yüzeyler arasındaki çalışmalarla ambipolar teriminin gelişmesine büyük ölçüde katkı sağlamıştır.

2.3. OFET’lerde Kullanılan Üretim Teknikleri

OFET’lerde kullanılan organik malzemelerde ve üretim teknikleri teknolojilerinde büyük ilerleme sağlanmıştır. Rubren tek kristal yapısı ve pentasen çok kristal yapılı ince film için yüksek mobilité değerleri saptanmıştır. Genel olarak kullanılan teknikler (fotolitografi, buharlaştırma), maliyetlerinin çokluğu ve cihaz kullanımlarının zorluklarından dolayı halen geliştirilmektedir. Bu tekniklere alternatif üretim teknikleri olarak, düşük maliyete sahip döndürerek kaplama (spin coating) ve baskılama (printing) tekniği ortaya çıkmıştır (Şekil 2.7). Kullanılan bu teknikler, OFET teknolojisinin gelişimini ilerleterek organik optik teknolojisinde ve elektronik devre mimarisinde umut verici gelişmeler doğurmuştur [63].



Şekil 2.7: OFET Üretim Teknikleri: a) Döndürerek Kaplama, b) Neşterle Yayma c) Isısal Tabakalama, d) Mikro Baskılama.

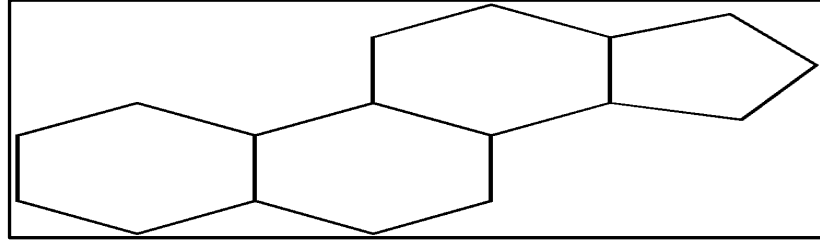
2.4. STEROİDLER

2.4.1. Steroidlerin Yapısı ve Özellikleri

Steroid, birbiriyle kaynaşmış dört halkadan oluşmuş karbon iskeletli bir lipittir. Steroidler asetil KoA biosentez yolundan oluşurlar. Farklı steroidler bu halkalara bağlı olan fonksiyonel gruplar bakımından birbirlerinden ayrılırlar. Bitkiler, hayvanlar ve mantarlarda yüzlerce çeşit steroid tanımlanmıştır. Steroidlerin canlılarda genel olarak en önemli işlevi hormon olarakdır. Steroid hormonlar, steroid hormon reseptör proteinlere bağlanarak fizyolojik etkilerini gösterirler. Bu reseptörlere bağlanınca gen transkripsiyonu ve hücre fonksiyonunda değişimlere neden olurlar. İnsan fizyolojisi ve tıpta en önemli steroidler kolesterol, steroid hormonlar, onların öncülleri ve onların metabolitleridir. Kandaki steroidler taşıyıcı proteinlere bağlıdır. Kolesterol önemli bir steroid alkolü olup hücre zarlarında yaygınca bulunur. Vücuttaki kolesterolün fazla miktarda bulunması ateroskleroz gibi hastalıklara ve diğer sorunlara yol açabilir. Çoğu diğer steroid kolesteroldan sentezlenir. Ayrıca çeşitli hormonlar, omurgalı hayvanlarda bulunan cinsiyet hormonları da dâhil olmak üzere, kolesterolden üretilir [64].

Yaygın bazı sterol grupları aşağıda listelenmiştir:

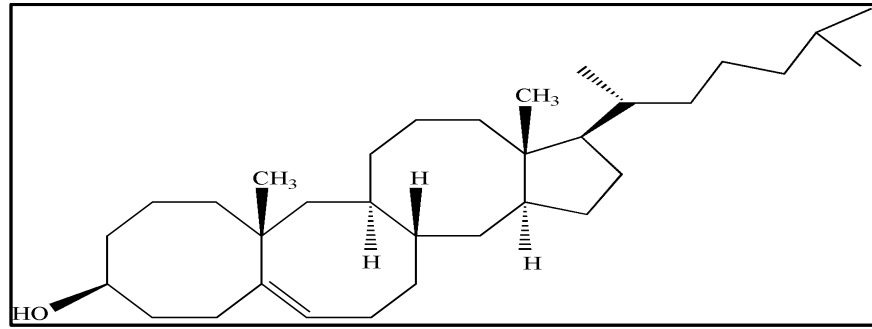
- Anabolik steroidler, androjen reseptörleri ile etkileşip kas ve kemik sentezini artıran bir steroid sınıfıdır. Doğal ve suni steroidler vardır. Sporcular tarafından performans artırmak için kullanılan "steroidler" bunlardır.
- Kortikosteroidler grubuna glukokortikoidler ve mineralokortikoidler dâhildir
- Glukokortikoidler metabolizma ve bağışıklık sisteminin çeşitli yönlerini düzenlerler. Astım ve artrit gibi yangınsal durumların tedavisi için sıkça kullanılırlar.
- Mineralokortikoidler kan hacmini düzenlemeye ve böbreklerden elektrolit kontrole yararlar.
- Cinsiyet steroidleri, cinsiyet farklılıklarını ve üremeye destek sağlayan cinsiyet hormonlarının bir alt grubudur. Aralarında androjenler, östrojenler ve progestajenler bulunur. Fitosteroller bitkilerde bulunan steroidlerdir.



Şekil 2.8: Steroidlerin Ana İskelet Yapısı Olan Steran Halkası.

2.4.2. Kolesterol

Kolesterol, hayvanların vücut dokularındaki hücre zarlarında bulunan ve kan plazmasında taşınan bir sterol yani bir steroid ve alkol birleşimidir. Daha düşük miktarlarda bitkilerde de bulunur. İlk defa 1754'te safra taşlarında kolesterol bulunduğu için bu maddenin ismi Yunanca *chole-* (safra) ve *steros* (katı) sözcükleri ile kimyadaki *-ol* ekinden türetilmiştir. Kolesterolün yapısı polar bir baş grubu (3. karbondaki $-OH$ grubu) ve nonpolar hidrokarbon gövde (steran halkası ve 17. karbondaki hidrokarbon yan zincir) içerir. 5. ve 6. karbonlar arasında çift bağ, 17. karbonunda ise 8 karbonlu bir yan zincir bulunur. 10. ve 13. karbonlarında metil grupları bulunur.



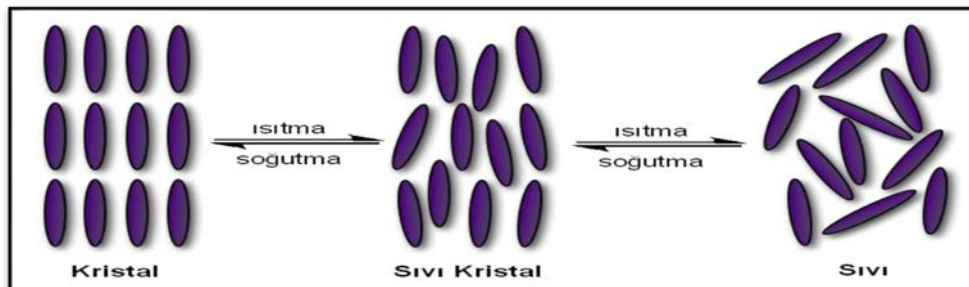
Şekil 2.9: Kolesterolün Yapısı.

Kolesterol diğer steroidler göre polimer ve sentez uygulamalarında daha geniş bir çalışma alanı bulmuştur bunun sebebi; steroidlerin öncü maddesi olması ucuz ve kolay elde edilebilir olmasıdır. Ayrıca kolesterolün sıvı kristal özelliği, kiralitesi, biyoyumluluğu, amfifilitesi sebebiyle birçok uygulama alanı bulmuştur [65]. Kolesterolün hücre membranların akışını ve geçirgenliğini kontrol edebilme yeteneğine sahip olması nedeniyle ökaryot hücre membranları için en önemli sterollerden biridir [66]. Kolesterolün bu özelliği steroid halka sisteminin

rijitliğinden dolayıdır ve biyolojik sistemlerde molekülün kendi kendine toplanmasında (self-association) önemli bir rol oynar. Polimerlerde kolesterol içeriği çok düşük olsa da “self-association” için çok güçlü bir eğilim görülür [67]. Kolesterol amfifilik özelliği sayesinde fosfolipid molekülleriyle aynı oryantasyona sahip olabilir ve membran içine penantre olabilir [68]. Bu sebeple kolesterol uçlu oligomer/polimerler, ilaç salınım sistemleri ve doku mühendisliği alanlarında kullanılmaktadır [65].

2.4.3. Sıvı Kristaller

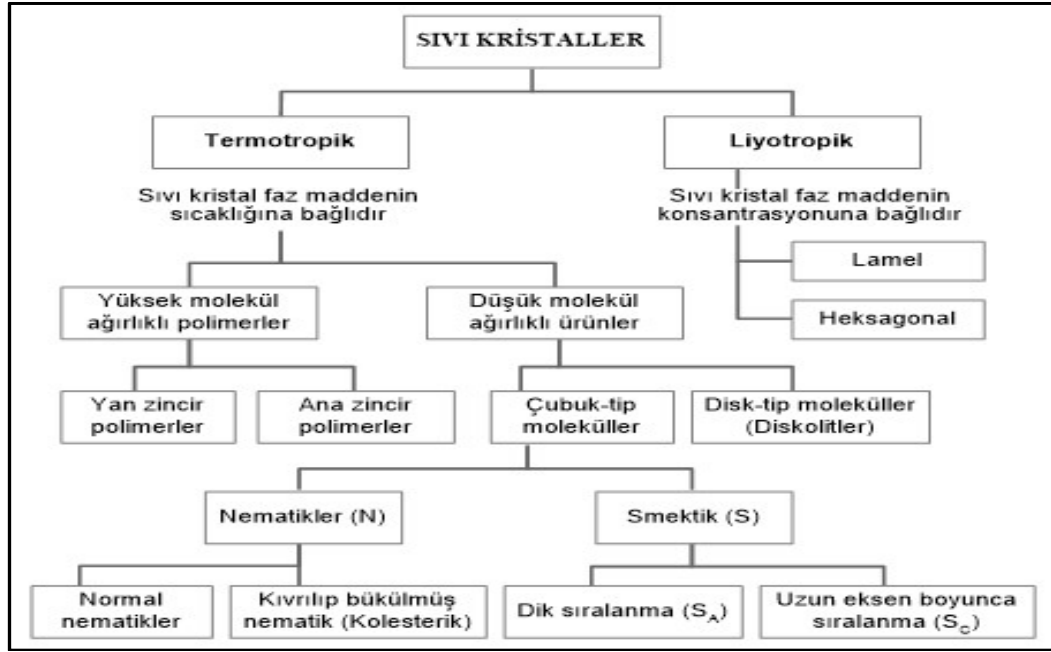
Sıvı kristaller, sıvıların ve katı kristallerin özellikleri arasında özelliklere sahip olan kimyasal maddelerdir. Kristal halde, konum ve yönelimsel olarak uzun mesafeli düzenleme varken, sıvı halde uzun mesafeli düzenden söz edilemez. Sıvı kristal durumun ayırt edici özelliği, doğrultu olarak adlandırılan ortak bir eksen boyunca moleküllerin yönlenme eğilimidir. Bu yapıya sahip olmayan sıvı faz içerisindeki moleküller için bu durum tam tersidir. Katı halde moleküller fazlaca düzenlidir ve az hareket özgürlüğüne sahiptirler. Sıvı kristal halin karakteristik eğilimsel düzeni klasik katı ve sıvı fazlar arasında bulunmaktadır ve bu sıvı kristal hal ile beraber kullanılan mezojenik teriminin kaynağıdır. Sıvı kristaller ilk olarak 1888 yılında Avusturya’lı botanikçi F. Reinitzer tarafından, bitkilerde ve hayvanlarda doğal olarak oluşan kolestorelün bir türevi olan kolesterol benzoat olarak sentezlenmiştir. Bu bileşiğin iki farklı erime noktasına sahip olduğunu gözlemlenmiştir [69], [66], [70]. Şekil 2.10’da katı, sıvı kristal ve sıvı moleküllerinin düzenlenmelerini gösteren bir model verilmiştir.



Şekil 2.10: Katı Sıvı Kristal ve Sıvı Moleküllerin Düzeni.

2.4.4. Sıvı Kristaller Türleri

Sıvı kristaller ilk olarak Friedel (1922) tarafından sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma yönteminde, sıvı kristal maddenin polarize mikroskop altında sergiledikleri desenler temel alınmıştır [71]. Sıvı kristaller termotropik ve liyotropik olmak üzere iki ana sınıfa ayrılırlar. Termo tropikte fazlar arası geçiş sıcaklığa liyotropik de çözücünün konsantrasyonuna bağlıdır. Şekil 2.11.'de sıvı kristallerin sınıflandırma şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Sıvı Kristallerin Sınıflandırma Şeması.

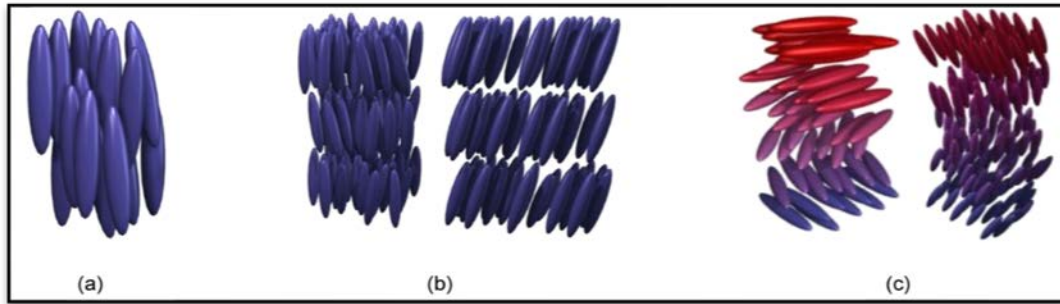
2.4.5. Termotropik Sıvı Kristaller

Katı fazdan sıvı faza geçiş, sıcaklığın sebebiyle oluşuyorsa sıvı kristal davranış ‘termotropik’ olarak adlandırılır. İzotropik sıvıların berraklaşma noktasının altına soğutulmayla ya da katı kristallerin erime noktasının üstünde ısıtılmasıyla termotropik sıvı kristaller elde edilir. Termotropik sıvı kristaller termal olarak kararlı olmalarına göre iki gruba ayrılırlar. Sadece izotropik sıvının soğutulması ile oluşan termodinamik olarak kararsız mezofazlara ‘monotropik faz’ hem katı kristalin sıcaklığının artması ile, hem de izotropik sıvının sıcaklığının düşmesi ile oluşan

termodinamik olarak kararlı mezofazlara ise ‘enansiyotropik faz’ adı verilmektedir. Molekül geometrilerine göre termotropik sıvı kristaller, üç gruba ayrılır;

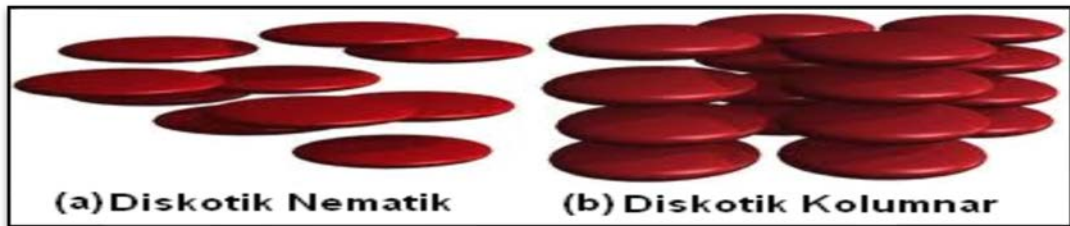
- Kalamitik (çubuksu) sıvı kristaller
- Diskotik (disk benzeri) sıvı kristaller
- Kiral sıvı kristaller

Kalamitik sıvı kristaller sıvı kristal mezofazları üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar nematik, smektik ve kolesterik (kiral nematik) fazlardır. Şekil 2.12 de bu fazlar gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Kalamitik Sıvı Kristaller Fazların Şematik Gösterimi. a) Nematik
b) Smektik c) Kolesterik sıvı kristal faz

Diskotik sıvı kristallerin bilinen iki temel tipi; nematik ve kolumnar fazlardır. Şekil 2.13 ‘de gösterilmiştir.

