

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**



**POLİPROPİLEN/POLİPİROL VE POLYESTER/POLİPİROL
KOMPOZİT LİFLERİN HAZIRLANMASI VE
KARAKTERİZASYONU**

NAHİDE ELİF AŞCI KIYMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Taner TANRISEVER (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Hilmi NAMLI
Prof. Dr. Ayfer SARAÇ ÖZKAN**

BALIKESİR, Temmuz - 2020

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan "Polipropilen/Polipirol ve Polyester/Polipirol Kompozit Liflerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu" başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Nahide Elif AŞCI KIYMAZ

(imza)



Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından 2018/182 [D25] nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**POLİPROPİLEN/ POLİPİROL VE POLYESTER/POLİPİROL KOMPOZİT
LİFLERİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
NAHİDE ELİF AŞCI KIYMAZ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TANER TANRISEVER)**

BALIKESİR, TEMMUZ - 2020

Bu çalışmada, iki farklı yöntem kullanılarak çeşitli polimerizasyon şartlarında PP-PPy ve PET-PPy iletken kompozit lifleri hazırlanmıştır. Yükseltgen derişimi, monomer derişimi polimerizasyon sıcaklığı, polimerizasyon süresi ve yöntem farklılıklarının, PP/PPy ve PET/PPy kompozit liflerinin yüzey direnci ve kaplama kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Hazırlanan iletken kompozit liflerin yüzey dirençleri iki nokta tekniği kullanılarak ölçülmüştür. PP-PPy ve PET-PPy iletken kompozit liflerinin mekanik, morfolojik (mikroskop görüntüleri), spektroskopik (FTIR) ve termal (DSC) karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. PP-PPy kompozit liflerinde polimer-polimer yüzey etkileşmesinin zayıf olduğu ve PP yüzeyinde modifikasyonun gerekli olduğu kanısına varılmıştır. 2. Yöntemle elde edilen PET-PPy kompozit liflerinde istenilen düzeyde iletkenlik elde edilmiştir ve mekanik test sonrası iletkenlikte anlamlı bir değişim olmadığı görülmüştür. PP-PPy kompozit liflerinde, lif boyunca homojenlik elde edilemezken, PET-PPy kompozit lifleri oldukça homojen olarak elde edilmiştir. Hazırlanan kompozit liflerin en düşük dirençleri 10^3 ohm.cm⁻¹ seviyesinde elde edilmiştir. Çalışma boyunca, en iyi iletkenliği sağlayacak ve çekme gerilimi sonrası iletkenliği fazla değişmeyecek kompozit lifler sentezlenmesi amaçlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Polipropilen (PP), polyester, polietilen teraftalat (PET), polipirol (PPy), kendiliğinden iletken polimerler, kimyasal yükseltgen polimerizasyon, iletken tekstiller.

Bilim Kod / Kodları : 20107, 20110, 20115

Sayfa Sayısı : 91

ABSTRACT

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYPROPYLENE/POLYPYRROLE AND POLYESTER/POLYPYRROLE COMPOSITE FIBERS

MSC THESIS

NAHİDE ELİF AŞCI KIYMAZ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CHEMISTRY

(SUPERVISOR: PROF. DR. TANER TANRISEVER)

BALIKESİR, JULY - 2020

In this study, PP-PPy and PET-PPy conductive composite fibers were prepared under various polymerization conditions using two different methods. The effects of oxidant concentration, monomer concentration, polymerization temperature, polymerization time and method differences on the surface resistance and coating quality of the PP / PPy and PET / PPy composite fibers prepared were investigated. The surface resistance of the prepared conductive composite fibers was measured using the two-point technique. The mechanical, morphological (microscope images), spectroscopic (FTIR) and thermal (DSC) characterizations of PP-PPy and PET-PPy conductive composite fibers were performed. It was concluded that on the PP-PPy composite fibers, the surface interaction between PP and Ppy is weak and for a better composite the surface modification of PP is required. The desired value of conductivity was obtained in the PET/PPy composite fibers obtained by the 2nd method and it was observed that there wasn't significant change in conductivity after mechanical testing. In PP-PPy composite fibers, homogeneity cannot be obtained throughout the fiber, while PET-PPy composite fibers are considerably homogeneous. The lowest resistance of the prepared composite fibers was obtained at 10^3 ohm.cm^{-1} level. Throughout the study, it was aimed to synthesize composite fibers that will provide the best conductivity and whose conductivity will not change much after tensile stress.

KEYWORDS: Polypropylene (PP), polyester, polyethyleneteraphthalate (PET), polypyrrole (PPy), intrinsically conducting polymers, chemical oxidizing polymerization, conductive textiles.

Science Code / Codes : 20107, 20110, 20115

Page Number : 91

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Polipropilen ve Özellikleri.....	4
2.1.1 Polipropilen ve Polipropilen Çeşitleri.....	4
2.1.2 Polipropilenin Avantajları, Dezavantajları ve Kullanım Alanları	7
2.1.3 Polipropilenin Lif Olarak Kullanımı.....	7
2.2 Polyester ve Özellikleri.....	8
2.2.1 Polyester ve Polyester Çeşitleri	8
2.2.2 Polyesterin Lif Olarak Kullanımı	9
2.2.2.1 PET Liflerinin Fiziksel Özellikleri.....	11
2.2.2.2 PET Liflerinin Mekanik Özellikleri	12
2.2.2.3 PET Liflerinin Kimyasal Özellikleri	12
2.2.2.4 PET Liflerinin Kullanım Alanları	12
2.3 Polimerlerin Çözücüsünde Şişme Dengesi	12
2.4 İletkenlik	15
2.5 İletken Polimerler	17
2.5.1 İletken Polimerlerde İletkenlik	18
2.5.1.1 İletken Polimerlerde İyonik İletkenlik	19
2.5.1.2 İletken Polimerlerde Elektronik İletkenlik	20
2.5.2 İletken Polimerlerde İletkenlik Teorisi	21
2.5.2.1 Band Teorisi.....	21
2.5.2.2 Yalıtkanlar	23
2.5.2.3 Yarı İletkenler	24
2.5.2.4 Metaller.....	24
2.5.3 İletken Polimerlerde Katkılama (Doping Olayı)	24
2.5.4 Soliton, Polaron ve Bipolaron Oluşumu	26
2.5.5 İletken Polimerlerde Atlama (Hopping) Olayı.....	27
2.6 İletken Polimerlerin Sentezi.....	28
2.6.1 Kimyasal Polimerleşme	28
2.6.2 Elektrokimyasal Polimerleşme	30
2.6.3 Fotokimyasal Polimerleşme	31
2.6.4 Emülsiyon Polimerleşmesi.....	31
2.6.5 Piroliz.....	32
2.7 Polipirol (PPy).....	32
2.7.1 Polipirolün Kimyasal Sentezi.....	34
2.7.2 Polipirolün İletkenliğine Etki Eden Faktörler	35

2.8 İletken Polimerlerin Kullanım Alanları	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
3.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler	40
3.2 Kullanılan Cihazlar.....	40
3.3 Polimerizasyon Şartları ve Polimerizasyon Süreçleri	43
3.3.1 Ön Çalışma	43
3.3.2 Deneysel Çalışmalar	47
3.4 İletkenlik ve Mukavemet Test Sonuçları.....	52
3.4.1 PPY1Ç1 Kodlu Çalışma.....	52
3.4.2 PPY1Ç2 Kodlu Çalışma.....	54
3.4.3 PPY1Ç3 Kodlu Çalışma.....	56
3.4.4 PETY1Ç4 Kodlu Çalışma	59
3.4.5 PETY1Ç5 Kodlu Çalışma	60
3.4.6 PETY2Ç6 Kodlu Çalışma	61
3.4.7 PPY2Ç7 Kodlu Çalışma.....	62
3.4.8 PETY2Ç8 Kodlu Çalışma	63
3.4.9 PETY2Ç9- PETY2Ç10 Kodlu Çalışmalar	65
3.4.10 PETY2Ç11 Kodlu Çalışma	68
3.4.11 PETY2Ç12 Kodlu Çalışma	70
3.5 Fourier Dönüştümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi Görüntüleri	74
3.6 Işık Mikroskopu Test Sonuçları	76
3.7 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Test Sonuçları	78
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	79
5. GENEL SONUÇLAR.....	85
6. KAYNAKLAR.....	86
ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: a) Propilen, b) Polipropilenin yapısı.....	4
Şekil 2.2: Ataktik polipropilen.....	5
Şekil 2.3: Sindiyotaktik polipropilen.....	5
Şekil 2.4: İzotaktik polipropilen.....	6
Şekil 2.5: Eriyikten çekme yönteminin adımları.....	8
Şekil 2.6: PET zincirlerinde yinelenen birim (mer) gösterimi.....	9
Şekil 2.7: Polyester lif üretim şeması.....	10
Şekil 2.8: Küçük moleküller içeren bir katının çözücüsünde çözünmesi.....	13
Şekil 2.9: Polimerin çözücüsü içinde şişerek çözünmesi.....	13
Şekil 2.10: Dört nokta tekniği.....	16
Şekil 2.11: Konjuge yapıya sahip bazı iletken polimerler ve kimyasal formülleri.....	18
Şekil 2.12: Bazı iletken polimerlerin iletkenlik değerleri.....	19
Şekil 2.13: Sulu çözeltideki NaCl tuzunun iyonik iletkenliğinin polimerde çözülmüş bir tuzun iyonik iletkenliği ile karşılaştırılması, a) Sulu NaCl çözeltisi, b) Polimerde çözülmüş tuz.....	19
Şekil 2.14: Yalıtkan, yarı iletken ve iletkenlerde enerji band aralığı gösterimi.....	21
Şekil 2.15: Anti bağ ve bağ enerji düzeyleri.....	22
Şekil 2.16: İletken polimerlerde konjugasyonun band boşluğuna etkisi.....	22
Şekil 2.17: Band boşluğuna etki eden faktörlerin şematik gösterimi.....	23
Şekil 2.18: PA zincirinin polaron veya soliton olarak adlandırılan bir katyon veya anyon radikalinin oluşumu.....	26
Şekil 2.19: Polimerlerde katkılama ile oluşan bandların şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.20: a) Zincir üzerinde yükün taşınması b) Zincirler arasında yükün taşınması c)Partiküller arasında yükün taşınması.....	28
Şekil 2.21: Beş halkalı heterosiklik monomerlerin kimyasal polimerizasyon mekanizması (X= NH, S, O).....	29
Şekil 2.22: Bir PPy filminin elektrokimyasal olarak indirgenmesi ve yükseltgenmesine ait şematik gösterim.....	31
Şekil 2.23: Prolün genel yapısı.....	32
Şekil 2.24: PPy ve rezonans formları.....	33
Şekil 2.25: PPy yapısı ve polimer zinciri boyunca yük atlaması gösterimi.....	34
Şekil 2.26: PPy'nin kimyasal polimerizasyon reaksiyonu.....	35
Şekil 2.27: İletken polimerlerin teknolojik uygulamaları.....	37
Şekil 3.1: Polimerizasyon sistemi a) termometre b) buz c) sirkülatör d) polimerizasyon kabı.....	40
Şekil 3.2: Çözelti hazırlama sistemi a) termometre b) çözelti kabı (balon joje) c) su banyosu.....	41
Şekil 3.3: Elektriksel direnç ölçüm cihazı.....	41
Şekil 3.4: Çekme Test Cihazı.....	42
Şekil 3.5: Perkin elmer spectrum 65 model FTIR cihazı.....	42
Şekil 3.6: Perkin elmer diamond DSC 4000 cihazı.....	43
Şekil 3.7: Homojen olmayan PP lifin ışık mikroskop görüntüsü (100x büyütme).....	44
Şekil 3.8: a) Balon jojeye yerleştirilen PP lif b) Deney tüpüne yerleştirilen PP lif.....	44
Şekil 3.9: Prol çözeltilerini 0-5° C'de termal dengeye getirme düzeneği.....	45
Şekil 3.10: 1. Yöntem deneysel çalışmaların aşamaları. a) 2.0 M Fe ⁺³ sulu çözeltisinde bekletilen lifler. b) 24 saat sonrasında oda sıcaklığında kurumaya bırakılan lifler. c) Polimerleşme kabı olan 6 adet deney tüplerine ayrı ayrı yerleştirilen	