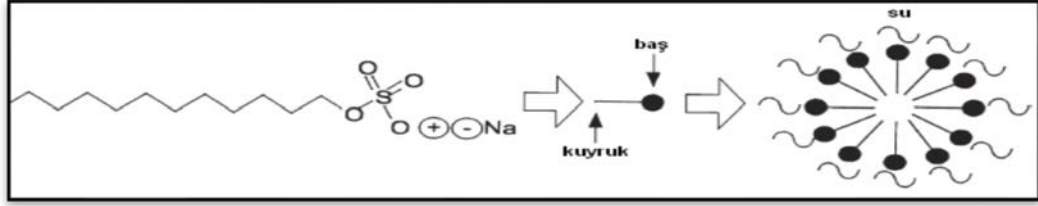


Şekil 2.13. Diskotik Sıvı Kristal Fazların Şematik Gösterimi. a) Diskotik Nematik b) Diskotik Kolumnar Sıvı Kristal Faz

2.4.6. Liyotropik Sıvı Kristaller

Liyotropik sıvı kristaller amfifilik bir bileşiğin bir çözücü içerisinde çözündüğü iki bileşenli sistemlerdir. Liyotropik sıvı kristallerin kararlılığı sıcaklığa ve

konsantrasyona bağlıdır. Amfifilik bileşikler hidrofilik polar bir baş kısım ve hidrofobik bir kuyruk kısmı içerir. Bu tür yapılara örnek olarak, sabunlar ve hücre membranlarında bulunan çeşitli fosfolipitler verilebilir. Bu yapının en bilinen örneği sabunun suda gibi polar çözücünde çözünmesidir burada hidrofob kuyruk bir araya toplanır ve hidrofil kısmı çözücüye sunar ortaya çıkan yapı sabun için “misel”, fosfolipitler için “visel” olarak adlandırılır. Şekil 2.14 buna örnek verilmiştir [72].



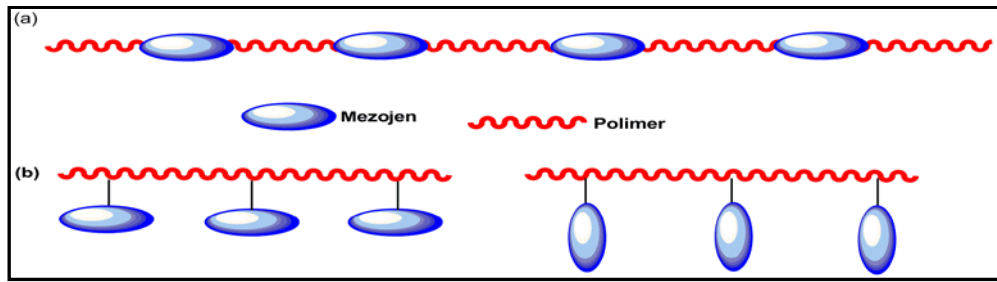
Şekil 2.14: Liyotropik Bir Sıvı Kristal Olan Sodyum Dodesil Sülfatın Şekli.

2.4.7. Sıvı Kristal Polimerler

Sıvı kristal plimer, uygun sıcaklık, basınç ve konsantrasyonda sıvı kristal mezofaz olarak bulunabilen (çözelti içindeyken kristal halde dizilebilen), veya ergimiş halde kristal düzende sıralanabilen makromoleküllerdir. Bu tür sıvılar anizotropik davranış gösterirler; bunlardaki düzenli bölgelere ‘mezofazlar’ denir. Diğer bir tanımlama ile de mezogen birimler içeren, dolayısıyla sıvı kristal özellikler gösteren polimerdir. Sıvı kristal polimerler, düşük molekül ağırlıklı mezojenler ile aynı sıvı kristal fazları gösterir. Bununla beraber, polimerlerin gösterdiği sıvı kristal fazların tanımlanması genelde düşük molekül ağırlıklı maddelere kıyasla çok daha zordur. Düşük molekül ağırlıklı bileşiklerde sıvı kristal özelliğin gözlenmesinden sorumlu olan mezojenik gruplar polimer ana zincirinde ve yan zincirinde olmak üzere iki şekilde bulunabilir Şekil 2.15.de gösterilmiştir. Moleküler sertlik (veya esnemezlik) sıvı kristal davranışın başlıca nedenidir. Bir molekülün sıvı kristal özellik gösterebilmesi için moleküler anizotropiye sahip olması gerekir. Bazı biyolojik polimerler sert heliks konformasyonları nedeniyle sıvı kristal özelliktedirler. Sentetik polimerlerden de sert çubuk şeklinde olanlar sıvı kristal davranışları gösterir; teorik çalışmalara göre, bu tip sentetik polimerlerde moleküler uzunluğun moleküler çapa oranının altıdan büyük olması gerekir. Diğer bazı

anizotropik moleküler şekiller de (disk gibi) sıvı kristal özellik gösterebilirler, ancak bunlar sayıca çok azdır.

Moleküllerin sert çubuklar şeklinde olabilmesi polimerlerin kimyasal yapısına bağlıdır. Polimerin iskeleti sert, yani esnek olmayan bir yapıdaysa, ‘ana zinciri sıvı kristaller’ meydana gelir (mezogenik birimler polimerin sadece ana zincirlerinde bulunur). Polimerin yan zincirleri sertse, ‘yan zincir sıvı kristaller’ oluşur (mezogenik birimler sadece yan zincirlerde bulunur). Pratikte, her iki durum da polimerin önemli özelliklerini oluşturur. Sıvı kristal polimerlerin çoğu, metallerin, seramiklerin yerini almış olan yüksek performanslı fiberlerdir.



Şekil 2.15: Sıvı Kristal polimerler a) Ana Zincir b) Yan Zincir.

2.4.7.1. Sıvı Kristal Polimer Türleri

Sıvı kristal polimerler iki grupta toplanabilir; termotropik ve liyotropik kristal polimerler. Termotropik sıvı kristal polimerler, çeşitli sıvı kristal fazların bazı sıcaklık aralıklarında oluştuğu polimerlerdir; polimer camsı geçiş noktasının (veya ergime noktasının) üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Örneğin, aromatik bir kopoliesterler olan poli (p-hidroksibenzoik asit etilen tereftalat), bir termotropik sıvı kristal polimerdir. Liyotropik sıvı kristal polimerler solventlerle temas ettirildiklerinde sıvı kristal faz meydana getirirler.

2.4.7.2. Ana Zincir Sıvı Kristal Polimer

Mezogenik birimlerin sadece ana zincirlerinde bulunduğu polimerdir. Ana zincir sıvı kristal polimerler bir kondenzasyon sisteminde, mezogenik kısımların tek başına birleşmesi ya da esnek ve mezogenik birimlerin ardışık olarak birleşmesi ile elde edilebilir Şekil 2.15.a. [73]. Ana zincir sıvı kristal polimerler kendi aralarında

sert ve yarı-esnek olarak ikiye ayrılır. Mezojenik grupların birbirine uzun ve esnek bağlarla bağlandığı durumda yarı-esnek polimerler, mezojenik birimlerin doğrudan birbirine bağlandığı durumda ise sert polimerler elde edilir.

2.4.7.3. Yan Grup Sıvı Kristal Polimer

Mezojenik birimlerin sadece yan zincirlerinde bulunduğu polimerdir. Bu grupta mezojenik birimler polimer zincirine metilen ($-\text{CH}_2-$), ester ($-\text{CO}_2-$), siloksan ($-\text{SiO}-$) ya da eter ($-\text{O}-$) gruplarından oluşan uzun ve esnek ayırıcı (spacer) gruplar vasıtasıyla bağlanır. Bu sayede esnek polimer zincirinin gelişi güzel hareketini sağlayarak ve mezojenik grupların uzun erişimli düzenlenmelerine imkân sağlayarak sıvı kristal faz oluştururlar Şekil 2.15.b. Mezojenik grubun polimer zincirine doğrudan bağlanmasıyla bu grupların düzenli bir şekilde bir araya gelme hareketini sınırlandırmaktadır ve genellikle bu durumda faz oluşumu engeller. Bu sebeple son yıllarda yapılan çalışmalar mezojenik grupların polimer zincirine esnek ayırıcı gruplarla bağlı olduğu yan zincir sıvı kristal polimerlerin sentezi üzerine yoğunlaşmıştır [74].

2.4.7.4. Steroid İçeren Sıvı Kristal Polimer

Steroidlerin steran halkasına sahip olmaları nedeniyle rijit bir yapıya sahiptirler doğal bir ürün olması ve ilk bulunan sıvı kristalin kolesterol türevi olan kolesterol benzoat olması nedeniyle özellikle yan zincir sıvı kristal polimer sentezinde çok kullanılan bir malzeme olmuştur. Fakat her steroid türevi rijit yapısından dolayı polimerlerde mezofaz özellik göstermemektedir. Zhang ve arkadaşları steroid türevleri olan kolesterol, dihidrokolesterol ve kolik asit ile lithokolik asitin metil ester gruplarını polimerizasyonu olacak metakrilat monomerine 10 karbon zincirli esnek gruplarla bağlayarak her birinin sıvı kristal özelliklere yan zincir yapının etkisini incelemiştir [75].

3.MALZEME ve METOD

3.1. Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Maddeler

Tablo 3:1: Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Kimyasal Maddeler.

Adı	Firma	Özelliği
3-Metiltiyenil Metakrilat	S. Aldrich	3-MTmonomeri ticari olarak bulunmamaktadır. Literatürde olduğu gibi 3-MTM monomeri ,3tiyofen metanol metakriloil klorür ile tepkimesinden elde edilmiştir [76]. Argon atmosferinde geçirilerek +4 °C’ de saklanmıştır.
Metakrioil Klorür	Fluka	Satın alındığı gibi kullanılmıştır.
Stiren	S. Aldrich	Satın alındığı gibi kullanılmıştır.
Kolesterol Metil Metakrilat (CholMMA)	S. Aldrich	Ticari olarak bulunmamaktadır. Daha önce sentezlenmiştir ve olduğu gibikullanılmıştır.
Azobisisobütironitril (AIBN)	Aldrich	Satın alındığı gibi kullanılmıştır.
Metanol	Alfa Aesar	Satın alındığı gibi kullanılmıştır.
Anisole	Merck	Satın alındığı gibi kullanılmıştır.
Dietileter	Fluka	Satın alındığı gibi kullanılmıştır.
Diklorometan (CH ₂ Cl ₂)		Metilen Klorit, 3-MTM monomerin sentezinde kullanıldı. İlk olarak konsantre H ₂ SO ₄ ile asidik tabaka renksizleşinceye kadar yıkandı. Sonra sırasıyla su, %5 NaOH sulu çözeltisi ve tekrar su ile yıkandı. CaCl ₂ ile kurutulup, CaH ₂ üzerinden destile edildikten sonra, aktif moleküler (tip 4 A ⁰) elekte muhafaza edilmiştir.

3.2. Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Cihazlar

Tablo 3:2: Yapı Aydınlatma Çalışmalarında Kullanılan Cihazlar.

Adı	Modeli	Bulunduğu Yer
NMR	Varian 500 MHz	GTÜ
FT-IR	Bio-Rad FTS 175C	GTÜ
DSC	Mettler Toledo DSC822 ^e	GTÜ
TGA	Mettler Toledo TGA851	GTÜ
Manyetik Karıştırıcı ve Mantolu Isıtıcı	Mettler Toledo	GTÜ
Kütle Spektrometresi	Bruker	GTÜ
GPC	Bruker Smart Apex II Quazar	GTÜ
Keithley 2112B	SMU	Düzce Üniversitesi

4.DENEYSEL KISIM

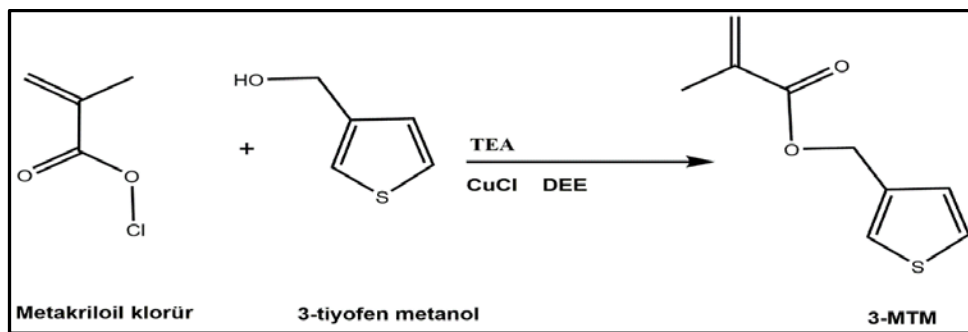
Bu tez çalışmamda öncelikle Poli (CholMMA-ko-3-MTM) ve Poli (CholMMA-ko-PS) polimerlerin farklı oranlardaki bileşimleri sentezlendi ve karakterize edildi. Sıvı kristal özelliği gösteren kolesterol içeren polimerlerin OFET’lerde yalıtkan malzeme olarak kullanılabilirliği araştırıldı.

4.1. Yalıtkan Kopolimerin Sentezi

Bu bölümde daha önce literatürde OFET’de kullanılmayan iki farklı kopolimer sentezlendi.

4.1.1. 3-Metiltiyenil Metakrilat(3-MTM) Monomerinin Sentezi

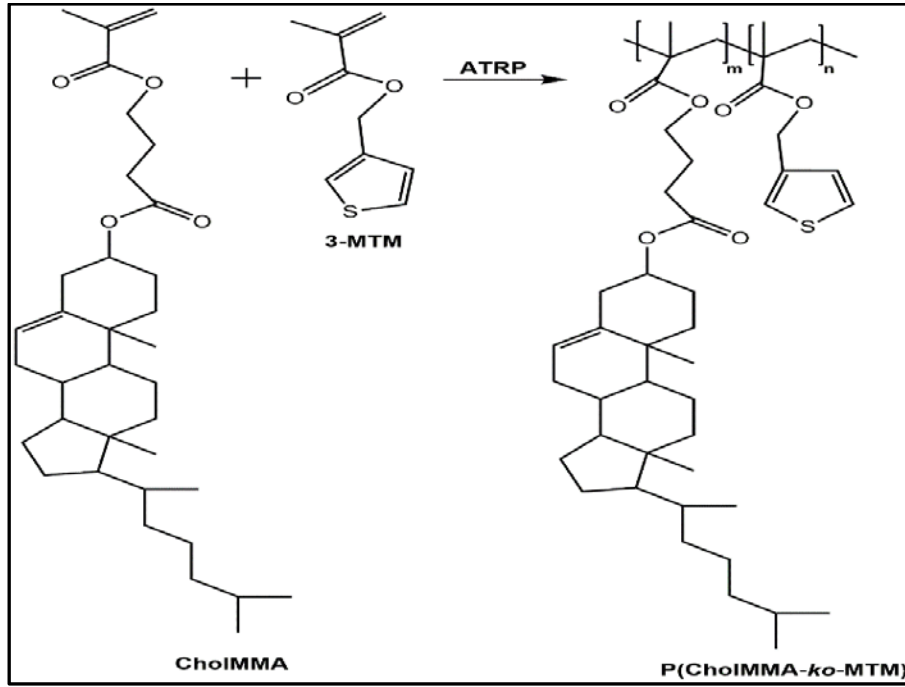
3-Tiyofen metanol (5.7 g, 50 mmol), 7.3 g kuru trietilamin ve az miktarda CuCl ve 35 ml kuru dietileter’de çözüldü. Karışıma 35 mL kuru dietileter’de çözülmüş distile metakriloil klorür (5.35 g,51 mmol) damlatma hunisi ile 0 °C de yavaşça ilave edildi. Karşım 2 saat boyunca karıştırıldı. Trietilamonyum klorür silika jel kolonda filtre edildi. Çözücü buharlaştırıldıktan sonra karışım diklorometan ve 2 M NaOH’ nin 1:1 karışımında gece boyunca karıştırıldı. Organik tabaka damıtma hunisinde ayrıldı, suyla iki kez yıkandı ve CaCl₂ ‘de kurutuldu. Çözücü buharlaştırıldıktan sonra renksiz sıvı şeklindeki ürün vakum distilasyonu ile elde edildi (Şekil 4.1.) [76]. Elde edilen monomerlerin ¹H-NMR analizi yapıldı.



Şekil 4.1: 3-Metiltiyenil Metakrilatın (3-MTM) Sentez Reaksiyonu.

4.1.2. [P(CholMMA-ko-MTM)] Yalıtkan Kopolimerin Sentezi

Kolesterol Metil Metakrilat (CholMMA) ve 3-Metiltiyenil Metakrilat (3-MTM) monomerlerinden (1:99), (3:97), (5:95), (10:90) mol oranında alındı ve kütlece %1 radikal başlatıcı olan AIBN ve her bir mol oranı için gerekli miktarda anisol ilave edilip 60 °C de 24 saat boyunca karıştırılarak radikal polarizasyonuna göre reaksiyon gerçekleştirildi. (Şekil 4.2.). Soğuk metanolde çöktürülen beyaz renkteki polimer bir gece boyunca vakumlu desikatörde bekletilerek kurutuldu. Elde edilen polimerin ¹H-NMR, GPC, DSC, FT-IR, TGA analizleri yapılmıştır. Ayrıca monomerlerin kompozisyon hesabı'da ¹H-NMR analizlerine göre yapılmıştır.

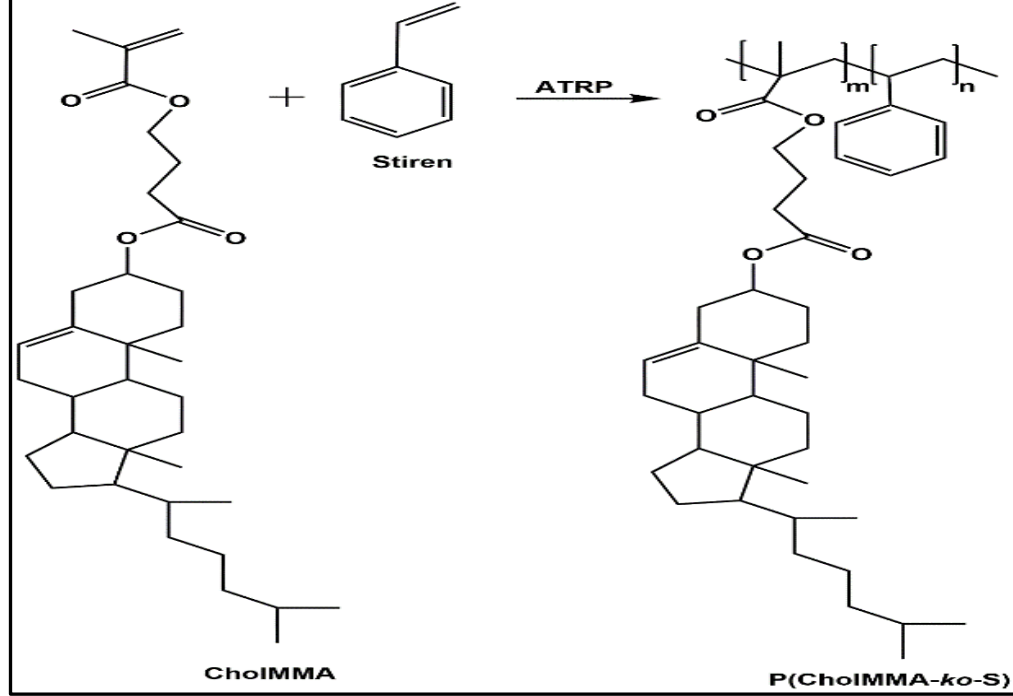


Şekil 4. 2: [P(CholMMA-ko-MTM)] Yalıtkan Kopolimerinin Sentezi.

4.1.3. [P(CholMMA-ko-S)] Yalıtkan Kopolimerin Sentezi

Kolesterol Metil Metakrilat (CholMMA) ve Stiren (S) monomerlerinden (1:99), (3:97), (5:95), (10:90) mol oranında alındı ve kütlece %1 radikal başlatıcı olan AIBN ve her bir mol oranı için gerekli miktarda anisol ilave edilip 60 °C de 24 saat boyunca karıştırılarak radikal polimerizasyonuna göre reaksiyon gerçekleştirildi. (Şekil 4.3.). Soğuk metanolde çöktürülen beyaz renkteki polimer bir gece boyunca

vakumlu desikatörde bekletilerek kurutuldu. Elde edilen polimerin ^1H -NMR, GPC DSC, FT-IR, TGA analizleri yapılmıştır. Ayrıca monomerlerin kompozisyon hesabı da ^1H -NMR analizlerine göre yapılmıştır.

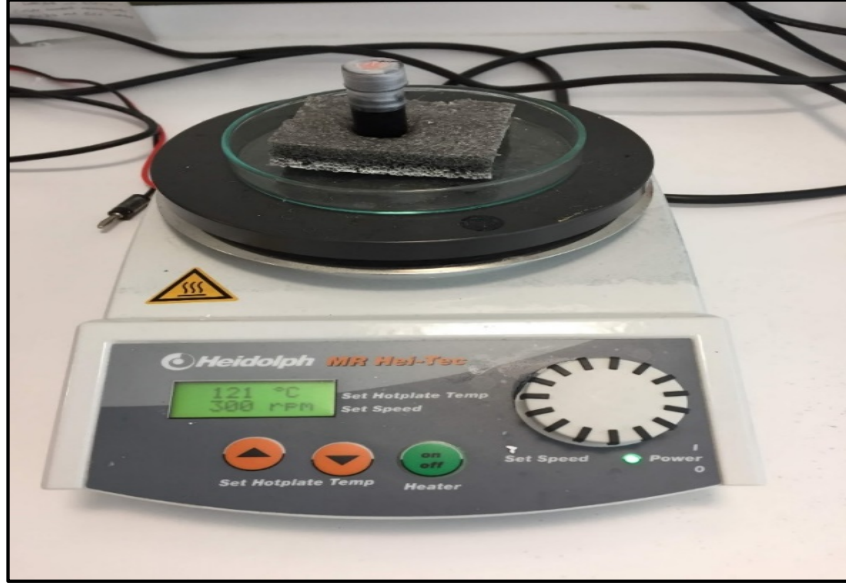


Şekil 4.3: [P(CholMMA-ko-S)] Yalıtkan Kopolimerin Sentezi.

4.2. Transistörün Hazırlanması

4.2.1. Kapı Elektrodunun Formülasyonu

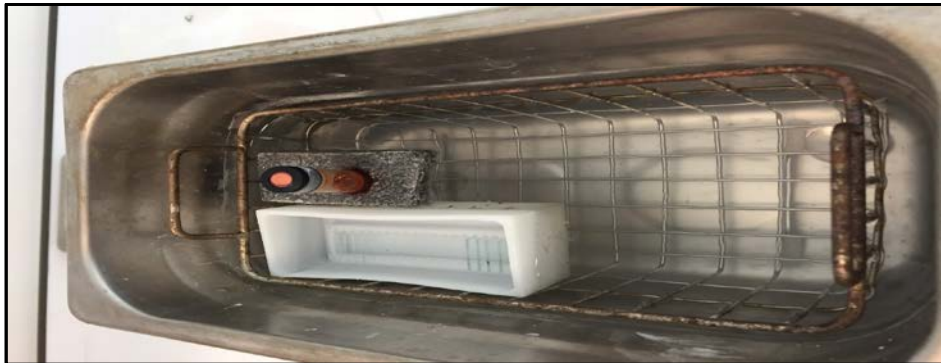
PEDOT: PSS PH 100 ve PEDOT: PSS CPP 105 iletken formülasyonu ticari olarak satın alındı. Dimetilsülfoksit (DMSO) iletken formülasyona hacimce 5:95 oranında eklendi ve bir gece 300 rpm oda sıcaklığında karışmaya bırakıldı yüksek oranda iletkenlik elde etmek için [77]. Daha sonra oluşan iletken formülasyon yüzeye tutanabilmesini sağlamak için CPP-PEDOT ile hacimce 1:1 oranında karıştırıldı. Sonuç olarak yüksek iletkenliğine sahip PEDOT: PSS kompozit formülasyonu elde edildi (Şekil 4.4).



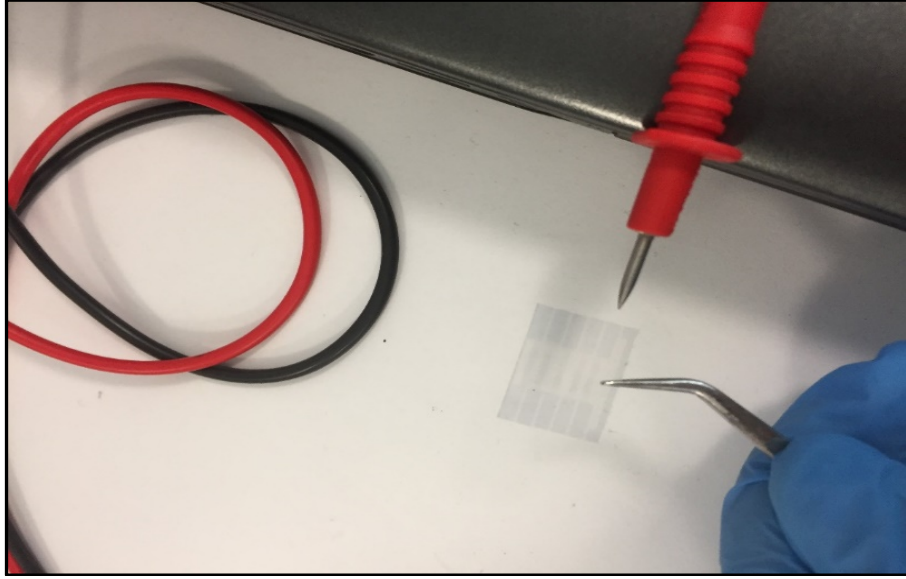
Şekil 4.4: Kapı Elektrotun Hazırlanması.

4.2.2. ITO Altaşlarının Temizlenmesi

OFET'ler için önceden desenlenmiş olan ITO altaşlar temizlik için altaş tutucuya yerleştirildi ve sırasıyla aseton, etanol, metanol, isopropil alkol ve saf su içerisinde 15'şer dakika boyunca ultrasonik banyoda titreştirildi (Şekil4.5). Her bir titreştirme sonrasında daha düzgün bir yüzey oluşturmak için altaşlar azot ortamında kurutuldu. Ultrasonik temizlikten geçen ITO altaşların multımetre yardımıyla iletken tarafları belirlendi (Şekil4.6). Son olarak bütün altaşlar yarıiletken filmin daha güzel film oluşturması amacıyla diklorobenzende döndürme kaplama sistemi yardımıyla yıkandı (Şekil 4.7).



Şekil 4.5: ITO Altaşlarının Temizlenmesi.



Şekil 4.6: İletken Yüzeyin Belirlenmesi.

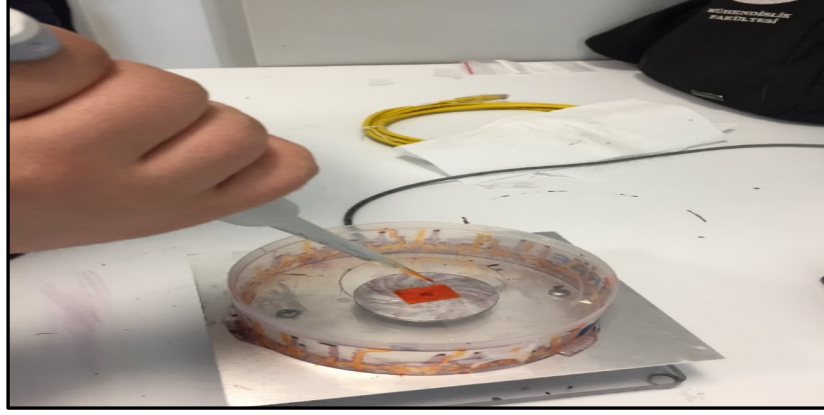


Şekil 4.7: ITO'nun Kaplanması.

4.2.3. Yarı İletkenin Katmanın Hazırlanması

Çalışmanın bu kısmında yarı iletken katman için ticari olarak satın alınan poli (3-hekzil tiyofen) P3HT yarıiletken malzemesi kullanıldı. Yarıiletken katmanı oluşturmak için P3HT polimeri 8mg/ml oranında diklorobenzende 1 saat süreyle çözdürüldü. Elde edilen solüsyon daha temiz bir hale gelmesi için 22 μ mlik şırınga filtreden geçirildi P3HT son hali, OFET'ler için önceden kaynak-savak elektrotları için desenlenmiş ITO alttaşlar üzerine serildi ve döndürmeli kaplama(spincoating) sistemi ile 60sn boyunca 3000rpm de yüzey kaplandı (Şekil 4.8) elde edilen P3HT

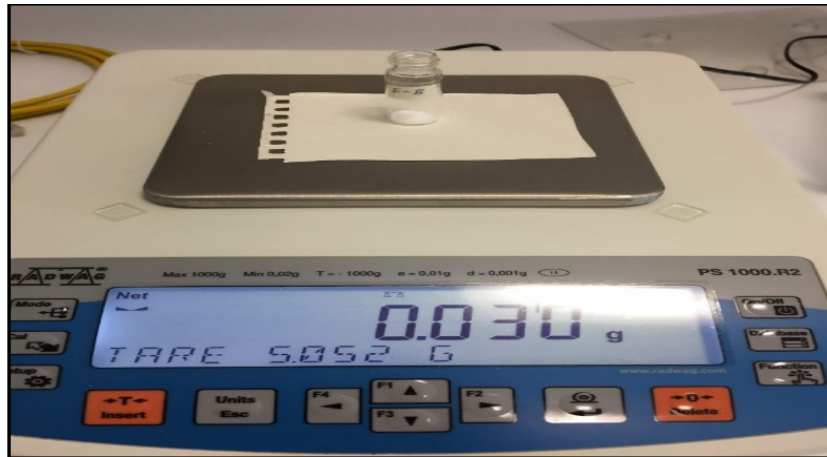
film 150 °C 60 sn süreyle tavlandı ve daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı.



Şekil 4.8: P3HT Katmanının Hazırlanması.

4.2.4. Yalıtkan Katmanının Hazırlanması

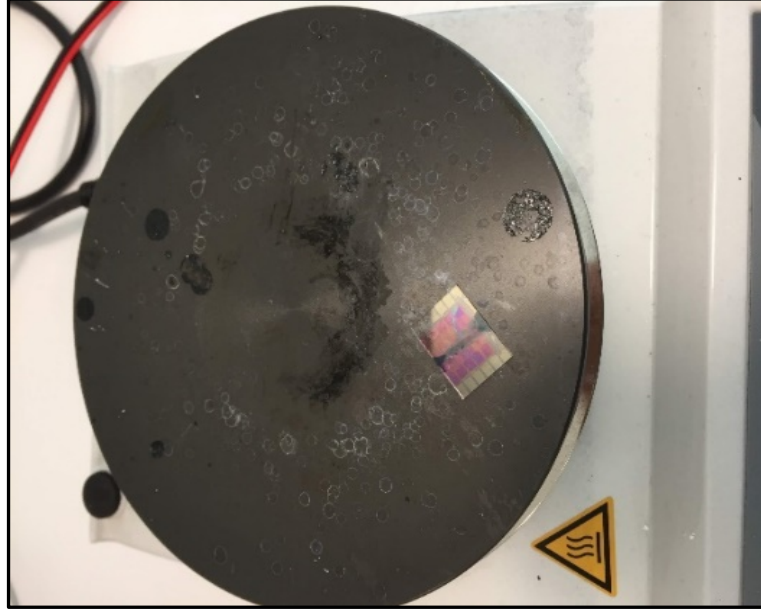
Sentezlenen her bir polimer 15mg/ml oranında diklorometan içerisinde 1saat boyunca oda sıcaklığında çözülmesi sağlandı (Şekil 4.9). Elde edilen çözeltiler OFET’lerde aktiv tabaka olarak kullanacağımız P3HT yarı iletken filmin üzerine 1500 rpm hızında ve 60sn süreyle döndürmeli kaplama yöntemi yardımıyla kaplandı. Böylece OFET’ler için yalıtkan katmanlar elde edilmiş oldu elde edilen yalıtkan katmanların yarı iletken katman ile istenmeyen ara yüzey durumlarını oluşturmaması ve içerisinde kalabilecek olan çok az miktardaki çözücülerini uzaklaştırmak için alttaşılar yeniden 150 °Cde 60 sn boyunca tavlandı [77].



Şekil 4.9: Yalıtkan Katmanının Hazırlanması.