	lifler. d) Çözücü olarak metanol kullanılarak hazırlanan çeşitli konsantrasyonlarda pirol çözeltileri. e) Termal dengeye getirilmiş pirol çözeltileri. f) Polimerizasyon sistemi. g) Polimerleşme sonrası lifler.	48
Şekil 3.11:	2. Yöntem deneysel çalışmaların aşamaları. a) 4.0 M Pirol çözeltisi ve lifler. b) 4.0 M Pirol çözeltisi 50 mL beher içinde oda sıcaklığında 24 saat bekletilen lifler. c) Kurutulmadan 6 adet termal dengeye getirilmiş deney tüpüne ayrı ayrı yerleştirilen lifler. d) Çeşitli konsantrasyonlarda Fe ⁺³ (methanol) çözeltileri. e) Termal dengeye getirilen çeşitli konsantrasyonlarda Fe ⁺³ (methanol) çözeltileri. f) Polimerizasyon sistemi g) Polimerizasyon sonrası liflerin içerisinde olduğu çözeltiler. h) Polimerleşme sonrası lifler.	50
Şekil 3.12:	İnce cam çubuklara sarılarak içerisinde 2.0 M Fe ⁺³ çözeltisi bulunan deney tüplerine yerleştirilen PP lifler.....	56
Şekil 3.13:	PETY2Ç6 ve PETY2Ç8 kodlu çalışmaların birleştirilmiş grafiği (artan Fe ⁺³ konsantrasyonuna karşı direnç grafiği).....	64
Şekil 3.14:	PETY2Ç9 (0 °C) ve PETY2Ç10 (0 °C) ve PETY2Ç11 (25 °C) kodlu çalışmaların birleştirilmiş grafiği.....	69
Şekil 3.15:	PETY2Ç11 kodlu çalışmaya ait mekanik test öncesi ve sonrası direnç değerlerinin karşılaştırılması.	70
Şekil 3.16:	PETY2Ç12 kodlu çalışmaya ait farklı pirol konsantrasyonuna karşı direnç grafiği.	72
Şekil 3.17:	PETY2Ç12 kodlu çalışmaya ait mekanik test öncesi ve sonrası direnç değerlerinin karşılaştırılması (A: 1 M pirol konsantrasyonunda ölçülen hatalı ölçüldüğü düşünülen en 2 değer atıldıktan sonra düşen direnç değerini göstermektedir).....	74
Şekil 3.18:	PPY1Ç1 kodlu çalışmaya([pirol] : 4.0 M, [Fe ⁺³] : 2.0 M) ait saf PP, CH ₃ OH ile yıkanmış PP-PPy ve yıkanmamış PP-PPy liflerine ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu.	74
Şekil 3.19:	PPY2Ç7 kodlu çalışmaya [pirol] : 1.6x10 ⁻³ M, [Fe ⁺³] : 4.0 M) ait saf PP, CH ₃ OH ile yıkanmış PP-PPy ve yıkanmamış PP-PPy liflerine ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu.....	75
Şekil 3.20:	PETY1Ç4 kodlu çalışmaya([pirol] : 4.0 M, [Fe ⁺³] : 2.0 M) ait saf PET ve CH ₃ OH yıkanmış PET-PPy ve yıkanmamış PP-PPy liflerinin karşılaştırmalı FTIR spektrumu.....	75
Şekil 3.21:	PETY2Ç8 kodlu çalışmaya ([pirol] : 4.0 M, [Fe ⁺³] : 16.47x10 ⁻¹ M) ait saf PET ve CH ₃ OH yıkanmış PET-PPy ve yıkanmamış PP-PPy liflerinin karşılaştırmalı FTIR spektrumu.....	76
Şekil 3.22:	İşlem görmemiş liflerin ışık mikroskobu ile x200 büyütülmüş görüntüleri a) PP b)PET	76
Şekil 3.23:	a) PPY1Ç1 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x100 büyütülmüş görüntüsü. b) PPY1Ç2 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x100 büyütülmüş görüntüsü.....	77
Şekil 3.24:	a) PETY1Ç4 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x200 büyütülmüş görüntüsü. b) PETY1Ç5 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x200 büyütülmüş görüntüsü.....	77
Şekil 3.25:	a) PPY2Ç7 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x100 büyütülmüş görüntüsü. b) PETY2Ç8 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x100 büyütülmüş görüntüsü.....	78
Şekil 3.26:	PETY2Ç10 kodlu çalışmaya ait işlem görmemiş PET lif ve 29, 55, 73 saat polimerizasyon sonrası PET lif birleştirilmiş DSC termogramları.	78

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Polipropilenin temel özellikleri.....	5
Tablo 2.2: İzotaktik, syndiotaktik ve ataktik polipropilenin temel özellikleri.	6
Tablo 2.3: PET liflerinin genel özellikleri.....	11
Tablo 2.4: Bazı polimerler ve bazı çözücülerin δ değerleri.	14
Tablo 2.5: İletken polimerlerin sentezinde kullanılabilen bazı katkı maddeleri	25
Tablo 2.6: Dop edilmiş bazı iletken polimerlerin yapıları ve doping maddeleri.....	26
Tablo 3.1: Farklı çözücülerde bekletilen PP liflerin farklı süreler sonunda alınan direnç ölçümleri.	46
Tablo 3.2: Farklı çözücülerde bekletilen PP liflerin farklı süreler sonunda yapılmış mekanik test sonuçları.....	46
Tablo 3.3: Deneysel çalışma şartları.	51
Tablo 3.4: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre= 20 -30 dak. PP liflerin polimerizasyonu, değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	52
Tablo 3.5: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. 0.0. 0.5 ve 1.0 M pirol ile muamele gören PP liflerin mekanik test sonuçları ve mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	53
Tablo 3.6: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. 3.0. 4.0 ve 14.41 M pirol ile muamele gören PP liflerin mekanik test sırasında %15 uzama sonrası alınmış direnç ölçüm değerleri.	53
Tablo 3.7: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	54
Tablo 3.8: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 90 cm'lik ilk parça PP liflerin mekanik test sırasında % 20 uzama sonrası alınmış direnç ölçüm değerleri.....	55
Tablo 3.9: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 90 cm'lik ikinci parça PP liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.....	55
Tablo 3.10: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	57
Tablo 3.11: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 100 cm'lik ilk parça PP liflerin mekanik test sırasında % 20 uzama sonrası alınmış direnç ölçüm değerleri.....	58
Tablo 3.12: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 100 cm'lik ikinci parça PP liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.....	58
Tablo 3.13: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PET liflerin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	59
Tablo 3.14: $[\text{Fe}^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PET liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 100 cm'lik PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	59

Tablo 3.15: $[Fe^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PET liflerinin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	60
Tablo 3.16: $[Fe^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PET liflerinin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 100 cm'lik PET liflerinin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	60
Tablo 3.17: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, süre = 5 gün PET liflerin polimerizasyonu. Değişken Fe^{+3} konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	61
Tablo 3.18: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, süre = 5 gün PET liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda Fe^{+3} ile muamele gören 150 cm'lik PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	61
Tablo 3.19: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, süre = 5 gün PP liflerin polimerizasyonu. Değişken Fe^{+3} konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	62
Tablo 3.20: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, süre = 5 gün PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda Fe^{+3} ile muamele gören 150 cm'lik PP liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	62
Tablo 3.21: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, süre = 5 gün PET liflerin polimerizasyonu. Değişken Fe^{+3} konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	63
Tablo 3.22: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, süre = 5 gün PET liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda Fe^{+3} ile muamele gören 250 cm'lik PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	64
Tablo 3.23: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1} \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$. farklı sürelerde polimerleştirilen PET liflerin direnç değerleri.	66
Tablo 3.24: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1} \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$ farklı sürelerde polimerleştirilen PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	67
Tablo 3.25: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1} \text{ M}$, $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ farklı sürelerde polimerleştirilen PET liflerin direnç değerleri.	68
Tablo 3.26: $[Pirol] = 4.0 \text{ M}$, $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1} \text{ M}$, $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ farklı sürelerde polimerleştirilen PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	69
Tablo 3.27: $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1} \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 4 gün PET liflerin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.	71
Tablo 3.28: $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1} \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 4 gün PET liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 250 cm'lik PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.	73

SEMBOL LİSTESİ

ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
ATR	: Azaltılmış tam yansıma spektroskopisi
CB	: İletkenlik bandı
cm	: Santimetre
CV	: Döngüsel voltometri
DBSA	: Dodesil benzen sülfonik asit
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
Eg	: Band boşluğu
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
HIPS	: Yüksek darbe dayanımlı polistiren
HOMO	: En yüksek dolu molekül orbitali
I	: Akım
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
LED	: Işık yayan diyotlar
LUMO	: En düşük boş molekül orbitali
m	: Metre
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
NaCl	: Sodyum klorür
Ohm(Ω)	: Elektriksel direnç birimi
PA	: Poliasetilen
PANI	: Polianilin
PET	: Polietilen tereftalat
PFu	: Polifuran
PIn	: Poliinden
PInd	: Poliindol
PP	: Polipropilen
PPP	: Poli(para-fenilen)
PPS	: Polifenilen sulfid
PPV	: Poli(para-fenilen vinilen)
PPy	: Polipirol
PTP	: Politiyofen
PVC	: Poli vinil klorür
RCF	: Geometrik düzeltme katsayısı/faktörü
Rpasta	: Lehimin direnci
Rprob	: Uçların direnci
Rtoplam	: Toplam direnç
S	: Uçlar arasındaki mesafe
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
T	: Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
UHMWPE	: Ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen
UV	: Ultraviyole
V	: Potansiyel fark
VB	: Değerlik bandı
ρ	: Özdirenç

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Prof. Dr. Taner TANRISEVER'e teşekkürü bir borç bilir ve şükranlarımı sunarım.

FTIR ölçümlerinin alınmasında her türlü bilgi, deneyim ve yardımını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Hilmi NAMLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

DSC analizlerinde Fizikokimya Araştırma Laboratuvarının imkânlarından faydalandığımı başta sayın Prof. Dr. Mehmet DOĞAN olmak üzere ölçümü alan Uzm. Berna KOÇER'e teşekkür ederim.

Işık Mikroskobu görüntülerini almamızda ve laboratuvarından faydalanmamızı sağlayan sayın Prof. Dr. Ayşe Dilek AZAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sema BAĞDAT'a teşekkür ederim.

Çalışma boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen İşbir Sentetik Dokuma Sanayi A.Ş yöneticilerime teşekkür ederim.

Sevgisini ve desteğini her daim hissettiğim, aldığım kararlarda en büyük destekçim olan eşime ve yaşamım boyunca hiçbir fedakârlıktan kaçınmadan beni okutan ve her daim destekleyen sevgili annem, babam ve ablama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2020


Nahide Elif AŞCI KIYMAZ

1. GİRİŞ

Son zamanlarda iletken polimerler, özellikle polipirol (PPy), mükemmel termal kararlılıkları, iyi elektriksel iletkenlikleri, nispi kolaylıkları ve çevresel kararlılıkları nedeniyle birçok ticari uygulama için ivme kazanmaktadır (Yussuf, Al-Saleh, Al-Enezi ve Abraham, 2018). Genel olarak iletken polimerler, kimyasal yapısında bir konjüge elektronun veya alternatif tekli bağ ve çiftli bağ sisteminin varlığından dolayı doğada iletkenlerdir ve bu eşsiz kimyasal özellikleri nedeniyle, dünyada farklı araştırma disiplinlerinden birçok araştırmacının ve bilim insanının dikkatini çekmiştir (Ansari, 2006; Vernitskaya ve Efimov, 1997). PPy; elektronik cihazlar, sensörler, piller, mikroaktivatörler, biyomedikal ve antielektrostatik kaplamalar ve **iletken tekstil** gibi birçok potansiyel uygulamada aktif olarak kullanılmaktadır (Guerchouche, Herth, Calvet, Roland ve Loyez, 2017; Guimard, Gomez ve Schmidt, 2007 Jain, Jadon ve Pawaiya, 2017; Yue, Wang, Ding ve Wallece, 2013).