4.2.5. Kapı Elektrotunun Hazırlanması ve OFET Üretiminin Tamamlanması

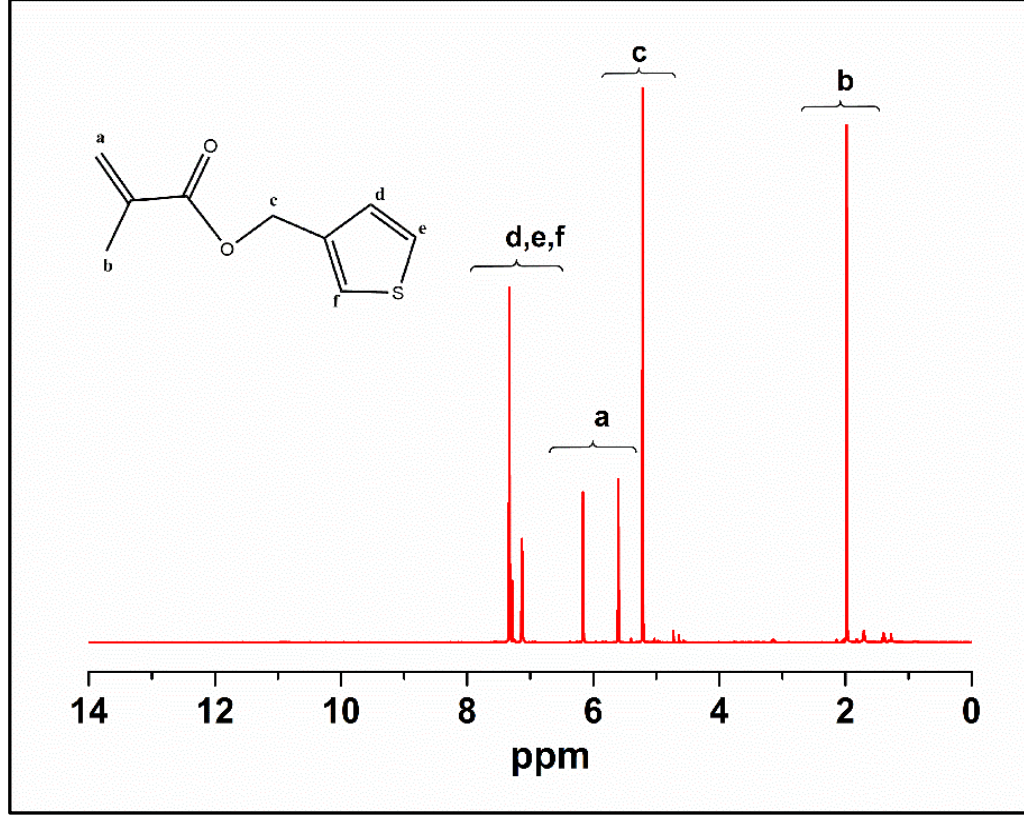
Yalıtkan tabakalar kaplandıktan sonra ITO alttaşların alt tarafındaki uzun kanal ve sağ-sol taraflardaki kaynak savak elektrotlarının bulunduğu bölgeler kontak alabilmek amacıyla diklorobenzene batırılmış temizleme çubuğu yardımıyla az bir miktar temizlendi. Daha sonra kapı elektrotu için hazırlanan PEDOT: PSS kompozit formülasyonu ITO alttaşın ortasına gelecek şekilde mikro pipet yardımıyla hafifçe damlatıp 30 sn boyunca 1000 rpm hızında döndürerek kaplama sistemi yardımıyla son katman olarak kaplandı ve vakum ortamında bir gün boyunca kurumaya bırakıldı. Kapı elektrotu kuruduktan sonra daha iyi iletkenlik elde edebilmek amacıyla ölçümlerden önce 15-20 dk süreyle 110 °C tavlandı (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Kapı Elektrotunun Kaplanması.

5. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

5.1. 3-Metiltiyenil Metakrilat(3-MTM) Karakterizasyonu



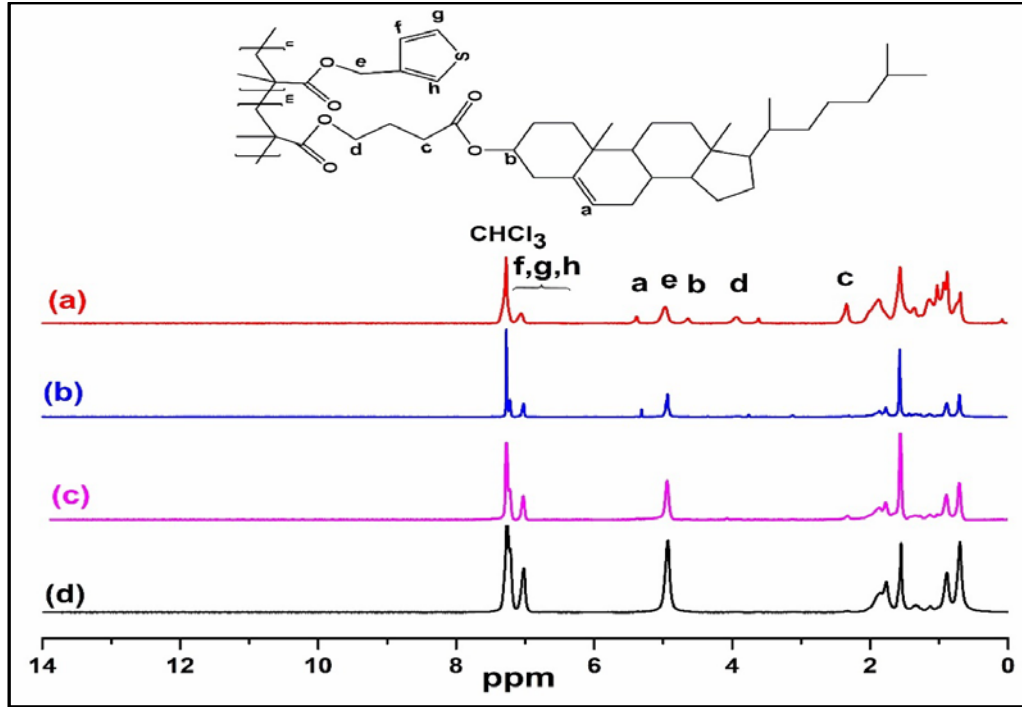
Şekil 5.1: 3-MTM ¹H-NMR Spektrumu.

MTM monomerine ait ¹H NMR spektrumu Şekil 5.1.de görülmektedir. Th aromatik halkasında bulunan metin (-CH-) protonları (**d, e, f**) 7.1-7.34 ppm arasında rezonans olmuştur. Th halkasına komşu metilen (Th-CH₂-) protonları (**c**) 5.2 ppm'de, vinil grubunda bulunan CH₂ (**a**) 5.6 ve 6.2 ppm'de, CH₃ protonları (**b**) 2.0 ppm'de rezonans olmuştur.

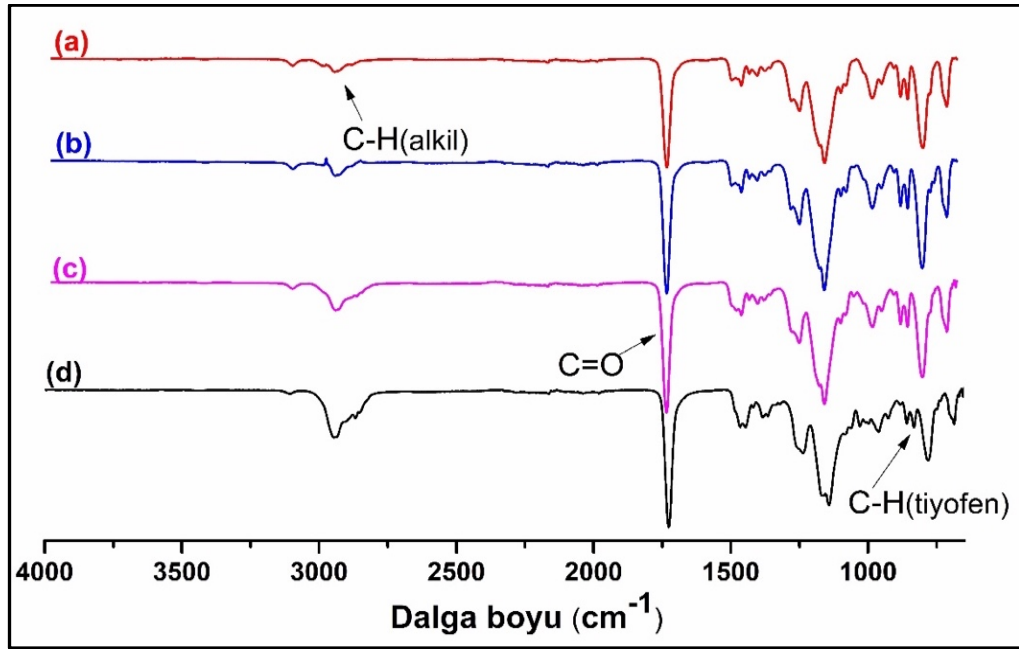
5.2. [P(CholMMA-ko-MTM)] Yalıtkan Kopolimerin Karakterizasyonu

Serbest radikalik polimerizasyonu yöntemiyle sentezlenen Poli (CholMMA-ko-3-MTM) kopolimeri¹H-NMR, DSC, TGA, FT-IR, GPC spektroskopisi ile karakterize edilmiştir. Şekil 5.2 a'da (%10 CholMMA %90 MTM), şekil 5.2.b'de (%5 CholMMA %95 MTM), şekil 5.2.c'de (%3 CholMMA %97 MTM) şekil 5.2.d'de

(%1 CholMMA %99 MTM) (Poli (CholMMA-ko-3-MTM) kopolimerin ^1H -NMR spektrumu görülmektedir. Tiyofen halkasına komşu metil protonları (Th-CH₂) (**e**) 4.93 ppm' de görülmektedir. 7.02-7.22 ppm arasında gözlenen pikler aromatik olan tiyofen halkasına ait protonlardır (**f, g, h**). Şekil 5.2 a'da 4.61 ppm (**b**) ve 5.29 ppm' de (**a**) 4.97 ppm'de (**e**), 3.95 ppm'de (**d**) ve 2.34 ppm'de (**c**) CholMMA ait piklerdir. Şekil 5.3'de tüm kombinasyonların FT-IR grafiği görülmektedir. 2900-3000 cm⁻¹ görülen pik tiyofen halkasına ait aromatik grupların(C-H) gerilmesi 1800 cm⁻¹ görülen pik tiyofendeki ve MMA ait (C=O) gerilmesidir. COO simetrik ve asimetrik gerilme frekansları için 1185 cm⁻¹ de bir pik gözlenmektedir. Kopolimerdeki tiyofen halkasının α - ve β - hidrojenlerinin karakteristik düzlem dışı eğilme frekansları sırasıyla 781 cm⁻¹ ve 858 cm⁻¹'de gözlenmektedir.



Şekil 5.2: a) %10, b) %5 ve c) %3, d) %1 Molce CholMMA içerikli P(CholMMA-ko-MTM) Kopolimerlerinin ^1H -NMR Spektrumları.



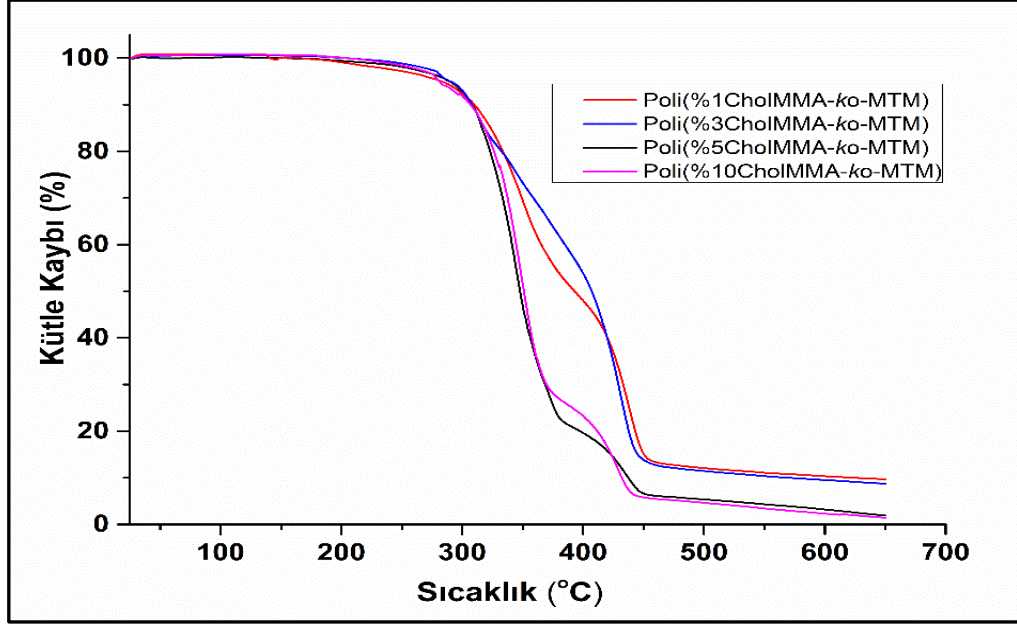
Şekil 5.3: a) %1, b) %3 ve c) %5, d) %10 molce CholMMA içerikli P(CholMMA-ko-MTM) kopolimerlerinin FT-IR spektrumu.

5.3. [P(CholMMA-ko-MTM)] Kopolimerinin Isısal Özelliklerinin İncelenmesi

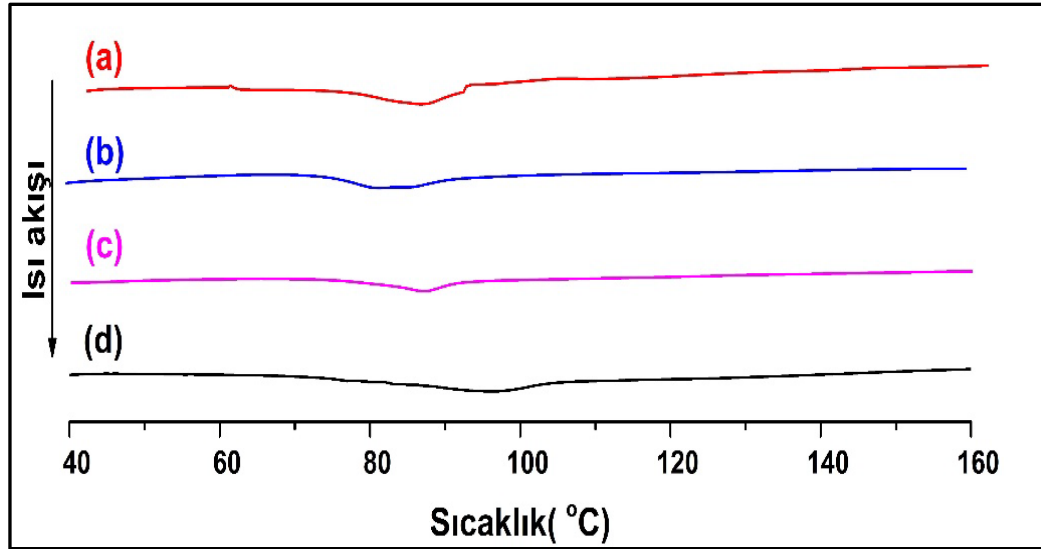
Şekil 5.4’de [P(CholMMA-ko-MTM)] tüm kombinasyonların TGA grafiği gösterilmiştir. Tablo 5.1’de TGA grafiğinde en düşük bozunma sıcaklığı 284,5 °C olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.5’de DSC grafiğinde camı geçiş sıcaklığının 80 °C ile 100 °C arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.1: [P(CholMMA-ko-MTM)] Kopolimerin Termal Özellikleri.

Polimer	T _{onset} (°C)	T _{max} (°C)	T _g (°C)	Kütle Kaybı (%) (650°C)
%1 CholMMA	289,7	345,9	88,7	90,35
%3 CholMMA	284,5	351,8	88,9	91,29
%5 CholMMA	289,8	354,9	90,2	98,12
%10 CholMMA	285,6	350,4	101,13	98,58



Şekil 5.4: Molce Farklı Oranda CholMMA İçeren P(CholMMA-ko-MTM) Kopolimerlerinin TGA Grafiği.



Şekil 5.5. a) %1, b) %3 ve c) %5, d) %10 Molce CholMMA İçerikli P(CholMMA-ko-MTM) Kopolimerlerinin DSC Spektrumu.

5.4. [P(CholMMA-ko-MTM)] Kopolimerin GPC ile İncelenmesi

Sentezlenen tüm moleküllerin ortalama molekül ağırlıkları jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) ile belirlendi.