Sentetik tekstil liflerinin üretiminde kullanılan polimerin tipik özgül direnci 10 ohm seviyesinden daha yüksektir. İletken tekstiller terimi, farklı düzeylerde belirli (yüzey) bir iletkenliğe sahip, lif, iplik ve kumaş gibi tekstil malzemelerinden üretilmiş geniş aralıktaki pek çok ürün için kullanılmaktadır (Xue, 2005). Tekstillerin elektriksel olarak iletken hale getirilmesi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları, metal levha veya bantlardan liflerin elde edilmesi (Tang, 2007) farklı üretim ve çekim yöntemleri kullanılarak lif elde edilmesi (Kim, Koncar, Devaux, Dufour ve Viallier, 2004; Pomfret, Adams, Comfort ve Monkman, 1999), liflerin metaller (Lu, Li ve Jiang, 1996), metal oksitleri veya tuzları, iletken karbon ve **kendiliğinden iletken olan polimerlerle** (De Rossi, Della Santa ve Mazzoldi, 1999; Mazzoldi, De Rossi, Lorussi, Scilingo ve Paradiso, 2002; Xue ve Tao, 2005) çeşitli yöntemler kullanılarak muamele edilmesi olarak söylenebilir.

İletken lif elde edilmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan iletken polimer sentezi için; elektrokimyasal polimerizasyon, kimyasal polimerizasyon, piroliz, katalitik polimerizasyon (Ziegler – Natta katalizörlü) gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerdir (Mishra, 2018). İletken kompozit lif veya dokuma hazırlamak için kullanılan kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlere ait çalışmalara bakıldığında, bu tür lif ve dokumaları hazırlamak için birçok araştırmacı **kimyasal yükseltgen polimerizasyon** üzerinde yoğunlaşmıştır (Aydın, 2007). Örneğin; Xin Jin (2011) çalışmasında ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE)

lif ve polimer matrisi arasındaki yapışmayı geliştirmek için pirol, UHMWPE lif yüzeyi üzerinde kimyasal oksidatif yöntem ile polimerleştirilmiştir. UHMWPE fiberleri öncelikle $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ sulu çözeltisine daldırılmış sonrasında pirol () ile muamele edilmiştir. PPy kaplanmış UHMWPE lif morfolojik yöntemler kullanılarak karakterize edilmiştir (Xin Jin, 2011). Kimyasal polimerizasyon yöntemi ile kaplama üzerine yapılan başka bir çalışmada, (Tao, Koncar, Dufour, Onar ve Akşit, 2015) polietilen teraftalat (PET) nonwoven kumaşlar üzerinde pirol/anilin kopolimer filmlerinin iletkenlik özellikleri üzerine yüzey aktif maddenin ve farklı oksidasyon maddelerinin etkilerini araştırmışlardır. PET nonwoven kumaş üzerinde pirol/anilin kopolimerizasyonu kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kaplama çözeltisi için çözücü olarak 1M hidroklorikasit (HCl) çözeltisi hazırlanmıştır. Anilin ve/veya pirol sırasıyla 1 M HCl çözeltisi ve distile su içerisine ilave edilmiştir. Örneklerin elektriksel direnç değerleri üzerinden dopant ve yüzey aktif maddenin etkisini incelemek için monomer çözeltisi içerisine kamforsülfonikasit ($C_{10}H_{16}O_4S$) ilave edilmiştir. Bu çözelti içerisine kumaş örnekleri eklenmiştir. Bu çözelti içerisinde kumaş örnekleri 30 dk. $0-5^{\circ}C$ ' de bekletilmiştir. 1M HCl çözeltisi içerisinde $(NH_4)_2S_2O_8$ ve distile su içerisinde $FeCl_3$ çözülmüş ve bu çözeltiler ayrı olarak hazırlanmış ve $0-5^{\circ}C$ ' ye soğutulmuştur. Ardından APS çözeltisi ve $FeCl_3$ çözeltisi içinde kumaşın bekletildiği distile su ve asidik çözelti içerisine sırasıyla ilave edilmiştir. Kaplanan kumaşların morfolojik, yapısal ve elektriksel özellikleri sırasıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi cihazı (FTIR) ve "dört-uç" metodu kullanılarak incelenmiştir (Tao vd., 2015). Diğer bir çalışmada Kim vd., (2004), eriyik eğirme ve kimyasal oksidatif yöntemle kaplama prosesleri kullanarak iletken lif elde etmişlerdir. Eriyik eğirme prosesinde, belirli elektriksel ve mekanik özelliklere sahip iletken polipropilen (PP) esaslı liflerin elde edilmesi için polianilin (PANI), PPy ve grafit kullanılmıştır. PANI, PANI'nin ksilen (C_8H_{10}) içindeki çözünürlüğünü ve dağılımını geliştirmek için DBSA (dodesilbenzen sülfonik asit) kullanılarak muamele edilmiştir. PET liflerin üzerine PANI kaplama, liflerin PANI çözeltisi emilmesi yoluyla gerçekleştirildi. İletken liflerin elektriksel direnci ve morfolojik özellikleri araştırıldı (Kim vd., 2004). Kimyasal polimerizasyon yöntemi ile kaplama üzerine yapılan diğer bir çalışmada pamuklu kumaş PANI ve PPy polimerleri ile kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile kaplanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, anilin ve pirol monomer olarak, APS ve $FeCl_3$ oksidatif madde olarak HCl ise (anilin polimerizasyonu için) proton dopantı olarak kullanılmıştır. Pirol monomerinin kumaş üzerinde in-situ

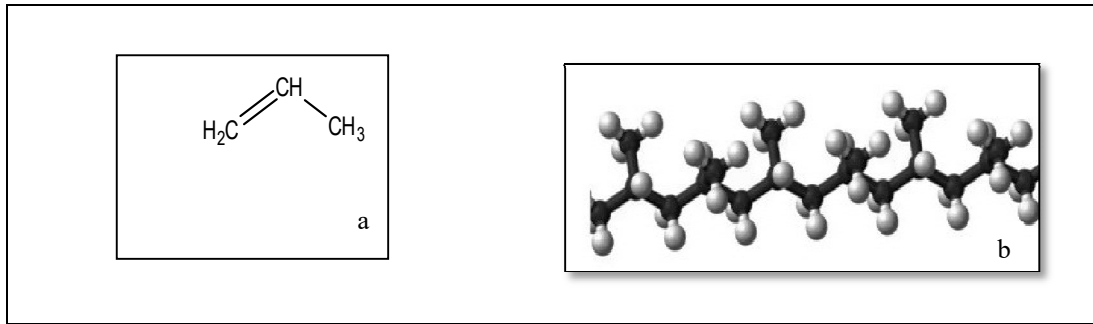
polimerizasyonu için öncelikle 0-5°C'de metanolde pirol çözeltisi hazırlanmıştır ve bu çözelti içerisine kumaş daldırılmıştır. Ayrı olarak 0-5°C'de FeCl₃.6H₂O çözeltisi hazırlanmıştır ve ilk karışıma ilave edilmiştir. 2,5 saat sonrasında kumaş örnekleri oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kaplanan kumaşların elektromanyetik, iletkenlik ve dielektrik özellikleri ölçülmüştür (Akşit ve Onar, 2014). Sunulan çalışmada; kendiliğinden iletken olan PPy, PP ve PET lif yüzeyinde kimyasal oksidatif yöntemle sentezlenmiştir. Çalışmanın birinci bölümünde; yukarıda bahsedilen benzer çalışmalarda olduğu gibi lifler önce FeCl₃.6H₂O çözeltisi ile muamele edilmiş sonrasında pirol ile muamele edilerek polimerizasyon gerçekleştirilmiş ve oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmıştır. Kullanılan bu yöntem bu çalışmada 1.Yöntem olarak isimlendirilmiştir. Kaplanmış liflere direnç ölçümü, mukavemet testi ve mukavemet testi sonrası direnç ölçümü uygulanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde; lifler önce pirol ile muamele edilmiş sonrasında FeCl₃.6H₂O çözeltisi ile muamele edilerek polimerizasyon gerçekleştirilmiş ve oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmıştır. Kullanılan bu yöntem bu çalışmada 2.Yöntem olarak isimlendirilmiştir. Kaplanmış liflere direnç ölçümü, mukavemet testi ve mukavemet testi sonrası direnç ölçümü uygulanmıştır. Ayrıca 2. Yöntem'de PPy iletkenliği üzerine sıcaklık ve süre etkisi araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Polipropilen ve Özellikleri

2.1.1 Polipropilen ve Polipropilen Çeşitleri

1954'te keşfedilen PP, ticari plastikler arasında en düşük yoğunluğa sahip olması dolayısıyla çok hızlı bir şekilde popülerlik kazanmıştır (Maddah, 2016). Giulio Natta ve Karl Zeigler'in propilen polimerizasyonu sırasında, metal alkil veya metal tuzları türü katalizörlerin stereospesifik etkisini kanıtlaması sonucu 1954 yılında PP'yi bulmuştur (Türkçü, 2004). PP, olefin monomer propilenin polimerizasyonu sonucu üretilmiş bir petrokimya ürünüdür. Bu işlemde, monomerleri bir araya getirmek için ısı, yüksek enerjili radyasyon ve bir başlatıcı veya bir katalizöre ihtiyaç duyulur. Böylece, propilen molekülleri çok uzun polimer moleküllere veya zincirlere polimerize edilir. Herhangi bir monomerin polimerleşmesi dört farklı yol ile gerçekleştirilir. Bunlar çözeltili polimerizasyonu, süspansiyon polimerizasyonu, yığın polimerizasyonu ve gaz-faz polimerizasyonudur. Bununla birlikte PP özellikleri; proses şartlarına, kopolimer bileşenlerine, moleküler ağırlığı ve moleküler ağırlık dağılımına göre değişir. PP, her karbon atomunun bir metil grubuna bağlandığı ve Şekil 2.1'de gösterildiği gibi bir vinil polimeridir (Maddah, 2016).



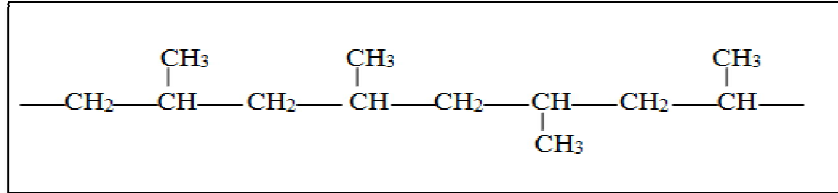
Şekil 2.1: a) Propilen, b) Polipropilenin yapısı.

Yarı şeffaf, beyaz ve oda sıcaklığında katı halde bulunan bir termoplastik olan PP'nin yoğunluğu $0,905 \text{ g/cm}^3$ olarak bilinmektedir. PP, hem kristal hem de amorf fazları içeren yarı kristalin bir polimerdir. Kristalin erime noktası, 160 ile 170°C arasındadır. PP'nin mekanik özellikleri moleküler ağırlığına bağlıdır. Moleküler ağırlığın az olması PP'nin çekme dayanımında, rijitliğinde ve sertliğinde azalmaya neden olur. Ayrıca PP, polar olmayan hidrokarbonların da bir özelliği olan elektriksel yalıtkanlık özelliğine sahiptir.

Tablo 2.1: Polipropilenin temel özellikleri.