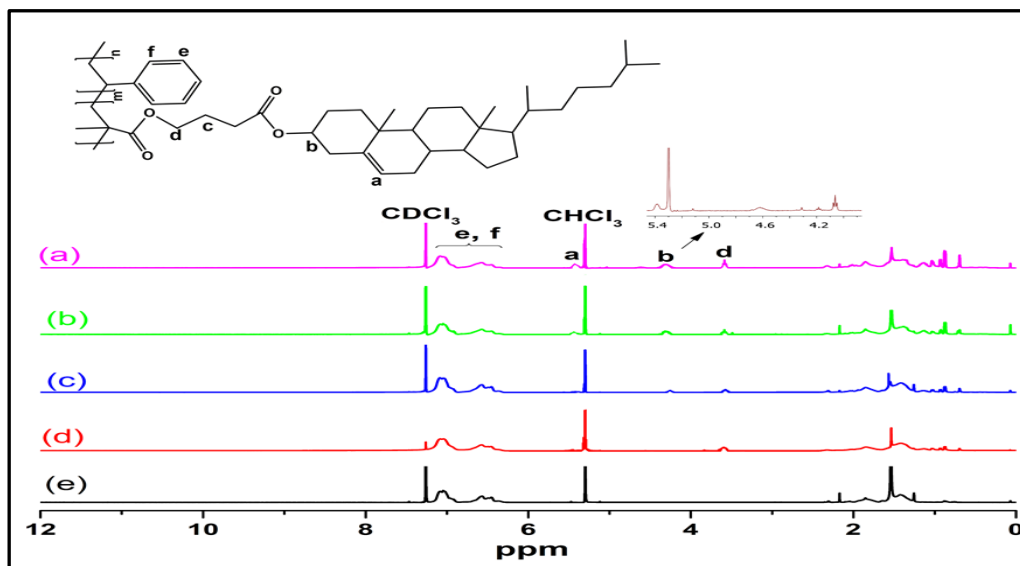
Tablo 5.2: Polimerle Ait Ortalama Mol Kütlesi ve Polidispersite.

Polimerler	Mw	Mn	Mw/Mn
%1CholMMA-ko-MTM	128200	100156	1.28
%3CholMMA-ko-MTM	36300	27089	1.34
%5CholMMA-ko-MTM	23200	14967	1.55
%10CholMMA-ko-MTM	13400	9241	1.45

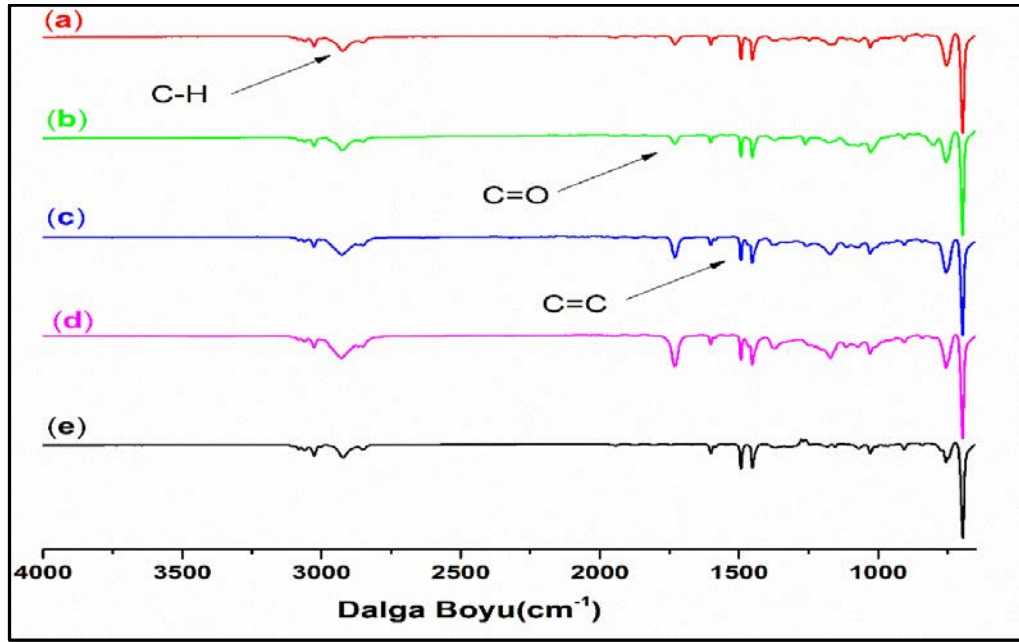
5.5. [P(CholMMA-ko-S)] Yalıtkan Kopolimerin Karakterizasyonu

Şekil 5.6'da a) %10, b) %5 ve c) %3, d) %1 ^1H -NMR spektrumu görülmektedir. 6.57-7.08 ppm arasındaki pikler (e, f) stiren halkasındaki protonlara aittir. 5.4 ppm 'de (a) 4.6 ppm'de (b) ve 4.3 ppm'de (d) CholMMA ait piklerdir.

2900-3000 cm^{-1} görülen pik MMA ait (C-H) gerilmesi 1800 cm^{-1} görülen pik MMA ait (C=O) gerilmesidir. COO simetrik ve asimetrik gerilme frekansları için 1185 cm^{-1} de bir pik gözlenmektedir.



Şekil 5.6: a) %10, b) %5 ve c) %3, d) %1, Molce CholMMA İçerikli P(CholMMA-ko-S) Kopolimerlerinin ve Molce %100 PS ^1H -NMR Spektrumları.



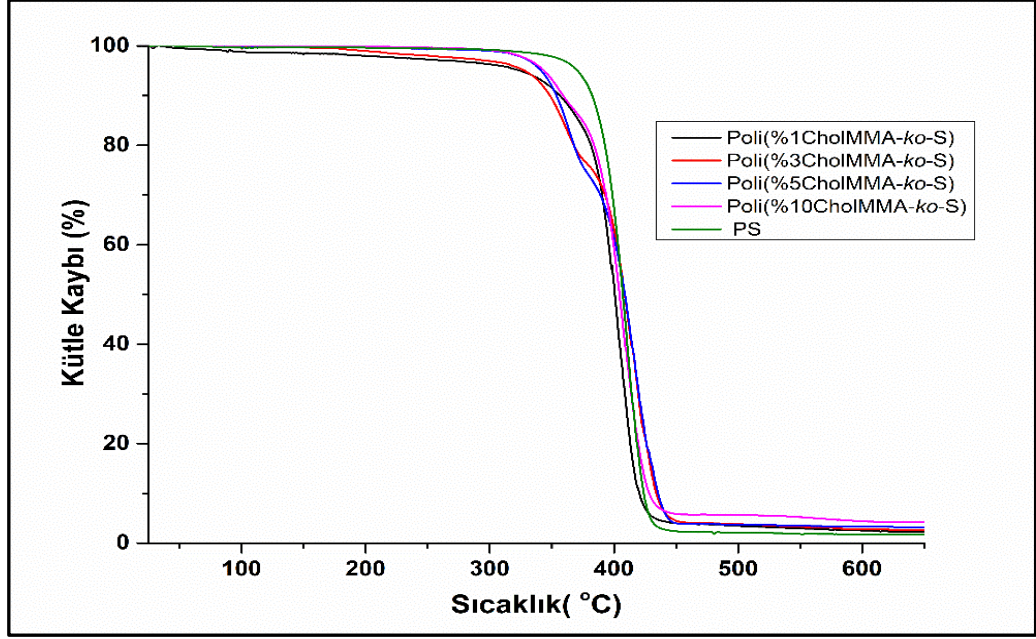
Şekil 5.7: a) %1, b) %3 ve c) %5, d) %10 Molce CholMMA İçerikli P(CholMMA-ko-S) Kopolimerlerinin FT-IR Spektrumu.

5.6. [P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin Isısal Özelliklerinin İncelenmesi

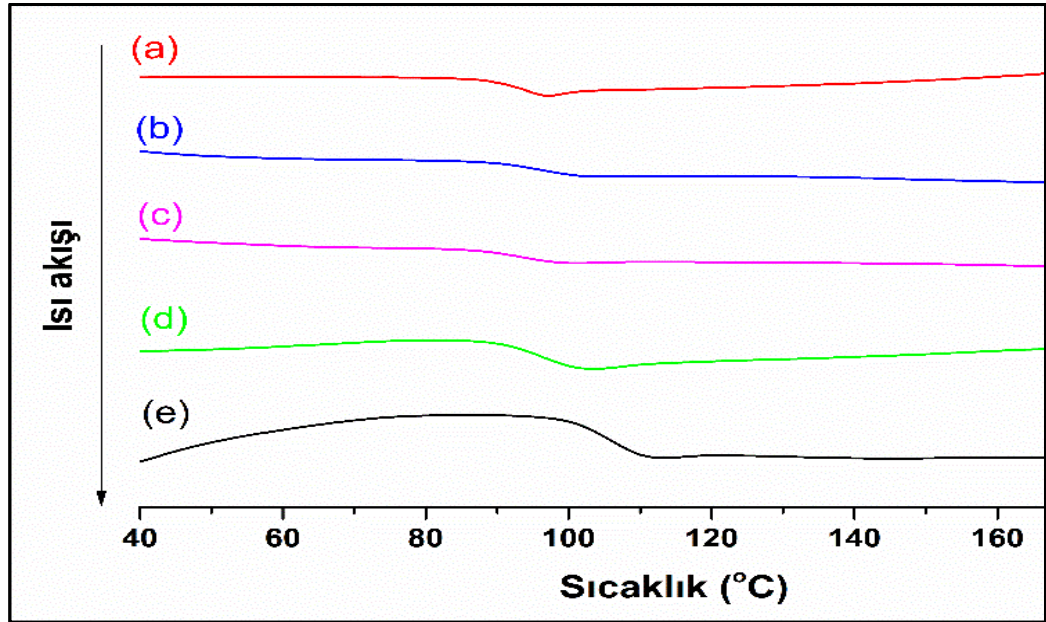
Tablo 5.3: P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin Termal Özellikleri.

Polimer	T _{onset} (°C)	T _{max} (°C)	T _g (°C)	Kütle Kaybı (%) (650 °C)
%1 CholMMA	324,1	402,76	102,25	97,8
%3 CholMMA	328,1	403,65	103,50	97,4
%5 CholMMA	341,0	401,6	104,48	96,8
%10 CholMMA	342	398,81	107,16	95,7
%100 PS	370,3	411	112,19	98,3

Şekil 5.8’de [P(CholMMA-ko-S)] tüm kombinasyonların TGA grafiği gösterilmiştir. Tablo 5.3’de TGA grafiğinde en düşük bozunma sıcaklığı 324,1 °C olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.9’de DSC grafiğinde camsı geçiş sıcaklığının 102 °C ile 112 °C arasında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8: Molce Farklı Oranda CholMMA İçeren P(CholMMA-ko-S) Kopolimerlerinin TGA Grafiği.



Şekil 5.9: a) %1, b) %3 ve c) %5, d) %10 e) %100 PS Molce CholMMA İçerikli P(CholMMA-ko-S) Kopolimerlerinin ve DSC Spektrumu.

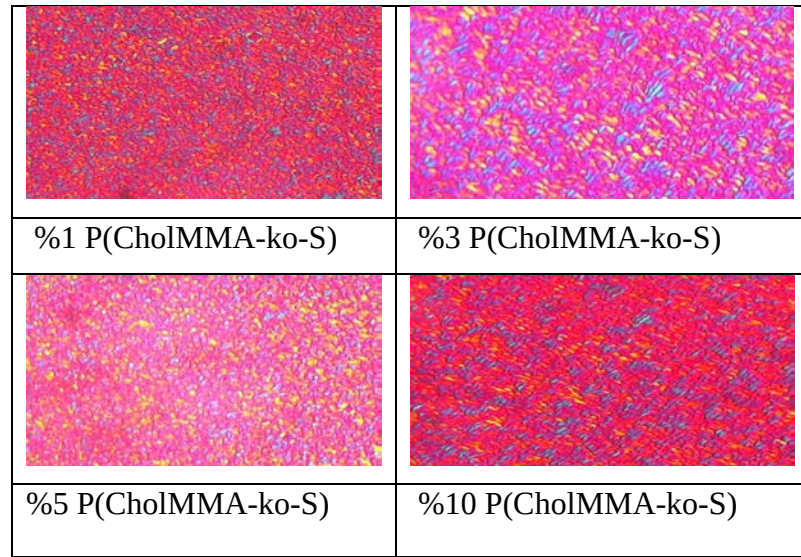
5.7. [P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin GPC ile İncelenmesi

Sentezlenen tüm moleküllerin ortalama molekül ağırlıkları jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) ile belirlendi.

Tablo 5.4: Sentezlenen Polimerlere Ait Ortalama Mol Kütlesi ve Poldispersite.

Polimerler	Mw	Mn	Mw/Mn
%1CholMMA %99 S	65100	51666	1.26
%3 CholMMA %97S	21500	16412	1.31
%5 CholMMA %95 S	12600	8513	1.48
%10 CholMMA %90 S	7390	5167	1.43

5.8. [P(CholMMA-ko-S)] Yalıtkan Kopolimerin POM ile İncelenmesi



Şekil 5.10: P(CholMMA-ko-S) Kopolimerinin POM Görüntüsü.

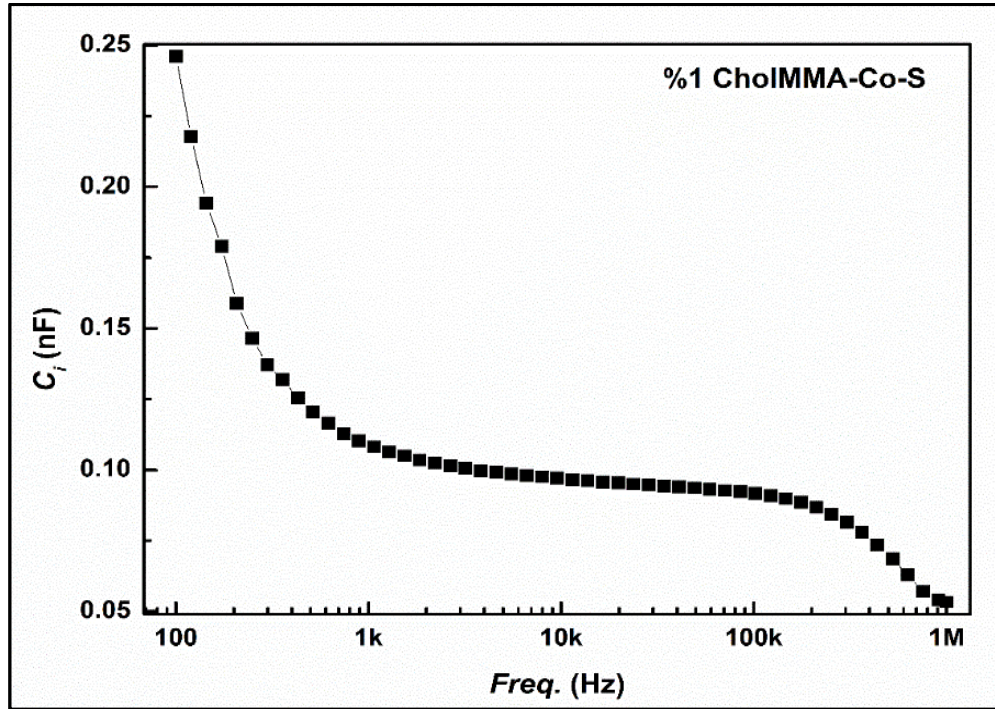
130 °C- 150 °C'de kristal izotropik geçiş görüntüsü elde edildi buda yapının sıvı kristal özellik gösterdiğini kanıtlamış oldu. POM analizine göre bu polimerlerin sıvı kristal yapılarının smektik sıvı kristal faza özgü olan kırık fokal konik tekstür görüntülerini verdiği görülmektedir.