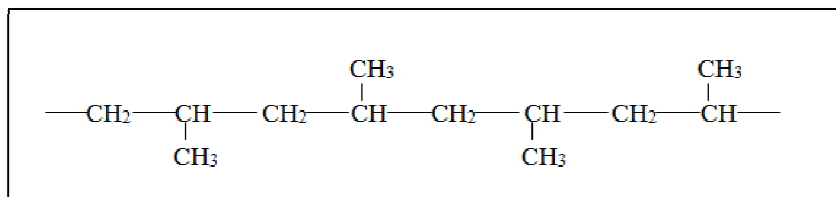
Yoğunluk	0,905g/cm ³
Erime Noktası	160 ile 170 °C
Maksimum Sürekli Kullanım Sıcaklığı	100°C
Kopma Mukavemeti	33MPa
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (18MPa)	55°C
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (0.45MPa)	85°C
Isıl Genleşme Katsayısı	1,35x10 ⁻⁴
Hacimsel Özdirenç (Ω cm)	1,00x10 ¹⁷

PP, polar olmayan bir hidrokarbon olarak organik ve inorganik reaktiflere karşı olağanüstü kimyasal dirence sahiptir. Çoğu derişik asit ve bazdan etkilenmez. Bununla birlikte, nitrik asit ve sülfürik asitler gibi oksitleyici reaktiflere karşı savunmasızdır. PP, toksik olmayan ve kanserojen olmayan bir materyal olarak kabul edilir (Türkçü, 2004). PP zincirlerindeki CH grubuna bağlı metil gruplarının sterik düzenine göre, farklı isimlendirilir ve farklı özelliklere sahip olur. Şekil 2.2 metil gruplarının polimer zinciri üzerinde rastgele yerleştiği, polipropilenin amorf bir yapı olduğu ve mukavemetinin düşük olduğu ataktik formunu göstermektedir.



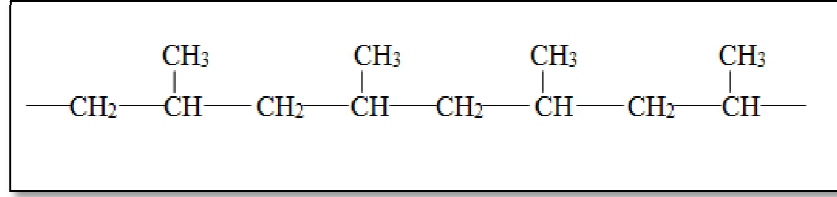
Şekil 2.2: Ataktik polipropilen.

PP zincirlerindeki CH grubuna bağlı metil gruplarının baş-kuyruk düzeninde art arda bulunması durumunda bu polipropilen sindiyotaktik olarak bilinir.



Şekil 2.3: Sindiyotaktik polipropilen.

Eğer PP zincire bağlı bütün metil grupları Şekil 2.4'te gösterildiği gibi aynı tarafta ise, bu PP izotaktik olarak adlandırılır (Eskin, 2010).



Şekil 2.4: İzotaktik polipropilen

Tablo 2.2: İzotaktik, syndiotaktik ve ataktik polipropilenin temel özellikleri.

Polipropilen Tipi	Özellik
İzotaktik Polipropilen	Erime noktası 160-170°C arasında değişmektedir. Stres, çatlama ve kimyasal reaksiyona karşı mükemmel direnç gösterir. Kristal içeriği yüksektir.
Sindiyotaktik Polipropilen	Erime noktası 125-130°C arasında değişmektedir. İzotaktikten PP'den daha yumuşaktır ve ayrıca serttir. Gama radyasyonuna karşı kararlıdır. İzotaktik PP'ye göre daha düşük kristal içeriğe sahiptir.
Ataktik Polipropilen	Erime noktası 0°C'nin üzerindedir. Gerçekten yumuşak bir polimerdir ve neredeyse sadece amorf içeriğe sahiptir.

PP türleri üç ana grupta sınıflandırılır.

1. Homopolimer PP: Sadece propilenin polimerleşmesiyle elde edilen molekül zincirinde tekrarlayan ünite sadece propilen olan yapılardır. Molekül yapısı: P P P P P P P P P P formülasyonu ile gösterilir.

2. Kopolimer PP: Propilenin polimerleşmesinden sonra elde edilecek polimer türüne göre %4-14 arası etilenin polimerleştirilmesinden elde edilir. Molekül yapısı: P P P P P P P P E E formülasyonu ile gösterilir.

3. Random kopolimer: Propilen ve etilenin aynı anda polimerizasyonundan elde edilen etilen oranı % 4'ün altında olan yapılardır.

Molekül yapısı: P P P E E P P P E E P P P E E P P P E E formülasyonu ile gösterilir (MEB, 2013).

2.1.2 Polipropilenin Avantajları, Dezavantajları ve Kullanım Alanları

PP, düşük maliyetli mühendislik plastikleri olarak bilinir. Mekanik strese maruz kalmadığında ve özellikle yüksek ve LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) ile kıyaslandığında; düşük yoğunlukta daha yüksek sertlik ve yüksek sıcaklıklara direnç özelliklerine sahiptir. Buna ek olarak; PP'nin, yorulma direnci, kimyasal direnç, çevresel gerilim çatlaması, sertlik gibi özellikleri iyidir. PP, işleme kolaylığı ile birlikte enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon ile iyi işlenebilirlik özelliğine sahiptir.

Modifiye edilmemiş PP'nin diğer termoplastiklerle karşılaştırıldığında bazı dezavantajlara sahiptir. PP, özellikle yüksek darbe dayanımlı polistiren (HIPS) , polivinil klorür (PVC) ve akrilonitril bütadiyen stiren (ABS)'den daha düşük kalıp çekme, daha yüksek termal genleşme ve daha düşük darbe dayanımına sahiptir. Bununla birlikte, PP, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve LDPE'den daha düşük kalıp çekme ve termal genleşme katsayısına sahiptir (Tripathi, 2002).

PP son yıllarda en önemli plastiklerden biri olmuştur ve birçok farklı alanda kullanılmaktadır. PP; video kasetlerde, bagajlarda, oyuncaklarda, tampon kapaklarında, jant kapaklarında, akü kılıflarında, ambalaj çuvallarında, filament ipliklerinde, buzdolabı parçalarında, blister ambalajlarda, basınçlı borularda ve bundan başka bir çok alanda kullanılmaktadır (Türkçü, 2004).

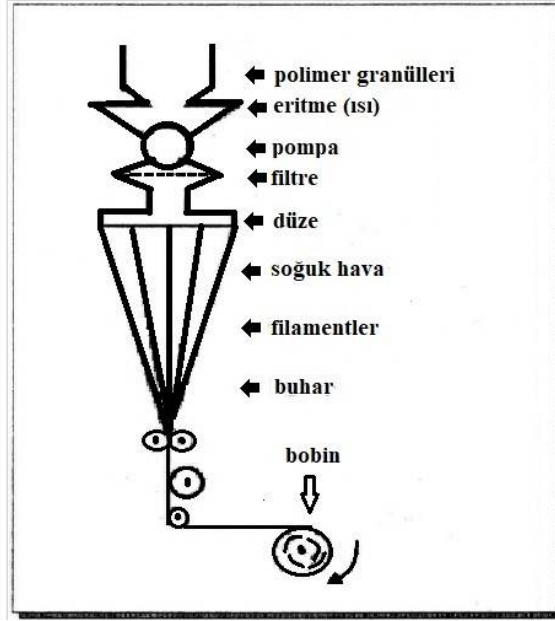
2.1.3 Polipropilenin Lif Olarak Kullanımı

Streospesifik katalizörlerin (Ziegler-Natta katalizörleri) 1954'lerde polimerizasyon sistemlerinde kullanılmaya başlanması ile birlikte PP lif eldesine uygun stereodüzende sentezlenebilmiş ve izotaktik PP'den 1957'de ilk defa İtalya'da lif üretilmeye başlanmıştır. Yan metil gruplarının zincir boyunca rastgele sıralandığı ataktik PP yapısı lif eldesi için uygun değildir. Buna karşın izotaktik HDPE kolayca yönlendirilebilmesi ve kristallenebilmeleri nedeni ile lif üretimine yatkın bir polimerdir (Saçak, 1994).

PP yaygın olarak tekstil ve plastik endüstrisinde kullanılmaktadır. Tekstil malzemelerinde ve plastik endüstrisinde, PP liflerinin tercih edilmesinin nedeni düşük maliyetleri, kolay işlenebilirlikleri, düşük yoğunlukları, yüksek mukavemetleri ve mükemmel kimyasal dayanımları olarak belirtilebilir. Bununla birlikte liflerin düşük polarite, düşük UV dayanımı ve düşük termal kararlılık gibi dezavantajları da mevcuttur (Erdem, Erdoğan ve Akşit, 2015).

Poliolefin lifler genelde eriyikten çekme yöntemi ile üretilirler (Saçak, 1994).

Eriyikten çekme yöntemi, uygulanabilirliği en kolay lif çekme yöntemidir. Polimer öncelikle eritilir, süzülür ve sonrasında basınç uygulanarak sabit bir hızla düzelerle basılır. Düzeye deliklerinin hemen altında eriyik halinde bulunan polimer soğuk hava akımının etkisi ile katılaşıp ve filamentler elde edilir. Soğutma hızı çok önemlidir ve hava akım hızına bağlı olarak soğutma hızı kontrol altında tutulur. Soğuyan filamentler bir araya getirilir ve sarma bobinlerine gönderilir. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Eriyikten çekme yönteminin adımları.

2.2 Polyester ve Özellikleri

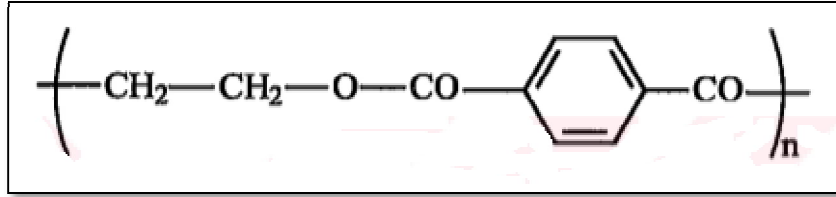
2.2.1 Polyester ve Polyester Çeşitleri

Polyester, genel olarak bir dialkol ile bir dikarboksilik asidin kondenzasyonu sonucu oluşan uzun zincirli polimerlere verilen addır. Bu zincirde çok sayıda tekrarlanan ester (-COO-) grupları vardır. Ftalik anhidrit, maleik anhidrit, izoftalik asit, adipik asit, fumarik asit gibi organik asitlerle, propilen glikol, etilen glikol, dietilen glikol, dipropilen glikol ve neopentil glikol gibi glikoller polyester elde etmede kullanılan kimyasal yapılardır (Bilici, 2012).

Polyester ilk kez 1901'de gliserol ve ftalik anhidritin birlikte ısıtılması sonucu sentezlenmiştir. İlk aşamada doğrusal polimer elde edilir. Bunun nedeni; gliseroldeki sekonder hidroksil grupları, uç hidroksil gruplarına göre daha az aktif olmasıdır. İleri ısıtma gerçekleştirildiğinde çapraz bağlar oluşur ve termosetting polimer elde edilir (Saçak, 1998).

Ester bağları içeren bir hidrokarbon iskeleti olan polyester; zincirindeki ester grupları, negatif yüke sahip oksijen atomu ve pozitif yüke sahip karbonil karbon atomu barındırır ve polar özellik gösterir. Birbirinden farklı ester gruplarının üzerinde bulunan pozitif ve negatif yükler etkileşim içindedirler. Bu etkileşim sonucu, yakın zincirlerdeki ester grupları birbiriyle kristal yapı oluşturmak üzere dizilirler. Bu nedenle polyesterler güçlü elyaflar meydana getirmektedirler (Bilici, 2012).

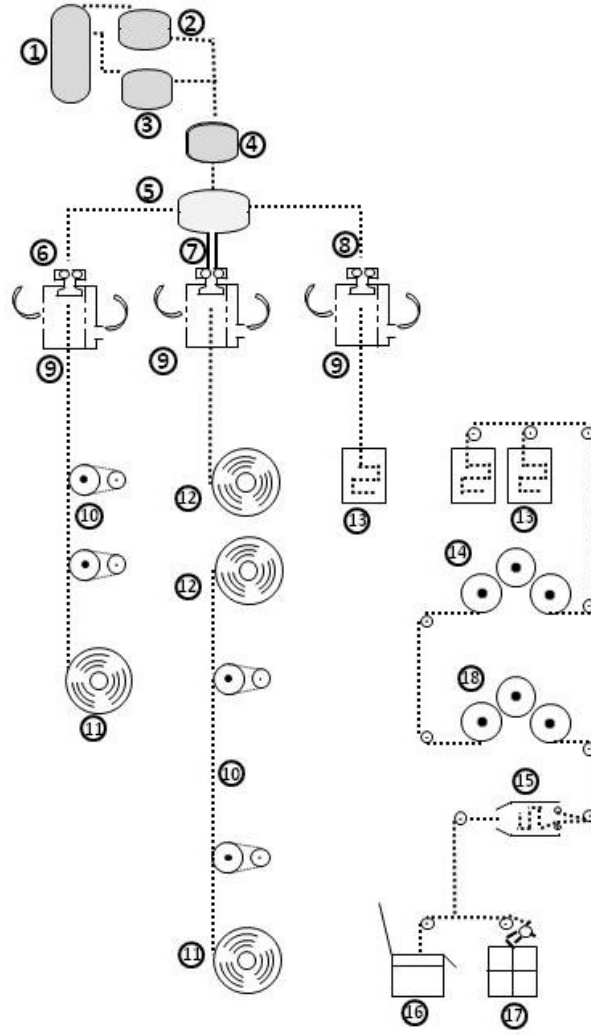
Doğrusal polyesterler, örneğin PET, dikarboksilik asit ve diol kondensasyonu veya ester değişim tepkimeleriyle sentezlenebilir (Saçak, 1998).



Şekil 2.6: PET zincirlerinde yinelenen birim (mer) gösterimi.

2.2.2 Polyesterin Lif Olarak Kullanımı

PET lifler, termoplastik polyester lifler arasında en bilinen ve üretilen grubu oluşturmaktadırlar. PET, pek çok uygulamada kullanılanlabilen, yüksek performans özelliklerine sahip, düşük fiyatlı bir polimerdir. PET lifleri ilk kez 1941 yılında İngiltere’de, J.R.Whinfield ve J.T Dickson tarafından, etilen glikol ve dimetil tereftalattan elde edilmiş ve “Terylene” ticari ismiyle tanınmıştır. 1953 yılında ise Amerika’da etilen glikol ve tereftalik asitten, “Dacron” ticari ismiyle üretilmiştir. PET, tekstil, paketlenme, elektro-teknik, yapı gibi pek çok sanayi dalında da kullanılmaktadır. PET, düşük yoğunluklu olması, yüksek darbe dayanımına sahip olması ve toksik olmaması sebebiyle tercih edilmektedir. PET, Avrupa’da şişe, levha ve dökme malzemeleri halinde, cam sileceği kolları, fren sistemi, lamba duyları, fırın eldivenleri vb. şekilde üretilmektedir.



Şekil 2.7: Polyester lif üretim şeması.

(1) Ham petrol, (2) dimetil tereftalat/tereftalik asit, (3) glikol, (4) polietilen tereftalat (5) eriyik, (6) polyester filament iplik üretimi-tek adımda, (7) polyester iplik üretimi- çok adımda, (8) polyester şapel üretimi, (9) eriyikten lif çekme, (10) germe-çekme, (11) düz polyester filament ipliği, (12) lif çekme bobini, (13) lif demeti, (14) germe çekme, (15) kıvrıcıklandırma, (16) polyester lif demeti, (17) polyester şapel lifleri

Şekil 2.7’de, PET oluşturmak için hammadde olarak kullanılan petrolün işlenmesiyle başlayıp, lif haline getirilmesine kadar geçen prosesi anlatan üretim şeması görülmektedir. 260°C’de eritilen PET lifleri, yumuşak çekim yöntemiyle çekilir. Daha sonrasında çekim uygulanıp boyları uzatılan lifler, bobinlere sarılır. Türkiye’de Lalelen, Perilen ve Polylen ticari adlarla üretilirler.

2.2.2.1 PET Liflerinin Fiziksel Özellikleri

PET liflerinin fiziksel özellikleri Tablo 2.3'te görülmektedir.

Tablo 2.3: PET liflerinin genel özellikleri.

PET Genel Özellikleri	Lifin Davranışı
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,38
Çekme dayanımı	Dayanıklı
Nem tutuculuk değeri (%)	0,4
Gevreklik ve Esneklik	Kuru ve yaşken, gevrek ve esnek
Isı iletkenlik değeri (mWm ⁻¹ K ⁻¹)	140
Kristalleşme sıcaklığı (°C)	130
Erime sıcaklığı (°C)	258-263
Camsı geçiş sıcaklığı (°C)	75
Kimyasallara dayanım	Pek çok kimyasala dayanıklı
Kuruma süresi	Hızlı
Kırılmaya ve Aşınmaya dayanım	Dayanıklı
Küfe dayanım	Dayanıklı
Güneş ışınları ve UV'ye dayanım	Güneş ışınlarına dayanıklı, uzun süreli UV ışınlarına maruz bırakıldığında çeşitli bozulmalar olur.
Alev karşısında davranışı	Eriyerek yanar, damlalar olur.

Kesitleri üretim şekline göre değişen PET lifleri, genel olarak yuvarlak kesite sahiptir. Üst yüzeyleri pürüzsüzdür. Yüzeyleri parlak, mat veya renkli olabilir. PET lifleri 1,38 gr/cm³ ortalama yoğunluğa sahiptir. Hidrofob yapıda olan PET liflerinin, bu özelliği sayesinde ıslak halde dayanıklılığında azalma beklenmez. Hidrofobiklik ve statik elektriklenme özelliğinden dolayı, havadaki yağ ve kirleri bünyesine çeker. Erime sıcaklığı 260°C'dir ve esnekliği en yüksek olan liftir. CO₂ ve oksijen gibi gazlara karşı mükemmel geçirimsizliği olan PET'e çeşitli katkılarla, antibakteriyal olma, yangına dayanım gibi özellikler de kazandırılabilir.

2.2.2.2 PET Liflerinin Mekanik Özellikleri

Lif mukavemetinin ölçümünde biri durağan, diğeri hareketli iki çene arasına yerleştirilen life, gittikçe artan kuvvet uygulanır. Bu kuvvetin etkisi ile lifte bir miktar uzama görülür ve lifin dayanıklılık derecesine göre lif kopar. Lifin koptuğu andaki kuvvet, “kopma kuvveti” olarak tanımlanır. Lifin koptuğu ana kadar oluşan uzama miktarının, lifin ilk boyuna oranına ise, “kopma uzaması” adı verilir ve “%” olarak ifade edilir.

Kuru ve ıslak halde değişiklik göstermeyen PET liflerinin mukavemeti, filament halinde 4-5 grf/denye, mukavemeti yüksek liflerde 6,4-8 grf/denye arasında, stapel liflerde 5,5-6,5 grf/denye arasında değişen mukavemete sahiptir. PET liflerinin uzama değerleri filament halinde %15-30, stapel liflerde %30-50, mukavemeti yüksek olanlarda ise %8-11’dir.

2.2.2.3 PET Liflerinin Kimyasal Özellikleri

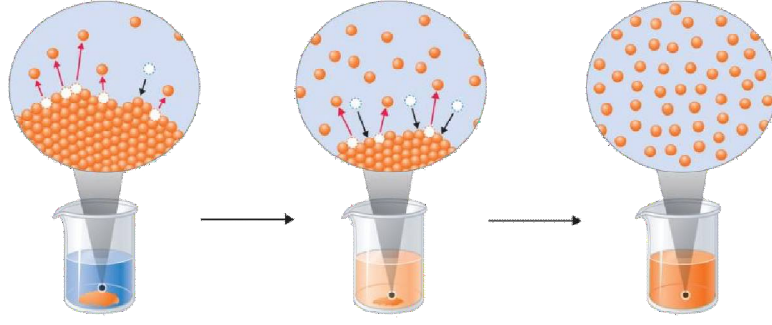
Bazı kimyasallara karşı yüksek dayanımıyla, diğeri polimerlerden ayrılan PET lifleri, zayıf alkalilere karşı yüksek, kuvvetli alkalilere karşı ortalama dayanıma sahiptir. Normal koşullar altında; kuvvetli ve zayıf asitler, lifler üzerinde etki göstermez iken, yüksek sıcaklık koşullarında kuvvetli asitler, PET liflerinin kimyasal yapısını bozar. Güneş ışığına uzun süre maruz kaldığında UV ışınlarında etkilenen PET lifleri, küfe, zararlı canlılara ve güveye karşı ise dayanıklılıkları yüksektir.

2.2.2.4 PET Liflerinin Kullanım Alanları

Tek başına ya da doğal liflerle karıştırılarak, çeşitli giyim eşyalarının üretilmesinde, balık ağları, perde, yer döşemesi, halı, kemer, dikiş ipliği, halat, mayo, aside dayanıklı olması istenilen kumaşların üretiminde, dolgu maddesi olarak yatak ve mobilyalarda PET lifleri kullanılmaktadır (Erdem, 2013).

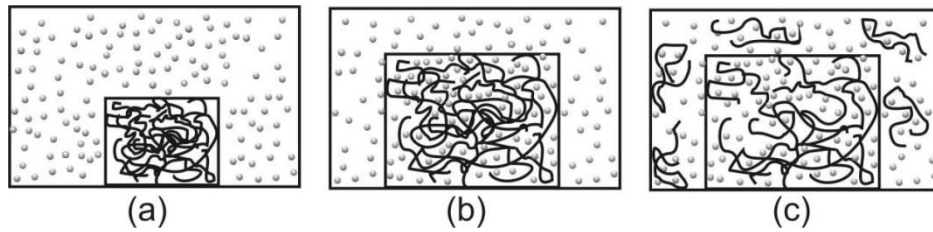
2.3 Polimerlerin Çözücüsünde Şişme Dengesi

Polimerlerin bir çözücü ortamında çözünme davranışı, küçük molekül veya iyonik katının çözücülerinde çözünme davranışlarından farklılık gösterir. Küçük molekülleri barındıran bir katı, çözücüsünün içine yerleştirildiğinde katı yüzeyden itibaren çözücü içinde dağılmaya başlar.



Şekil 2.8: Küçük moleküller içeren bir katının çözücüsünde çözünmesi.

Polimer içindeki polimer molekülleri birbirlerine dolanmış haldedir. Polimer molekülleri arasında yüksek etkileşim olduğundan polimer çözücüsü içinde bulunduğu bile çözünmeyebilir. Polimerlerin çözücülerinde çözünmesi süreci iki adımda gerçekleşir. Çözünme ilk aşamasında polimer molekülleri çok büyük ve birbirlerine dolaşmış veya ağ örgülü (çapraz bağlı) olduklarında polimer çözücüsü içerisinde iken (Şekil 2.9 a), polimer moleküllerinin çözücüde dağılması yerine küçük çözücü molekülleri polimerin zincirleri arasına diffüzenir (Şekil 2.9 b). Polimer şişer. Bazen çözünme bu aşamada kalır ve polimerin çözücüde dağılması gerçekleşmez. Çözünmenin ikinci aşamasında ise çözücü ile şişmiş polimer içindeki polimer molekülleri çözücü içerisinde dağılırlar (Şekil 2.9 c). Polimerin şişme miktarı ve dağılması polimer-çözücü moleküllerinin etkileşme derecesi ile bağlantılıdır (Tanrısever, 2020).



Şekil 2.9: Polimerin çözücüsü içinde şişerek çözünmesi.