5.9. [P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin ve PS Elektriksel Karakterizasyonu

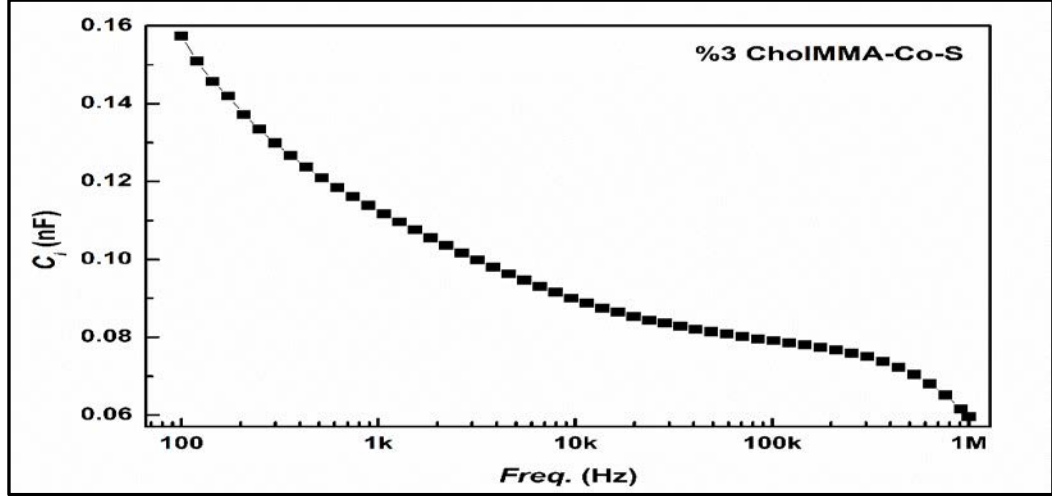
5.9.1. [P(CholMMA-ko-S)] Kopolimerin Kapasitans Özellikleri

Sentezlenen kopolimerlerle elde edilen OFET cihazlarının mobilitelerini belirleyebilmek amacıyla düzce üniversitesi bilimsel ve teknolojik araştırmalar

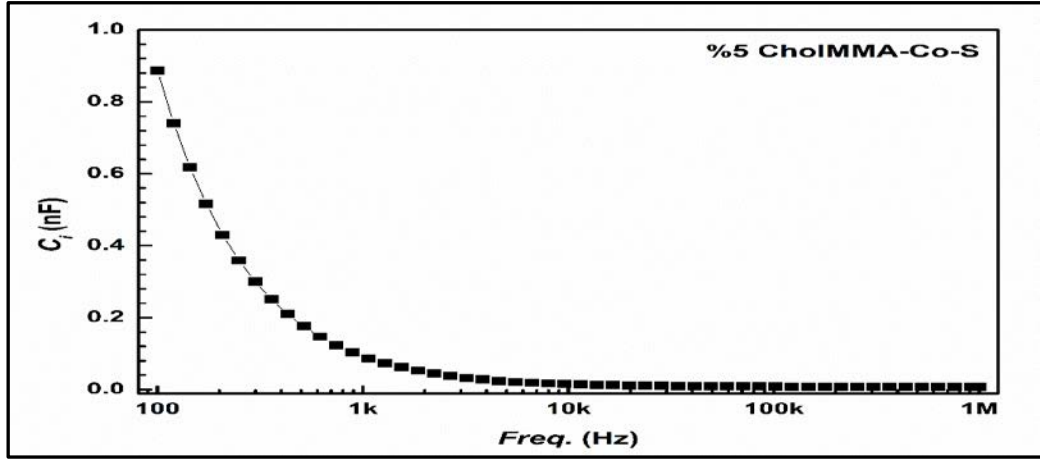
laboratuvarında (DÜBİT) bulunan Novocontrol Alpha A-Analyzer empadans analizörü kullanılarak kopolimerlerin ince filmlerinin kapasistans ölçümleri 100Hz-1MHz frekans aralığında ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere göre %1, %3, %5 P(CholMMAkoS) ve PS polimerlerinin kapasitans-frekans(C_i-f) karakterislikleri sırasıyla şekil 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 verilmiştir. Transistörlerin alan etkili mobiliteleri hesaplanırken kullanılacak olan kapasiteleri en kararlı oldukları veya durağan kapasistans diye nitelendirilen kapasistans değerleridir. Buna göre şekil5.11 incelendiğinde %1'lik polimerinin etkin kapasitansı 0.1 nF/cm², şekil 5.14 incelendiğinde %3'lik polimerinin etkin kapasitansı 0.08 nF/cm², şekil 5.17 incelendiğinde %5'lik polimerinin etkin kapasitansı 0.01 nF/cm² ve şekil 5.20 incelendiğinde PS' nin etkin kapasitansı 0.13 nF/cm² olarak bulunmuştur. Bu değerler dikkate alındığında kolesterol miktarı arttığında kapasite değerinin azaldığı gözükmemektedir. Kapasistansın bu şekilde azalması kolesterol miktarının artması ile birlikte mobilitenin artması anlamına gelmektedir.



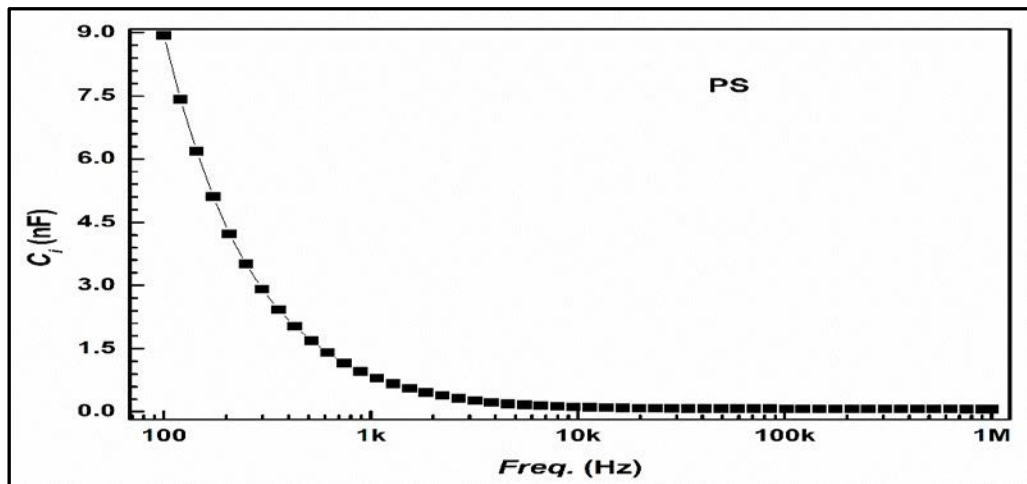
Şekil 5.11: %1[P(CholMMA-ko-S)] Polimerinin Kapasite Grafiği.



Şekil 5.12: %3 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerinin Kapasite Grafiği.



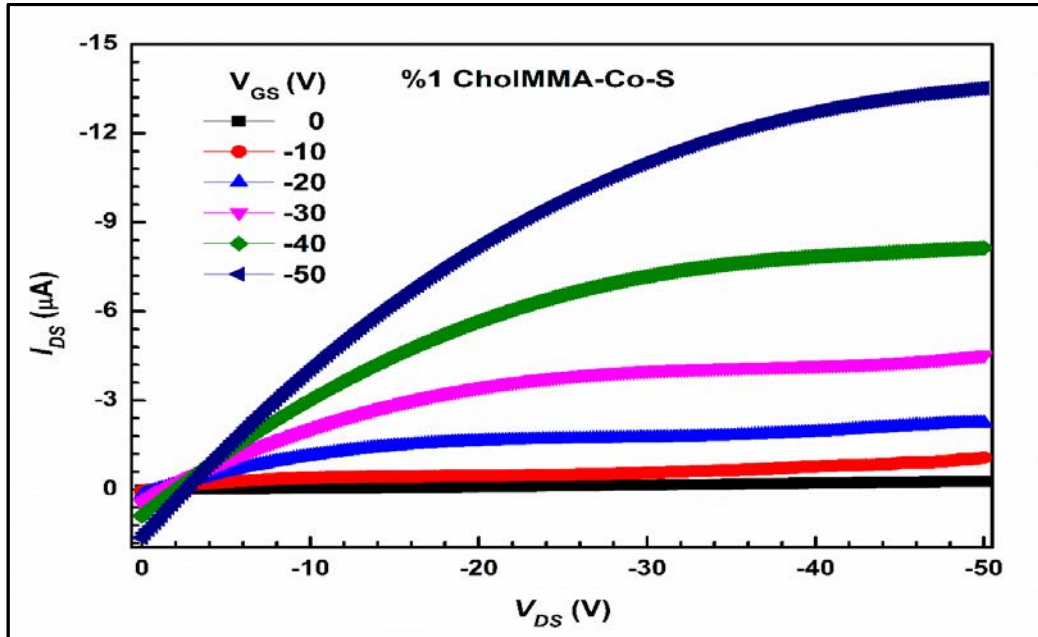
Şekil 5.13: %5 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerinin Kapasite Grafiği.



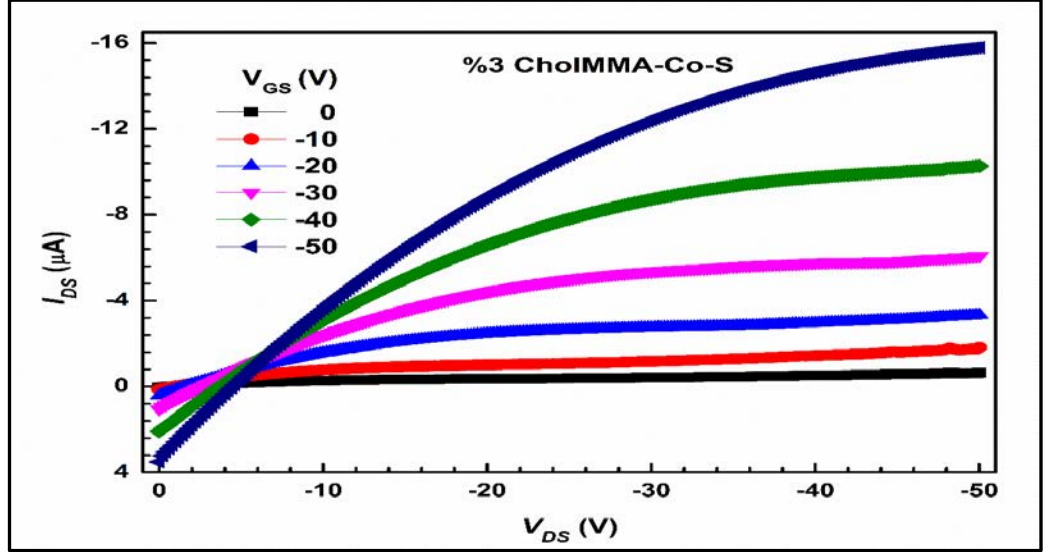
Şekil 5.14: %100 PS Polimerinin Kapasite Grafiği.

5.9.2. Yalıtkan Polimerlerli OFET’lerin Çıkış Karakteristikleri

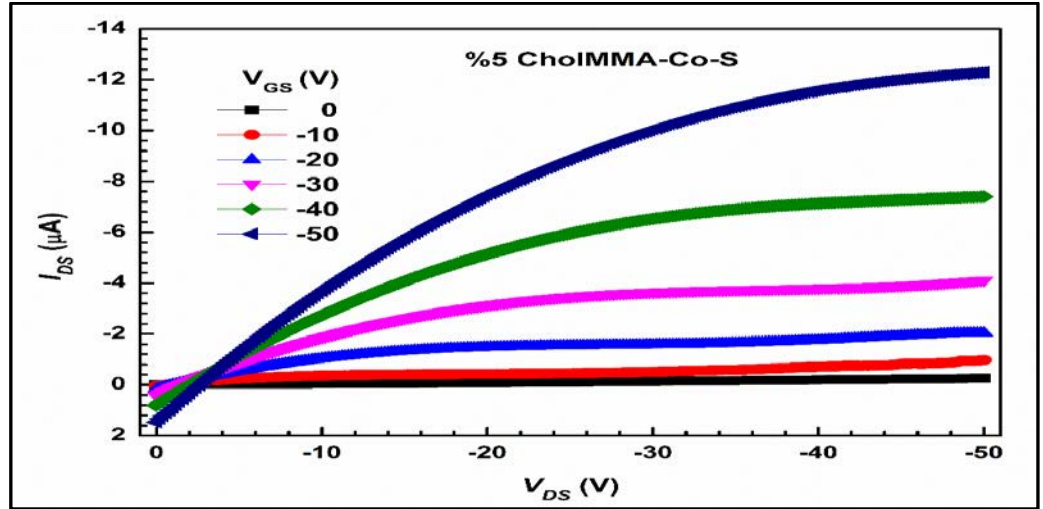
PS ve sentezlenen kopolimerlerin kapı yalıtkanı olarak kullanıldığı OFET cihazlarının çıkış akım-gerilim (I_{DS} - V_{DS}) grafikleri %1, %3, %5’lik P(CholMMAkoS) polimerleri için şekil 5.15, 5.16, 5.17 ve PS için şekil 5.18 verilmiştir. I_{DS} - V_{DS} çıkış karakterislikleri Düzce Üniversitesi Fizik Bölümü Araştırma Laboratuvarında bulunan iki kanallı Keithley 2612 B SMU akım-gerilim cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Çıkış karakterislikleri her bir polimer için kaynak-kapı gerilimi (V_{GS}) (0 V) – (-50 V) aralığındaki 10 voltluk aralıklarda adım voltajı ve kaynak-savak gerilimi (V_{DS}) (0 V) – (-50 V) aralığındaki 0.1 voltluk aralıklarda tarama voltajı uygulanarak kaynak-savak gerilimine (V_{DS}) karşı kaynak-savak arasındaki akımın (I_{DS}) ölçülmesi yoluyla elde edilmiştir. Elde edilen çıkış karakteri incelendiğinde %1 P(CholMMAkoS) polimeri için 14 μ A, %3 P(CholMMAkoS) polimeri için 15 μ A, %5 P(CholMMAkoS) polimeri için 13 μ A ve PS için 12 μ A, maksimum çıkış akımları elde edilmiştir. Ayrıca herbir polimer için OFET’lerin oldukça düzgün bir çıkış karakteristiği sergilediği görülmektedir. Çıkış karakteristiklerinden de anlaşılacağı üzere çok az bir miktar seviyede sızıntı akımı oluşmaktadır bu sızıntı akımları deneysel ortamdaki çeşitli kirlilikler ve kontak kalitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



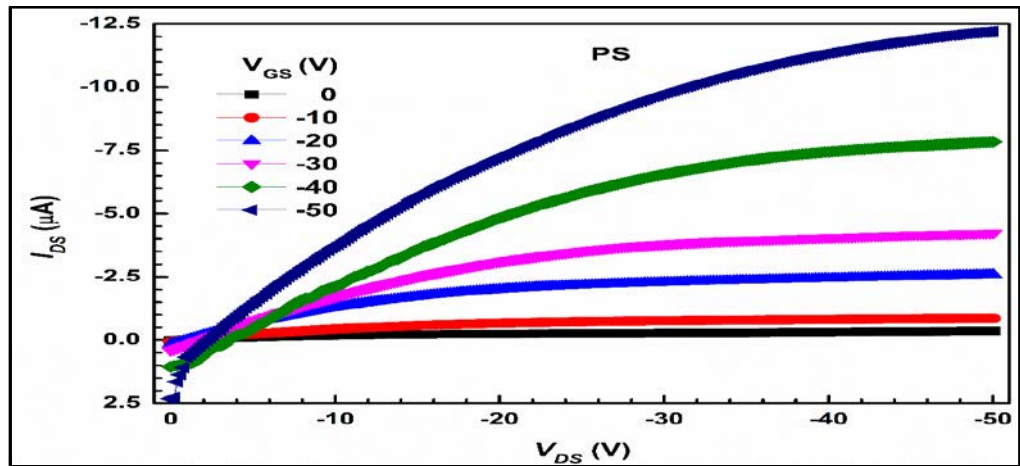
Şekil 5.15: %1 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET’in Çıkış Karakteristiği.



Şekil 5.16: %3 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Çıkış Karakteristiği.



Şekil 5.17: %5 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Çıkış Karakteristiği.