Polimerlerin çözünürlüğünün belirlenmesinde, moleküller arası etkileşmenin ölçüsü olan bir sıvının kohezyon enerji yoğunluğu (KEY) (Hildebrand'ın çözünürlük parametresi), δ , çok sık kullanılır (Tanrıverdi, 2007).

$$\delta = \sqrt{KEY} = \sqrt{\frac{\Delta H_b - RT}{V_m}} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte; KEY , çözücünün kohezif enerji yoğunluğu, ΔH_b çözücünün buharlaşma entalpisi, V_m çözücünün molar hacmini ifade etmektedir. Bir polimer için çözünürlük parametresi çözücünün çözünürlük parametresine ne kadar yakınsa, çözücü polimer için o kadar iyi bir çözücüdür denilmektedir. Polimerlerin çözünürlük parametresini belirlemek için çeşitli yöntemler bilinmektedir. Bu yöntemlerden biri de polimeri en iyi şişiren çözücünün çözünürlük parametresi polimerin çözünürlük parametresi olarak kabul edilir (Tanrıseven, 2020). Tablo 2.4'te bazı polimerler ve bazı çözücülerin δ değerleri verilmektedir.

Tablo 2.4: Bazı polimerler ve bazı çözücülerin δ değerleri.

Sıvılar	$\delta(\text{cal/cm}^3)^{0,5}$	Polimerler	$\delta(\text{cal/cm}^3)^{0,5}$
n-hekzan	7.30	Silikon kauçuğu	7.30
Dietil eter	7.40	Poliizobütülen	7.90
n-oktan	7.55	Polietilen	7.94
Karbon tetraklorür	8.60	Polipropilen	8.10
n-propil benzen	8.65	Poli(n-bütül metakrilat)	8.80
Etil asetat	9.10	Polistiren	9.10
Benzen	9.15	Poli (metil metakrilat)	9.30
Kloroform	9.30	Poli (vinil klorür)	9.55
Metil etil keton	9.30	Poli (etilen tereftalat)	10.10
1,2-dikloreten	9.80	Anilin ve promellitik asitin poliimidi	11.70
Tetrahidrofuran	9.90		
Aseton	10.00		
n-hekzanol	10.00		
Tetrakloreten	10.40		
Dimetil asetamid	11.10		
Dimetil formamid	12.10		
Etanol	12.70		
Metanol	14.50		
Su	23.20		

Bu veriler arasında belli bir ilişki vardır. Örneğin, $\delta = 7 - 8$ arasında değerlere sahip olan polimerler $\delta = 12 - 14$ arasında değerlere sahip sıvılarda çözünmezler, aynı zamanda $\delta = 10 - 12$ arasında olan polimerler de $\delta = 6-8$ arasında değerleri olan sıvılarda çözünmezler. Bu nedenle çözücüler δ değerinin ortasında değerlere sahip olan sıvılar arasında aranmalıdır (Altay, 2010; Tanrıverdi, 2007).

2.4 İletkenlik

Bir malzemenin ısı ve elektriği iletip iletmemesi olayına iletkenlik denir. Katı ve sıvılarda ayırt edici, gazlarda ayırt edici bir özellik değildir.

İletkenlik bir maddenin üzerinden geçen elektrik akımına karşılık, o maddenin elektrik akımına gösterdiği kolaylık olarak da tanımlanabilir. Öyleyse; maddeden elektrik akımı ne kadar kolay geçerse yani direnci ne kadar az ise o madde o kadar iyi iletkenidir.

Maddelerde Elektrik İletkenliği

1- Maddelerde elektrik iletkenliği elektron hareketi ile olur. Birinci sınıf iletkenlik olarak adlandırılan bu iletkenlik türü metallerde ve alaşımlarda görülür. Bu maddeler katı, sıvı ve gaz hallerin hepsinde iletken özellik gösterirler.

2- İyonların hareketi (göçü) ile olur. İkinci sınıf iletkenlik olarak adlandırılan bu iletkenlik türü asit, baz ve tuzların sulu çözeltilerinde görülür.

İletkenliğe Etki Eden Faktörler

- 1- Sıcaklık
- 2- Bağ kuvveti
- 3- İletkenin boyu
- 4- İletkenin kesit alanı
- 5- İletkenin cinsi

Elektriksel Direnç Ölçümü

Tekstil sektöründe elektriksel direnç ölçümünde, farklı teknikler ve farklı cihazlar kullanılmaktadır. Tekstil ürünlerinde, genellikle direnç ölçümü, dört uç tekniği ve iki nokta tekniği ile gerçekleştirilmektedir (Çelik Bedeloğlu, Sünter ve Bozkurt, 2017).

İki nokta tekniği: Malzemelerin öz dirençlerini belirleyebilmek için örnek içerisinde bir elektrik alan oluşturacak bir güç kaynağı gerekmektedir. Bu elektrik alan sebebiyle örneğin içinde oluşan I elektrik akımının büyüklüğünün ve keyfi seçilen herhangi iki nokta arasında meydana gelen V potansiyel düşmesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda maddenin gereken elektrik direnci, maddenin üzerinden geçen I akımı ve bu I akımının oluşturduğu V geriliminin oranı ile bulunur. Geometrik özellikleri bilinen homojen bir numunenin öz direnci aşağıdaki şekilde verilir.

$$\rho = \frac{V}{l} G \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'de G gösterimi numunenin boyutlarını yani yüzey geometrik sınırları ve kalınlığını, elektriksel kontakların numune üzerindeki konumunu ve diziliş düzenini içeren bir fonksiyondur ve “Geometrik Düzeltme Katsayısı/Faktörü” RCF olarak tanımlanır.

İki nokta iletkenlik ölçümü ile elde edilen toplam direnç (R_{Toplam}) değeri numune direnci ile birlikte ek dirençleri de içerir. Bu ek dirençler iletken telin direnci (R_{tel}), numuneye akımı aktaran iletken uçların direnci (R_{prop}), bağlantı ucu ve numune temas noktasındaki ara yüzeyin direnci ve eğer gerekli halde kullanılmışsa bağlantı uçlarını numuneye tutturun iletken lehimin (pasta) direncinin (R_{pasta}) toplamıdır. Bu sebeple numunenin bu yöntem kullanılarak belirlenen ρ öz direnci gerçek değerden daha yüksek bir değerdedir (Şat,2010 sf.46-48).

Dört nokta tekniği:

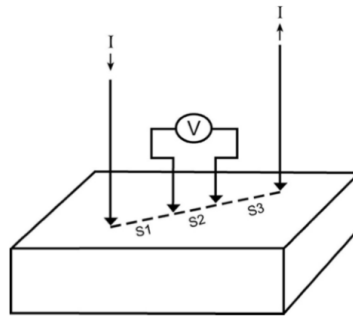
Düzenegi Şekil 2.10'da verilen dört nokta yönteminde, dış iki uçtan akım gönderilir İç kısımdaki iki uç ile potansiyel fark ölçülür ve bu malzemenin öz direnci (2.3) bağıntısı ile bulunur.

$$\rho = \frac{2\pi \frac{V}{I}}{\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_3} - \left(\frac{1}{S_1 + S_2}\right) - \left(\frac{1}{S_2 + S_3}\right)} \quad (2.3)$$

Bu yöntemin pratikte kullanımında uçlar arasındaki mesafeler eşit olacak şekilde yerleştirilirler. Uçlar arası mesafeler eşit olursa öz direnç (2.4) bağıntısı ile bulunur.

$$\rho = 2\pi S \frac{V}{I} \quad (2.4)$$

(S: uçlar arasındaki mesafe, V: potansiyel, I: akım, ρ : öz direnç) (Ekici, 2012)



Şekil 2.10: Dört nokta tekniği.

Elektriksel direnç ölçümünde kullanılan bazı cihazlar aşağıdadır:

Keithley marka direnç ölçüm cihazı, Fluke marka direnç ölçüm cihazı, Metrisko marka ölçüm cihazları...

2.5 İletken Polimerler

Sentetik polimerler uzun yıllardır yalıtkan olarak bilinmektedir. Plastik malzemeler, bu yalıtkan özelliği sayesinde birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu bakış açısı, yeni keşfedilen ve kendine özgü iletkenliği olan elektroaktif polimerlerle birlikte çok hızlı bir şekilde değişmiştir (Kulak Taştemürlü, 2010). 1977 yılında poliasetilenin (PA) iyot ile kimyasal reaksiyonu sonucu, yalıtkan olan PA'nın 104 S/cm üzerinde bir iletkenlik değerine sahip iletken bir malzemeye dönüştürülmesinden itibaren pek çok iletken polimer geliştirilmiştir (Köse, 2015).

İki tip iletken polimerden söz edilebilir. **Birinci tür polimerler** karbon siyahı, metal tabakaları ve metal fiberleri gibi iletken dolgu maddeleri ile birleştirilmiş polimerleri içerir ve bunların çoğu ticari polimerler olarak kullanılırlar. **İkinci tür polimerler** ise kendiliğinden iletken polimerler olup, kimyasal yapıları nedeniyle kendi molekül zincirleri boyunca elektriği dağıtabilen veya iletebilen polimerlerdir (Yılmaz, 2010).

İletken polimerler metaller ve yalıtkanlar arası bir iletkenliğe sahip polimerlerdir. Metaller ve yarı iletkenlerde doğal olarak var olmayan bazı malzeme özellikleri iletken polimerlerle kazanıldığı için iletken polimerler genellikle sentetik metal veya organik metal olarak da isimlendirilmektedir.

İletken polimerleri, diğer polimerlerden ayıran temel özellik, sırayla değişen tek ve çift bağlardan oluşan konjuge zincir yapısına sahip olmaları ve yapılarındaki uzun konjuge çift bağlı zincirler nedeniyle iletkenlik özelliğine sahip olmalarıdır (Aydın, 2007).

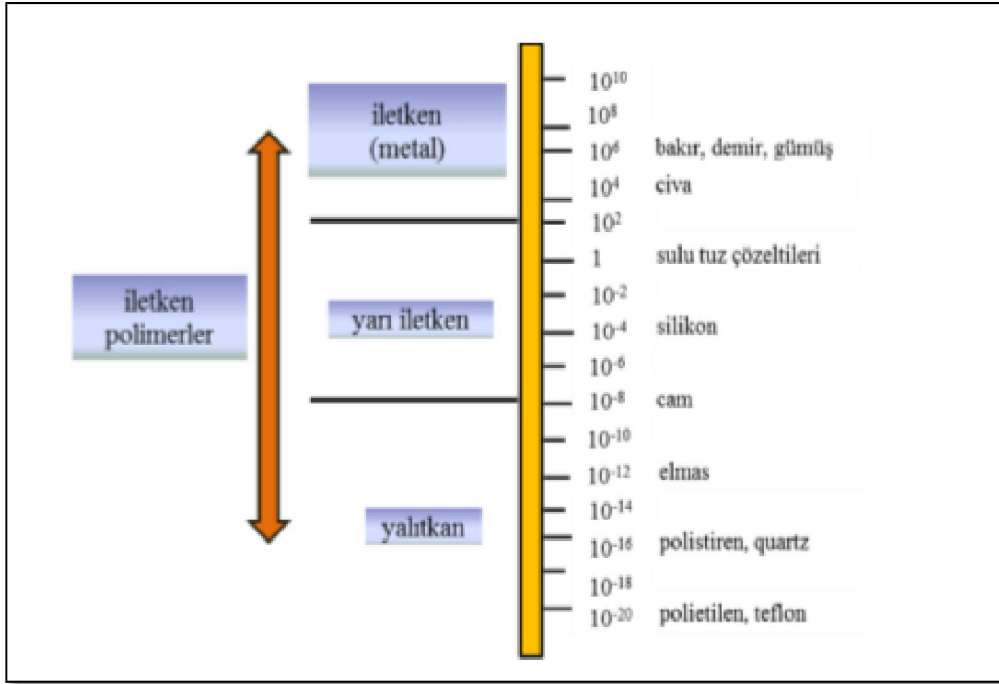
İletken polimer çeşitleri başlıca; poliasetilen (PA), polianilin (PANI), polipiro (PPy), politiyofen (PTP), polifuran (PFu), poli(para-fenilen) (PPP), poli(vinil klorür) (PVC), poliinden (PIn) ve poliindol (PInd) olarak sayılabilir.