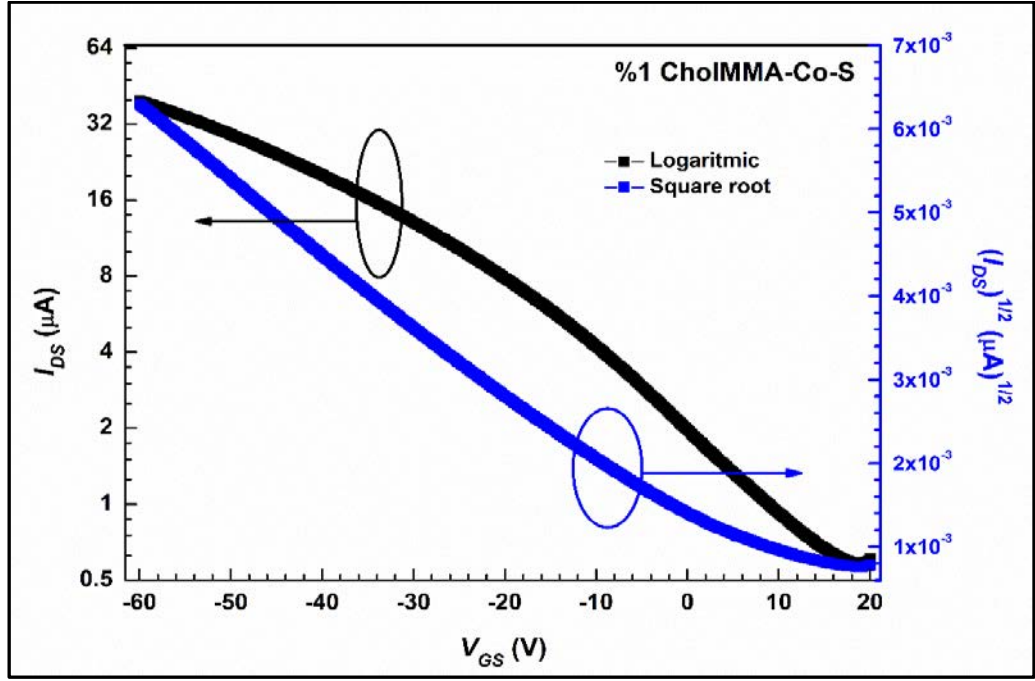


Şekil 5.18: %100 PS Polimerli OFET'in Çıkış Karakteristiği.

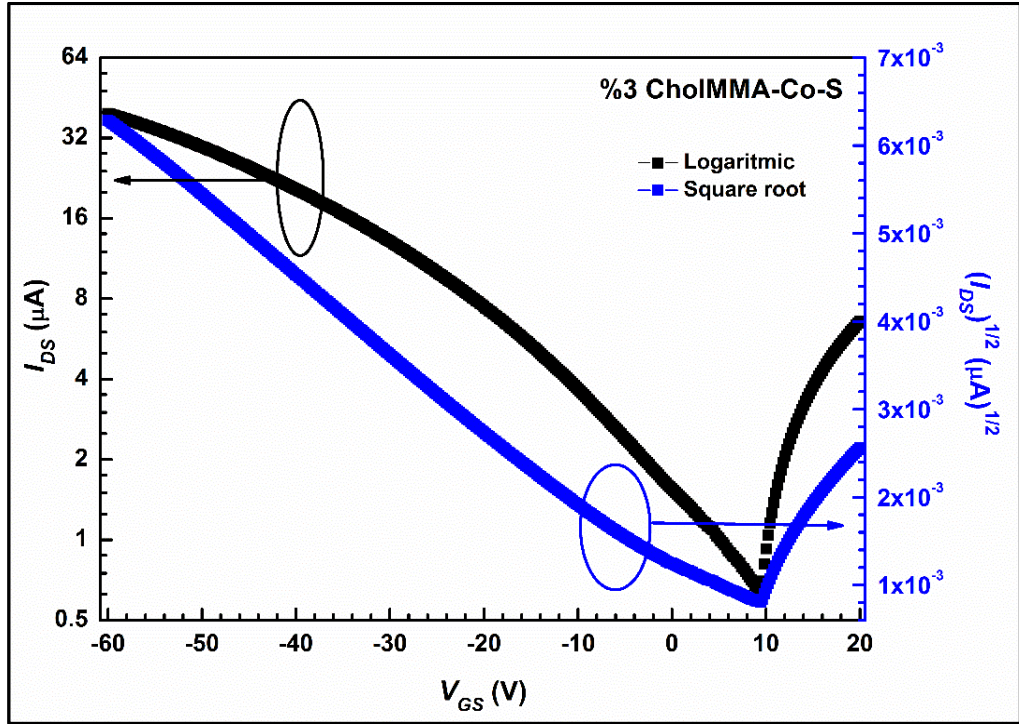
5.9.3. Yalıtkan Polimerlerli OFET'lerin Transfer Karakteristikleri

PS ve sentezlenen kopolimerlerin kapı yalıtkanı olarak kullanıldığı OFET cihazlarının transfer akım-gerilim ($I_{DS}-V_{GS}$) grafikleri %1, %3, %5'lik P(CholMMAkoS) polimerleri için şekil 5.19, 5.20, 5.21 ve PS için şekil 5.22 sol eksenlerinde verilmiştir. $I_{DS}-V_{GS}$ transfer karakterislikleri Düzce Üniversitesi Fizik Bölümü Araştırma Laboratuvarında bulunan iki kanallı Keithley 2612 B SMU akım-gerilim cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Transfer karakterislikleri her bir polimer için kaynak-kapı gerilimi (V_{GS}) (20 V) – (-60 V) aralığındaki 0.1 voltluk aralıklarda tarama voltajı ve doğru akım (DC) sabit kaynak-savak gerilimi (V_{DS}) uygulanarak kaynak-kapı gerilimine (V_{GS}) karşı kaynak-savak arasındaki akımın (I_{DS}) ölçülmesi yoluyla elde edilmiştir. Elde edilen transfer karakteri incelendiğinde akım açma-kapama (I_{on}/I_{off}) değerleri; %1 P(CholMMAkoS) polimeri için 0.8×10^2 , %3 P(CholMMAkoS) polimeri için 0.65×10^2 , %5 P(CholMMAkoS) polimeri için 1×10^1 ve PS için 0.25×10^2 olarak elde edilmiştir. Akım açma-kapama (I_{on}/I_{off}) değeri, bir transitörün ne kadar hızlı çalıştığının bir göstergesidir [78]. Daha yüksek akım açma kapama oranı daha hızlı transitör anlamına gelir. Ancak transistör için en önemli parametre hiç tartışmasız mobilitedir.

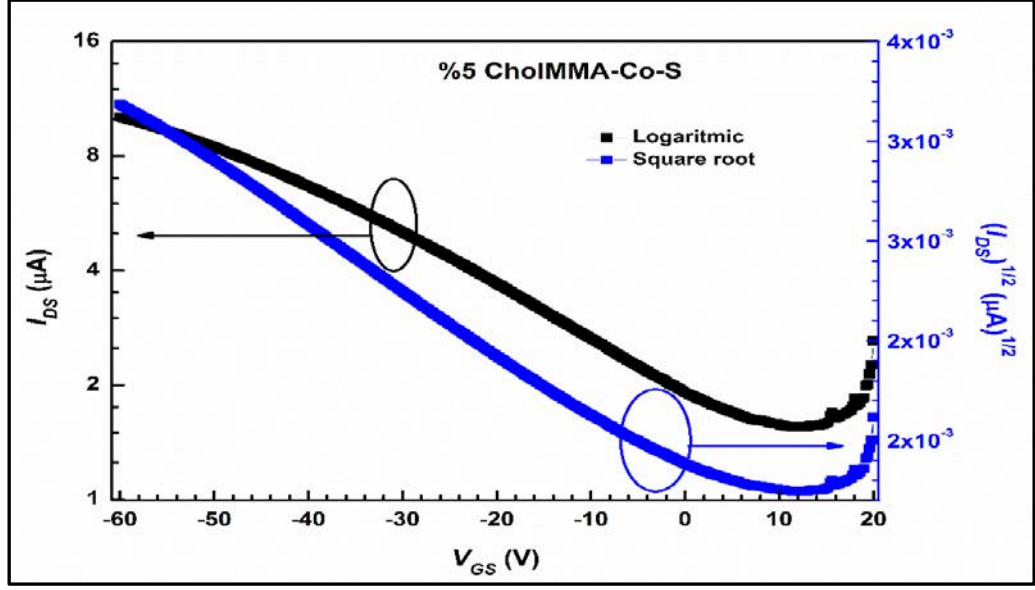
Elde edilen OFET cihazlarının transfer karakteristiklerinden eşik gerilimlerini (V_{Th}) elde edebilmek ve mobilité hesabında kullanabilmek için transfer karakteristiklerinin akım değerlerinin karekökleri alınarak [78]. %1, %3, %5'lik P(CholMMAkoS) polimerleri için şekil 5.19, 5.20, 5.21 ve PS için şekil 5.22 sağ eksenlerinde çizdirilmiştir. Bu karakteristiklerde grafiğin lineer eğimi alınarak eğimin x eksenini kestiği nokta, diğer bir deyişle akım karekökünün en iyi fit edilmiş grafiğinin x eksenini kestiği nokta eşik voltajı olarak belirlenir. Bundan başka bu eğimin değeri ise mobilité hesabında kullanılır. Düzgün çalışan bir transitörde küçük eşik voltajlarının olması istenen bir durumdur. Eşik voltajı da tıpkı I_{on}/I_{off} değeri gibi transitörün hızlı çalışabilmesini gösteren önemli bir parametredir. Buna göre akım kareköklerinin en iyi fit edilmiş grafiklerinin x eksenlerini kestiği noktalar %1 P(CholMMAkoS) polimeri için 6.1 V, %3 P(CholMMAkoS) polimeri için 7.3 V, %5 P(CholMMAkoS) polimeri için 7.9 V ve PS için 5.9 V değerlerinde eşik voltajları olarak belirlenmiştir.



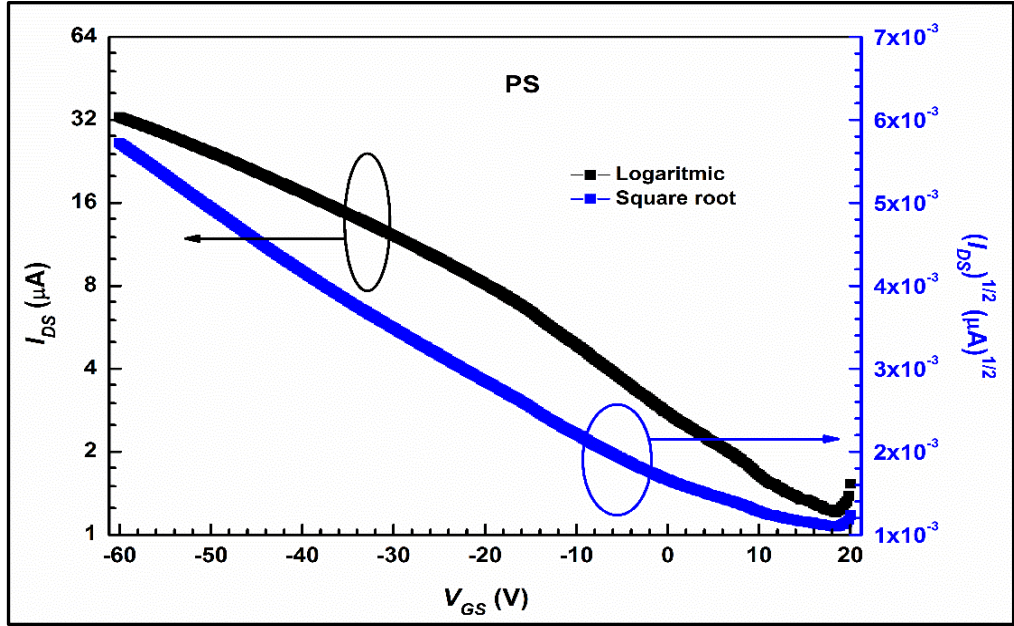
Şekil 5.19: %1 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Transfer Karakteristiği.



Şekil 5.20: %3 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Transfer Karakteristiği.



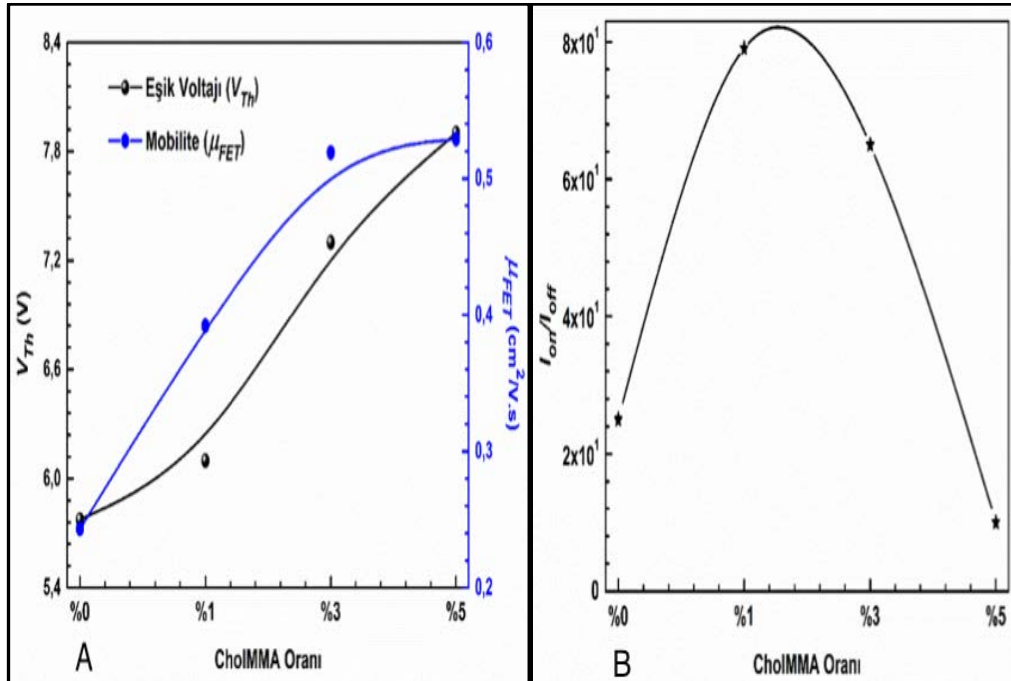
Şekil 5.21: %5 [P(CholMMA-ko-S)] Polimerli OFET'in Transfer Karakteristiği.



Şekil 5.22: %100 PS Polimerli OFET'in Transfer Karakteristiği.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

Şekil 5.23 ve 5.24 CholMMA oranına göre mobilitenin, eşik voltajının ve I_{on}/I_{off} değerinin değişimini göstermektedir. Şekil 5.23 'e göre CholMMA oranı arttıkça mobiliteler artmaktadır fakat eşik voltajında aynı oranda artış göstermektedir. Aynı zamanda şekil 5.24 'e göre de I_{on}/I_{off} değeri CholMMA oranı arttıkça azalmaktadır. Eşik voltajı artarken ve (I_{on}/I_{off}) değeri azalırken mobilitelerinin artmasının temel nedeni kapasite değerlerinin düşmesidir. Mobiliteler hesabı ($\mu_{FET}=(\alpha^2 2L/WC_i)$) denkleme göre yapılmaktadır. Denkleme göre düşük kapasite yüksek mobilitelere imkân sağlamaktadır. Bu yüzden I_{on}/I_{off} değerinin düşmesi ve eşik voltajının artması ile mobilitenin azalması beklenirken etkin kapasitedeki keskin azalma mobilitenin artmasına neden olmuştur. Diğer taraftan eşik voltajındaki yüksek değerlerin nedeni yalıtkan ile P3HT arasındaki tuzaklanmış yüklerin sayısının CholMMA oranı ile birlikte artmasına atfedilebilir aynı zamanda tuzaklanmış yükler düşük (I_{on}/I_{off}) değerine neden olurken, kaynak ve savak arasındaki iyonik safsızlıklarda (I_{on}/I_{off}) değerini azaltmaktadır.



Şekil 5.23: a) Eşik voltajı ve Mobilitenin CholMMAOranına Göre Değişimi
b) I_{on}/I_{off} Değerinin CholMMA Oranına Göre Değişimi.

KAYNAKLAR

- [1] Scharf T., (2007), "Polarized Light in Liquid Crystals and Polymers", 1sted, Wiley-Interscience.
- [2] Ganicz T., Stanczyk W., (2009), "Side-chain Liquid Crystal Polymers (SCLCP): Methods and Materials. An Overview", Materials, 2, 95.
- [3] Collings P. J., (2002), "Liquid Crystals: Nature's Delicate Phase of Matter", 2th Edition, Princeton University Press.
- [4] Hu J. S., Zhang B. Y., Jia Y. G., Chen S., (2003), "Theory of Microphase Separation in Block Copolymers", Macromolecules, 36, 9060.
- [5] Hu J. S., Zhang B. Y., Liu L. M., Meng F. B. J., (2003), "Synthesis, structures, and properties of side-chain cholesteric liquid-crystalline polysiloxanes", Applied Polymer Science, 89, 3944.
- [6] Han X., Zhang S., Shanks R. A., Pavel D., (2008), "Poly(4-vinylpyridine)-based hydrogen bonded side-chain liquid crystal polymers ", Reactive and Functional Polymers, 68, 1097.
- [7] Hu J. S., Zhang B. Y., He X. Z., Cheng, C. Z., (2004), "Synthesis, structure and characterization of side chain cholesteric liquid crystalline polysiloxanes", Liquid Crystal, 31, 1357.
- [8] Meng F. B., He X. Z., Zhang X. D., Ma Y., Han H. L., Lu H., "Liquid Crystals: Materials Design and Self-assembly ", Colloid Polymer Science, 289, 955.
- [9] He X.Z., Zhang B. Y., Meng F. B., Tian M., Mu Q. J., (2010), "Synthesis and characterization of chiral liquid crystal polymers containing donor–acceptor group", Journal of Materials Science, 45, 201.
- [10] Hu J. S., Zhang X., Jia Y., G. Meng Q. B., (2011), "Synthesis and phase behaviour of chiral liquid crystalline monomers based on menthyl groups, smectic polymers and cholesteric elastomers ", Liq. Cryst., 39, 121.
- [11] Zhang B.Y., Meng F.B., Tian M., Xiao W.Q., (2006), "Side-chain liquid-crystalline polysiloxanes containing ionic mesogens and cholesterol ester groups", React. Funct. Polym., 66, 551-558.
- [12] Yan S. Y., Kang J. H., Jeong S. Y., Choi K. H., Lee S., Shin G. J., (2014) , "Influence of chemical structure on the optical properties of new side-chain polymers containing cholesterol ", Liq. Cryst., 41, 1286.

- [13] Finkelmann H., Kim S. T., Munoz, A., Palffy-Muhoray, P.; Taheri B., (2001), "Tunable Mirrorless Lasing in Cholesteric Liquid Crystalline Elastomers ", *Adv. Mater.*, 13, 1069.
- [14] O'Neill M., Kelly S. M., (2011), "Ordered Materials for Organic Electronics and Photonics ", *Adv. Mater.*, 23, 566.
- [15] Pisula W., Zorn M., Chang J. Y., M€ullen K., Zentel R., (2009), "Liquid crystalline ordering and charge transport in semiconducting materials" *Macromol. Rapid Commun.*, 30, 1179.
- [16] Sergeyev S., Pisula W., Geerts Y. H., (2007), "Discotic liquid crystals: a new generation of organic semiconductors", *Chem. Soc. Rev.*, 36, 1902.
- [17] O'Neill M., Kelly S. M., (2003), "Liquid Crystals for Charge Transport, Luminescence, and Photonics " *Adv. Mater.*, 15, 1135.
- [18] Heraw C. D., Zhou L., Huang, J. R., Gundlach D. J., Jackson T. N., Kane M. G., Hill I. G., Hammond M. S., Campi J., Greening B. K., Francl J., West J., (2002), "Organic thin-film transistor-driven polymer-dispersed liquid crystal displays on flexible polymeric substrates", *Appl. Phys. Lett.*, 80, 1088.
- [19] Sirringhaus H., Tessler N., Friend R. H., (1998), "Integrated optoelectronic devices based on conjugated polymers ", *Science*, 280, 1741.
- [20] Dodabalapur A., Torsi L., Katz H. E., (1995), "Organic transistors: two-dimensional transport and improved electrical characteristics", *Science*, 268, 270.
- [21] Tunc A. V., Ecker B., Dogruyol Z., Juchter, S., Ugur A. L., Erdogmus A., San S. E., Parisi J., von Hauff E. J., (2012), "Influence of molecular weight on the short-channel effect in polymer-based field-effect transistors", *Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.*, 50, 117.
- [22] Shtein M., Mapel J., Benziger J. B., Forrest S. R., (2002), "Effects of film morphology and gate dielectric surface preparation on the electrical characteristics of organic-vapor-phase-deposited pentacene thin-film transistors ", *Appl. Phys. Lett.*, 81, 268.
- [23] Katsuhara M., Aoyagi I., Nakajima H., Mori T., Kambayashi T., Ofuji M., Takanishi Y., Ishikawa K., Takezoe, H., Hosono H., (2005), "Organic field-effect transistors based on new TTF-based liquid crystalline materials ", *Synth. Met.*, 149, 219.
- [24] Price A. D., Kao V. C., Zhang J. X., Naguib H. E., (2010), "Analytical Uses of Polyaniline in Power Application: A Review and Recent Development", *Synth. Met.*, 160, 1832.

- [25] Gross S., Camozzo D., Di Noto V., Armelao L., Tondello E. Eur., (2007), "PMMA: A key macromolecular component for dielectric low- κ hybrid inorganic–organic polymer films," *Polym. J.*, 43, 673.
- [26] Shi W., Fang C., Pan Q., Sun X., Gu Q., Xu D., Yu J., (2000), "Dielectric relaxation of poled polymer DCNP/PMMA", *React. Funct. Polym.*, 44, 177.
- [27] Scheinert S., Paasch G., Hörselmann I., Herasimovich A., (2010) "Low-Cost Submicrometer Organic Field-Effect Transistors", *Adv. Polym. Sci.*, 223, 155.
- [28] C. Liao, F. Yan, "Organic semiconductors inorganic thin-film transistor-based chemical and biological sensors," *Polymer reviews*, vol.53, pp. 352, 2013.
- [29] Di Chong-An., Liu Y., Yu G., Zhu D., (2009), "Interface engineering: an effective approach toward high-performance organic field-effect transistors", *Accounts of chemical research*, vol. 42 pp. 1573.
- [30] Torsi L., Magliulo M., Manoli K., Palazzo G., (2013), "Organic field-effect transistor sensors: a tutorial review," *Chemical Society reviews*, vol. 42, pp. 8612-8628.
- [31] Sokolov A. N., Tee B. C-K., Bettinger C. J., Tok J. B.-H., Bao Z., (2012), "Mechanistic Considerations of Bending Strain Effects within Organic Semiconductors on Polymer Dielectrics," *Advanced functional materials*, vol. 45, pp. 371
- [32] Kösemen A., Sana S. E., Okutana M., Doğruyol Z., Demir A., Yerli Y., Şengez B., Başaran E., Yılmaz F., (2011), "A novel field effect transistor with dielectric polymer gel", *Microelectronic Engineering* 88, 17–20.
- [33] Alpaslan Kösemen Z., Kösemen A., Öztürk S., Canimkurbey B., San S. E., Yerli Y., Tunç A. V., (2016), "Effect of intrinsic polymer properties on the photo sensitive organic field-effect transistors (Photo-OFETs)", *Microelectronic Engineering*, 161, 36–42.
- [34] Todescato F., Capelli R., Dinelli F., Murgia M., Camaioni N., Yang M., Bozio R., Muccini M., (2008), "Correlation between Dielectric/Organic Interface Properties and Key Electrical Parameters in PPV-based OFETs", *Journal of Physical Chemistry B*, 112, 10130–10136.
- [35] Horowitz G., Peng X., Fichou D., Garnier F., (1990), "The oligothiophene-based field-effect transistor: How it works and how to improve it", *Journal of Applied Physics*, 67, 528.
- [36] Dinelli F., Murgia M., Levy P., Cavallini M., de Leeuw D., Biscarini F., (2004), "Spatially correlated charge transport in organic thin film transistors", *Physical Review Letter*, 92, 6802.

- [37] Jun Baeg K., Facchetti A., Young Noh Y., (2012), "Effects of gate dielectrics and their solvents on characteristics of solution-processed Nchannel polymer field-effect transistors", *Journal of Materials Chemistry*, 22, 21138.
- [38] Chua L. L., Zaumseil J., Chang J. F., Ou E. C. W., Ho P. K. H., H. Sirringhaus and R. H. Friend, (2005), "General observation of n-type field-effect behaviour in organiselectronics", *Nature*, 434, 194.
- [39] Yoon M.-H., Kim C., Facchetti A., and Marks T. J., (2006), "Gate dielectric chemical structureorganic field-effect transistor performance correlations for electron, hole, and ambipolar organic semiconductors", *Journal of American Chemical Society*, 128, 12851.
- [40] Goyal R.K., Jagadale P.A., Mulik U.P., (2009), "Thermal, mechanical, and dielectric properties of Polystyrene/ expanded graphite nanocomposites", *Appl. Polym. Sci.*, 111, 2071.
- [41] Chen K., Harris K., Vyazovkin S., (2007), "Tacticity as a factor contributing to the thermal stability of polystyrene", *Macromol. Chem. Phys.*, 208, 2525.
- [42] Aussawasathien D., Sahasithiwat S., Menbangpung L., (2008), "Electrospun camphorsulfonic acid doped poly(o-toluidine)–polystyrene composite fibers: Chemical vapor sensing", *Synth. Met.*, 158, 259.
- [43] Lee J.Y., Kumar V., Tang X.W., Lee D.J., (2017), "Mechanical and electrical behavior of rubber nanocomposites under static and cyclic strain Compos", *Sci. Technol.*, 142, 1.
- [44] Zahibi O., (2013), "Preparation and Characterization of Toughened Composites of Epoxy/Poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) Nanotube: Thermal, Mechanical and Electrical Properties", *Composites*, 45, 1480.
- [45] Ren L., Qiu J., Wang S., (2013), "Photovoltaic properties of graphene nanodisk integrated polymer composites", *Composites*, 55, 548.
- [46] Tsumura K., Koezuka H., Ando T., 1986, "Macromolecular electronic device: Field-effect transistor with a polythiophene thin film", *App. Phys. Lett.*, 49, 1210.
- [47] Facchetti A., Yoon M.H., Marks T. J., (2005) "Gate dielectrics for organic field-effect transistors ", *Adv. Mater*, 17, 1705.
- [48] Kawase T., Shimoda T., Newsome C., Sirringhaus H., Friend R. H., (2003), " Inkjet printing of polymer thin film transistors" *Thin Solid Films*, 438, 279
- [49] Sze S. M., (2001), *Semiconductor Devices Physics and Technology*, 2th 169-220 Wiley.

- [50] Singh Th. B. and Sariciftci N. S., (2006), "Progress In Plastic Electronics Devices", *Annu. Rev. Mater. Res.*, 36, 199-230.
- [51] Singh Th. B., (2007), Organic transistors lecture, 346005, Linz Institute for organic solar cell, Johannes Kepler University.
- [52] De Leeuw D. M., Simenon J. M. M., Brown A. R., Einerhand R. E. F., (1997), "Stability of n-type doped conducting polymers and consequences for polymeric microelectronic devices", *Synth. Met.*, 87, 53.
- [53] Veres J., Ogier S. D., Lloyd G., de Leeuw D., (2004), "Gate Insulators in Organic Field-Effect Transistors", *Chem. Mater.*, 16, 4543.
- [54] Generali G., Dinelli F., Capelli R., Toffanin S., Muccini M., (2011), "Influence of the substrate platform on the opto-electronic properties of multi-layer organic light-emitting field-effect transistors" *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44, 1-7.
- [55] Yoon M.H., Yan H., Facchetti A., Marks T.J., (2005), "Low-Voltage Organic Field-Effect Transistors and Inverters Enabled by Ultrathin Cross-Linked Polymers as Gate Dielectrics", *Journal of the American Chemical Society*, 127, 10388.
- [56] Veres J., Ogier S., Lloyd G., de Leeuw D., (2004), "Gate insulators in organic field-effect transistors", *Chemistry of Materials*, 16, 4543-4555.
- [57] Frank P., (2007), "Fourier Transform Infrared Spectroscopy of Organic Dielectric / Organic Semiconductor Interface", Diploma Thesis, Johannes Kepler University.
- [58] Veres J., Ogier S. D., Leeming S. W., Cupertino D. C., Mohialdin K. S., (2003), "Low-k insulators as the choice of dielectrics in organic field-effect transistors", *Advanced Functional Materials*, 13, 199-204.
- [59] Peng X., Horowitz G., Fichou D., Garnier F., (1990), "All-organic thin-film transistors made of α -sexithienyl semiconducting and various polymeric insulating layers", *Applied Physics Letters*, 57, 19.
- [60] Chua L. L., Zaumseil J., Chang J. F., Ou E. C. W., Ho H., Sirringhaus H., Friend R. H., (2005), "General observation of n-type field-effect behaviour in organic semiconductors", *Nature*, 434, 194-199.
- [61] Klauk H., Halik M., Zschieschang U., Schmid G., Radlik W., Weber W., (2002), "High-mobility polymer gate dielectric pentacene thin film transistors", *Journal of Applied Physics*, 92, 5259-5263.
- [62] Stadler P., (2006), "Hysteresis in Bio-Organic Field-Effect Transistors", Diploma Thesis, Johannes Kepler University.

- [63] Sun Y., Liu Y., Zhu D., (2005), "Advances in organic field-effect transistors", *Journal of Materials Chemistry*, 15, 53-65.
- [64] Doganci E., (2015) "Steroid Grupları İçeren ve Farklı Topolojilere Sahip Polimerlerin Hazırlanması Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [65] Zhou Y., Briand V., Sharma N., Ahn S. K., Kasi R., (2009), "Polymers comprising cholesterol: Synthesis, self-assembly, and applications", *Materials*, 2, 636-660.
- [66] Demus D., Goodby J., Grey G. W., Spiess H. W., Vill S. W., (1998), "Handbook of Liquid Crystal", 3th Edition, Wiley.
- [67] Xu J. P., Ji J., Chen W. D., Shen J. C., (2005), "Novel biomimetic surfactant: synthesis and micellar characteristics", *Macromolecular Bioscience*, 5, 164-171.
- [68] Alberts B., Barry D., Lewis J., Raff M., Roberts K., Watson J. D., (1994), "Molecular Biology of the Cell", 4th Edition, Garland.
- [69] Reinitzer F., (1888), "Beiträge zur Kenntniss des Cholesterins", *Monatshefte für Chemie und verwandte Teile anderer Wissenschaften*, 9, 421-441.
- [70] Davidson A. J., (2004), "Flexoelectric Switching in a Bistable Nematic Device", Doctor of Philosophy Thesis, University of Strathclyde.
- [71] Collings P. J., Patel J. S., (1997), "Handbook of Liquid Crystal Research", 1st Edition, Oxford University Press.
- [72] Collings P. J., Hird M., (2001), "Introduction to Liquid Crystals: Chemistry and Physics", 2nd Edition, Taylor&Francis.
- [73] Hepuzer Y., (2000), "Sıvı Kristal Blok ve Graft Kopolimer Sentezinde Yeni Yöntemler", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [74] Pugh C., Percec, V., (1988), "Chemical Reactions on Polymers", In: J. L. Benham, J. F. Kinstle, Editors, "American Chemical Society Symposium Series", American Chemical Society.
- [75] Zhang J. H., Bazuin C. G., Freiberg S., Brisse F., Zhu X. X., (2005b), "Effect of side chain structure on the liquid crystalline properties of polymers bearing cholesterol, dihydrocholesterol and bile acid pendant groups", *Polymer*, 46, 7266-7272.
- [76] Yilmaz F., Chianga L., Guner Y., Toppare L., Yagci Y., (2004)," Synthesis and characterization of alternating copolymers of thiophene-containing N-phenyl maleimide and styrene by photoinduced radical polymerization and their use in electropolymerization", *Polymer*, 45, 5765.
- [77] Gunaydin O., Demir A., Demir GE., Yücedağ İ., Çoşut B., (2018), "The Preparation of Transparent Organic Field Effect Transistor Using a Novel

EDOT Functional Styrene Copolymer Insulator With a PEDOT: PSS Gate Electrode”, *Macromolecular Research* 26 (2), 164-172.

- [78] Günaydın O., Demir A., Atahan A., Yardım T., Yücedağ İ., (2019), “Evaluation of novel thiophene branched polystyrene as insulator layer in organic electronic device”, *Journal of Molecular Structure* 1185, 121-127.

ÖZGEÇMİŞ

13 Ekim 1984 Ardahan doğumluyum ilk lisansım Hacettepe Üniversitesi Kimya Öğretmenliği ikinci lisansım Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü bitirdim. 2010 yılında Makine Kimya Endüstri Kurumunda çalıştım. 2011 yılından itibaren Gebze Teknik Üniversitesinde çalışmaktayım. Lisansüstü eğitime 2011 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında başladım.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Bu tez çalışmasında Kocaeli Üniversitesi, Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresinde (23 Kasım- 25 Kasım 2018) “Yan Grubunda Steroid İçeren Sıvı Kristal Polimerlerin Sentezi ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi “ adlı çalışma sunulmuştur.