Polimer	Yapısı
Poliasetilen	
Polipirol	
Politiyofen	
Poli-parafenilen	
Polianilin	$\left[\left[\text{C}_6\text{H}_4\text{-NH-C}_6\text{H}_4\text{-NH} \right]_y \left[\text{C}_6\text{H}_4\text{-N=C}_6\text{H}_4\text{=N} \right]_{1-y} \right]_n$

Şekil 2.11: Konjuge yapıya sahip bazı iletken polimerler ve kimyasal formülleri.

2.5.1 İletken Polimerlerde İletkenlik

Konjuge yapıya sahip polimerlerde, iletken özellik konjugasyon etkisi ile oluşmaktadır. Kendi örgüsü içerisindeki elektronlarla (elektronik) yeterli düzeyde elektriksel iletkenliği sağlayan polimerler iletken polimerler olarak bilinir. Polimer örgüsünde, elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun yerlerin bulunması polimerlerin elektronik iletkenlik gösterebilmesi için gereklidir. Uzun konjugasyona sahip polimerlerde p orbitallerinin düşey örtüşmeyle π bağları meydana gelir. π bağlarındaki π elektronları metalik iletkenliğe neden olur. Ana zincirinde konjuge çift bağlar bulunan polimerler bu koşulu sağlar. Ancak konjugasyon, iletkenliğin sağlanması için tek başına yeterli değildir ve bazı durumlarda polimerlerin iletkenliğinin doplama işlemi ile artırılması gerekir (Köse, 2010).

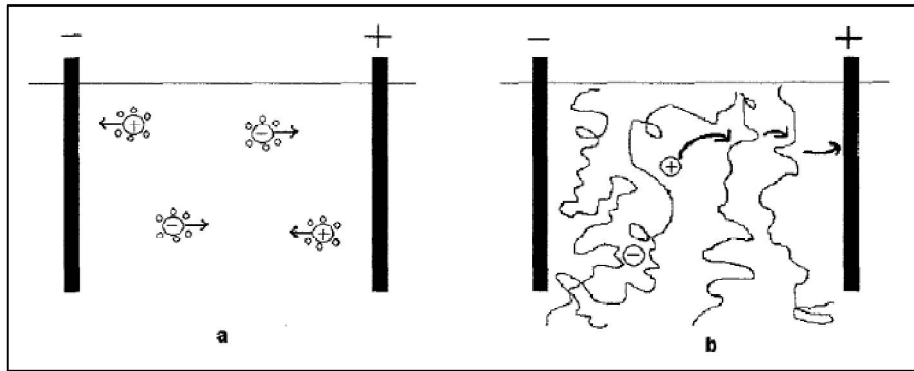


Şekil 2.12: Bazı iletken polimerlerin iletkenlik değerleri.

Sıcaklığın değişmesi termal etkiyle iletkenlik bandından geçen elektronların sayısını değiştirir. Sonuç olarak, yalıtkan ve yarı iletkenlerin elektriksel iletkenliği sıcaklık ile artarken metallerin iletkenlikleri artan sıcaklık ile düşer (Köse, 2015).

2.5.1.1 İletken Polimerlerde İyonik İletkenlik

Tuzlar için katı çözücü olan bazı polimer molekülleri vardır. Elektriksel iletkenlik mekanizması üzerinden ileten polimerler bu özellikten yararlanılarak hazırlanabilmektedir. Suda çözünen sodyum klorür (NaCl)'nin elektriksel iletme mekanizması, bu tür polimerlerdeki iyonik iletkenliği açıklamada kullanılabilir.



Şekil 2.13: Sulu çözeltideki NaCl tuzunun iyonik iletkenliğinin polimerde çözülmüş bir tuzun iyonik iletkenliği ile karşılaştırılması, a) Sulu NaCl çözeltisi, b) Polimerde çözülmüş tuz.

Elektrik NaCl çözeltisi içerisinde Na^+ ve Cl^- iyonlarının elektrik potansiyeli altında karşıt elektrotlara göçmesi iletilir. (Şekil 2.13a) İyonların birbirinden ayrılması ortamdaki çözücü moleküllerin çözünen iki iyonu solvatize etme kabiliyetine göre kolaylaşır. Genelde iyonik iletkenlik gösteren polimerlerin yapısında elektron verici bir grup bulunmaktadır. Polimerin yapısında bulunan bu gruplar tuzun katyonik bileşiği ile zayıf bağlar meydana getirirler. Bunun sonucunda polimer, tuzun iki iyonunu veya bir iyonunun solvatize ederek iyonların kolay ayrılmasını sağlar. İyonlar birbirinden yeterince uzaklaşmadığı sürece iyon çifti olarak kalmayı tercih edeceklerinden yük taşıyıcı olarak görev yapmayacaklardır.

Ancak solvatizasyon ile iyonlar birbirinden yeterince ayrılırsa da uygun elektroda göç etmek için yeterli hareketliliğe sahip değilseler, böyle bir sistem zayıf iletkenlidir. Bu nedenle polimerlerin yeterince esnek olması ve iyon göçüne izin verecek yeterli serbest hacme sahip olması gerekir. Yani, polimerin camsı geçiş sıcaklığı ve kristallik derecesi düşük olmalıdır.

Polimerlerde iyonik iletkenliğin mekanizması tam olarak açıklanamamıştır. Fakat şu şekilde açıklama getirilebilir. Ortamda kullanılan elektrolitin anyon veya katyonlarının her ikisi ya da biri polimer zinciri üzerindeki gruplara zayıf bir şekilde bağlanırsa, bu gruplar polimerin ısı etkisi ile yapacağı eğilip bükülme hareketiyle zincirler arasında taşınacaklardır. Bu taşınma polimer üzerindeki bir grubun bir başka polimer zincirindeki benzer gruba iyon transferi şeklindedir. Eğer ortama elektriksel potansiyel uygulanırsa iyon difüzyonu tek yönde olacaktır. Örneğin, katyon, bir polimer molekülünden diğerine atlayarak katoda doğru göç edecektir (Şekil 2.13b).

Burada iyon difüzyonuna izin veren serbest hacmin, iyon taşınmasındaki önemi ortaya çıkmaktadır. Amorf polimerlerin elektriksel iletkenliğini açıklama ve sıcaklığın yükselmesiyle iletkenliğin artması bu mekanizma ile açıklanmaktadır (Aydın, 2012).

2.5.1.2 İletken Polimerlerde Elektronik İletkenlik

Ana zinciri boyunca yapısında konjuge çift bağlar bulunduran polimerler elektronik iletkenlik gösterebilmektedir. Fakat yüksek seviyede iletkenlik istenildiğinde polimerin yapısında konjuge çift bağların bulunması yeterli görülmemektedir. Polimerin iletkenliği, doping işleminden geçirilerek artırılabilir. Polimerin yapısına elektronlar verilerek polimer örgüsünde artı yüklü boşluklar doping işlemi yardımıyla oluşturulur.

Polimerlerde elektriksel iletkenlik meydana gelen bu boşluklar sayesinde oluşmaktadır. Doping işleminde verilen elektronlar sayesinde artı yüklü boşluklar oluşturacaktır ve bu boşluklara başka bir yerden atlayan elektronlar gelecektir. Bu atlayan elektronların geldiği

yerde de boşluklar meydana gelecektir. Bu proses tüm zincir boyunca sürekli devam ederek elektrik iletkenliği bu şekilde sağlanmaktadır (Adamhasan, 2008).

Elektriği, elektronik yolla ileten PA, PANI, PPy gibi polimerlerde iletkenlik mekanizması henüz tam olarak aydınlatılamamıştır. Elektronik iletkenliğin açıklanmasına yönelik kuramsal yaklaşımlardan birisi band kuramıdır (Aydın, 2012).

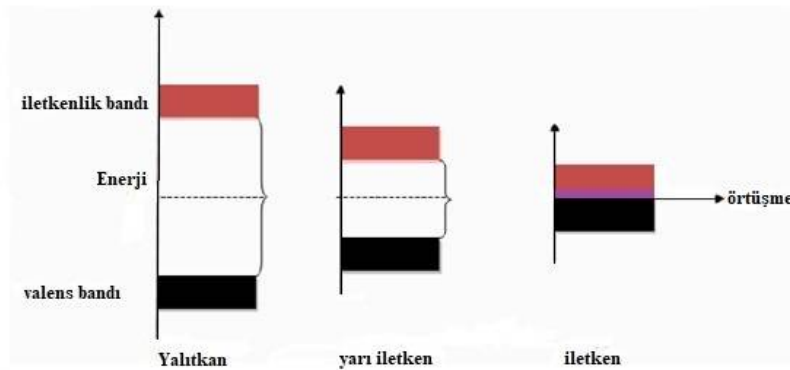
2.5.2 İletken Polimerlerde İletkenlik Teorisi

İletkenlik mekanizması band teorisi, doping prosesi, solition, polaron, bipolaron ve hopping (atlama) olayı ile açıklanabilir (Sarı, 2013).

Maddelerin elektriksel özelliği ve elektronik yapıları en iyi band teorisi ile açıklanır. İletken, yarıiletken ve yalıtkanlarda olduğu gibi organik polimerlerde de iletkenlik band teorisi ile açıklanmaktadır (Şimşek, 2014).

2.5.2.1 Band Teorisi

İletken polimerlerin iletkenlik mekanizması band teorisi ile açıklanmaktadır (Şimşek, 2014). Bu teoride esas olan maddelerdeki valens elektronlarının bulunduğu bant ile boş band arasındaki enerji farklılığıdır. Bu enerjinin büyüklük farklılığı elektronların dolu banttı boş banda geçebilmesine neden olmaktadır. Elektronların sebep olduğu bu hareket maddede iletkenliği sağlamaktadır. Maddelerin yalıtkan, yarıiletken ve iletken özelliği elektronların dolu banttı boş banda geçebilme durumlarına göre oluşmaktadır (Sarı, 2013).

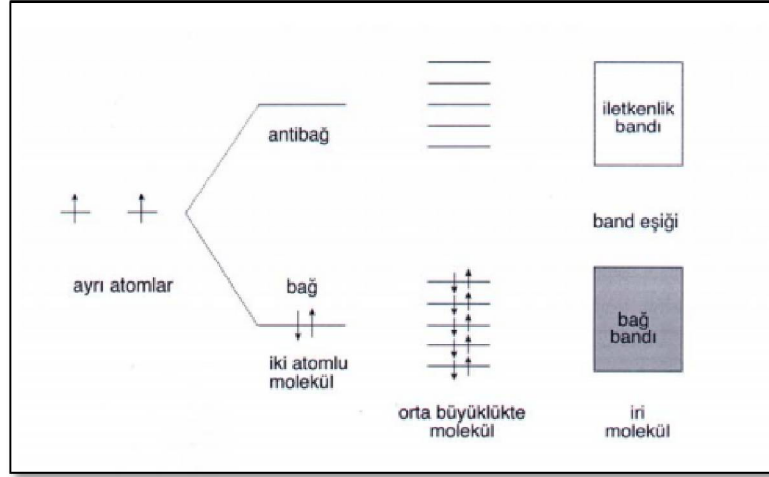


Şekil 2.14: Yalıtkan, yarı iletken ve iletkenlerde enerji band aralığı gösterimi.

Bu teoride en düşük enerjili boş bant iletkenlik bandı (CB) ve en yüksek enerjili dolu band ise değerlik bandı (VB) olarak adlandırılmaktadır. İletkenlik ve değerlik bandları arasındaki enerji farkı ise band boşluğu (E_g) olarak bilinmektedir. Bir materyalin

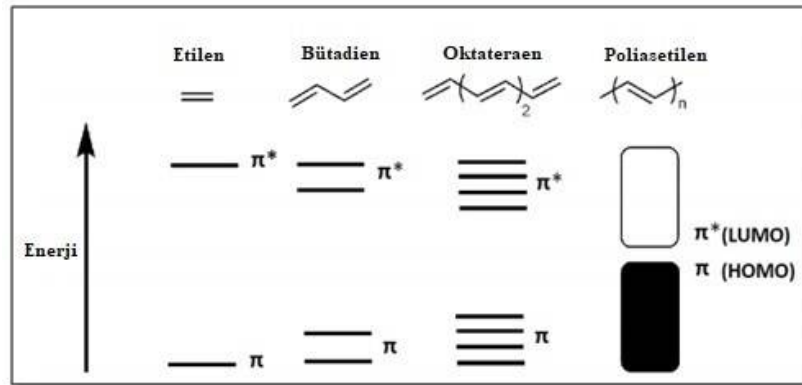
iletkenliği, kısmen dolu olan değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki boşluğun az veya sıfıra yakın olmasına bağlıdır (Sarı, 2013). Band eşik enerjisinin büyüklüğüne göre, maddeler elektriksel iletkenlikleri açısından yalıtkan, yarı-iletken ve iletken şeklinde gruplandırılmaktadırlar. Band teorisinde, bağ enerji düzeyi ve antibağ enerji düzeyi bağ oluşumu sırasında atom orbitallerinin örtüşmesi ile oluşmaktadır (bknz. şekil 2.15) (şimşek, 2014).

Bağ ve anti bağ orbitallerinin sayısı molekül büyüdükçe artar ve enerji düzeyleri arasındaki fark azalır. Valens bandı içerisinde bulunan elektronlar kolayca yerlerini değiştirerek band içerisinde hareket edebilirler. Yüzlerce, binlerce atom bulunan yüksek mol kütleli polimerlerde molekül orbitallerinin sayısı oldukça fazladır (Adıyaman, 2013).



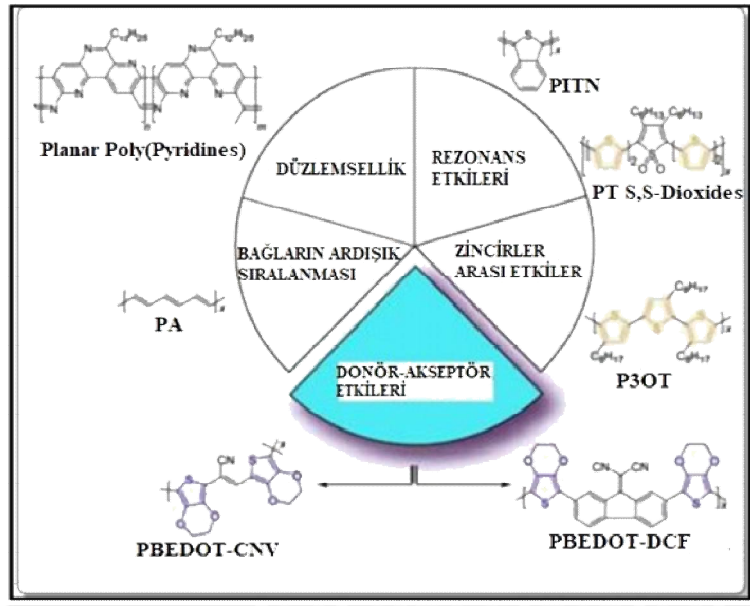
şekil 2.15: Anti bağ ve bağ enerji düzeyleri.

Konjuge polimerlerin band yapısının oluşumu, orbitallerin zincir boyunca tekrarlanması ile olmaktadır. Bu teörinin, konjuge polimerlere uygulanışı, şekil 2.16'da gösterilmektedir (Sarı, 2013).



şekil 2.16: İletken polimerlerde konjugasyonun band boşluğuna etkisi.

Konjuge polimerler yarı iletken malzemeler olarak bilinmektedir. Konjuge polimerlerin iletkenlik davranışları band teorisine göre açıklanmaktadır. Buna göre temel halde konjuge polimerlerin iki farklı enerji bandları vardır. Bu bandlar, en yüksek dolu molekül orbitali (HOMO) ve en düşük boş molekül orbitali (LUMO)dur. Konjuge polimerlerde polimer zincirleri boyunca tekrarlanan konjuge çift bağlar (π konjuge sistemi) artıkça, HOMO ve LUMO durumları arasındaki enerji farkı azalacağından iletkenlikte artış beklenmektedir. Konjuge polimerler için önemli bir parametre olan band aralığı 2,0 eV'den düşük olan polimerler düşük band aralıklı polimerler olarak adlandırılır. Konjuge polimerlerin band boşluğu ayarlanabilir olduğu için farklı band boşluğuna sahip polimerler sentezlenmiştir. Bu nedenle band boşluğuna etki eden faktörlerin bilinmesi önem arz etmektedir. Şekil 2.17'de band boşluğuna etki eden faktörler şematik olarak gösterilmektedir (Doğan, 2016).



Şekil 2.17: Band boşluğuna etki eden faktörlerin şematik gösterimi.

Band boşluğunu etkileyen faktörleri düzlemsellik, konjuge yapı, polimer zincirlerinin rezonans enerjisi, polimer zincirleri arasındaki etkileşim ve donör-akseptör etkileşimleri şeklinde sıralayabiliriz (Şekil 2.17). Tüm bu parametreler değerlendirmeye alınarak çeşitli polimerler sentezlenmiştir.

2.5.2.2 Yalıtkanlar

Maddeler yalıtkan, yarı iletken, iletken olarak band eşik enerjisinin büyüklüğüne göre adlandırılırlar. Yalıtkanlar; bağ bandı enerji seviyeleri bütünüyle elektronlarca dolu

olduğu zaman elektronların tek yöne akımını sağlamak amacıyla ısı ve ışık vasıtasıyla serbest elektronlar oluşturulabilir. Bağ bandının en üst seviyesindeki enerjiye ulaşan elektronlar, band eşiğini atlayarak iletkenlik bandının en alt düzeyindeki enerji seviyesine yerleşirler. Yalıtkanlarda ise band yukarıda bahsedilen geçişe izin vermeyecek kadar geniştir (Adamhasan, 2008).

2.5.2.3 Yarı İletkenler

Yarı iletkenlerde; ısı ve ışık etkisiyle serbest elektronlar iletkenlik bandının en düşük enerji düzeyine geçebilirler çünkü yarı iletkenler; yalıtkanlardan daha düşük olan band eşik enerjisine sahiptirler. Serbest elektronlar iletkenlik bandı içerisinde hareket ederek yük taşıyıcı görevi yapar ve zincir boyunca ilerleyerek artı yüklü yöne doğru yönelir. Bu sırada bağ bandı içerisinde kalan artı yük boşluğu, polimer zinciri üzerinde elektrona ters yönde hareket eder. Elektriği bu yolla ileten maddelere intrinsik maddeler (yarı iletken maddeler) denir (Adamhasan, 2008).

2.5.2.4 Metaller

Çoğu metal atomu değerlik tabakalarında tek elektrona sahiptir. Ayrıca diğer komşu metal atomuyla da kovalent bağ yapmazlar. Bunun sonucu olarak metallerin bağ bandı kısmen dolu, iletkenlik bandı ise boştur. Elektron hareketi için engel oluşturan bir band eşiği de yoktur. Valens bandın düşük enerjili orbitallerinde büyük olasılıkla bulunan metal elektronları ve aynı band içerisinde veya aynı band ile örtüşmüş iletkenlik bandında geçebilecekleri daha üst enerji düzeyli boş alanlar her daim mevcuttur. Elektron iletimi kısmen dolu değerlik ya da iletkenlik bandı üzerinde veya band eşiği geçişiyle kolaylıkla gerçekleşebilmektedir (Adamhasan, 2008).

2.5.3 İletken Polimerlerde Katkılama (Doping Olayı)

Polimerin yükseltgenme ya da indirgenme ile uygun bir molekül ya da atomla etkileştirilerek iletken hale getirilmesi işlemine dop etme denir. Kullanılan molekül ya da atoma ise dopant adı verilir (Adamhasan, 2008).

İletkenlik seviyesi, polimer sentezinde kullanılan dopantın türünden etkilenir (Sarı, 2013). Katkılama yoluyla iletkenlik; polimerlerde değerlik kabuğundaki elektronlar ya yükseltgen bir reaktif ile koparılabilir ve değerlik kabuğu pozitif hale gelir ya da indirgen bir reaktif ile boş iletkenlik bandına bir elektron verilebilir şeklinde özetlenebilir. Bu işlemler, yükseltgenmeye için p-türü katkılama, indirgenme için n-türü katkılama olarak

adlandırılmaktadır. Bu işlemler gerçekleşirken katkılama moleküllerinden hiçbiri polimer atomları ile yer değiştirmez, bu moleküller sadece elektronların enerji kabuklarından geçişlerine yardımcı olurlar. Katkılanma sürecinde, katkı maddesi iletken polimere fiziksel olarak bağlanmaktadır (Şimşek, 2014).

Tablo 2.5: İletken polimerlerin sentezinde kullanılabilen bazı katkı maddeleri.

Katkı Maddesi	Formülü
Anyonik:	
Klorür	Cl^-
Perklorat	ClO_4^-
Tetrafloroborat	BF_4^-
Tos, p-toluen sulfonate	$CH_3-C_6H_4-SO_3^-$
Triflorometan sulfonate	$CF_3SO_3^-$
Hekzaflorofosfat	PF_6^-
PSS, Polistiren sulfonate	$[-CH_2CH(C_6H_4SO_3^-)]_n^-$
Katyonik:	
Proton	H_3O^+
Sodyum	Na^+

PPy, PTP, PA gibi bazı iletken polimerler basitçe doping/dedoping olma yeteneğine sahiptir. Bunların içerisinde PPy çevre koşullarına kararlılığı en iyi olanıdır (Sarı, 2013).

Polimerler aşağıda belirtilen tekniklerle doplanabilirler:

1. Gaz fazında doping,
2. Çözelti ortamında doping,
3. Elektrokimyasal doping,
4. Radyasyon kaynaklı doping,
5. İyon değişimi dopingi (Adıyaman, 2013)

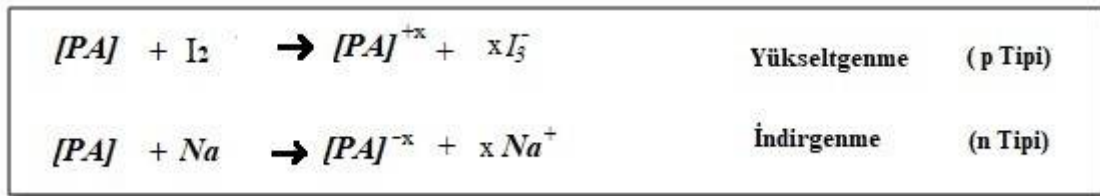
Bu tekniklerden ilk üç madde maliyeti az olduğundan tercih edilmektedir. Gaz fazında doping işleminde, polimerler vakum altında dopantın buharına maruz bırakılır. Çözelti ortamında doping işlemi ise; doping maddesinin çözünebildiği bir çözücünün kullanılması ile gerçekleştirilebilir (Köse, 2015).

Tablo 2.6: Dop edilmiş bazı iletken polimerlerin yapıları ve doping maddeleri.

Polimer	Tekrarlanan birim	Doping maddeleri	Renk	
			Doyurulmamış	Doyurulmuş
Poliasetilen(trans) (PA)		I ₂ , Br ₂ , Li, Na, AsF ₅		
Polipirol (PPy)		BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , Cl ⁻ , tosilat	sarı-yeşil	mavi-siyah
Politiyofen (PTP)		BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , Cl ⁻ , tosilat, FClO ₄ ⁻	kırmızı	mavi
Poliparafenilen (PPP)		AsF ₅ , Li, K		
Polianilin (PANI)		HCl, asitler	mavi	yeşil
Poli(parafenilen vinilen) (PPV)		AsF ₅		
Polifenilen sulfid (PPS)		AsF ₅		

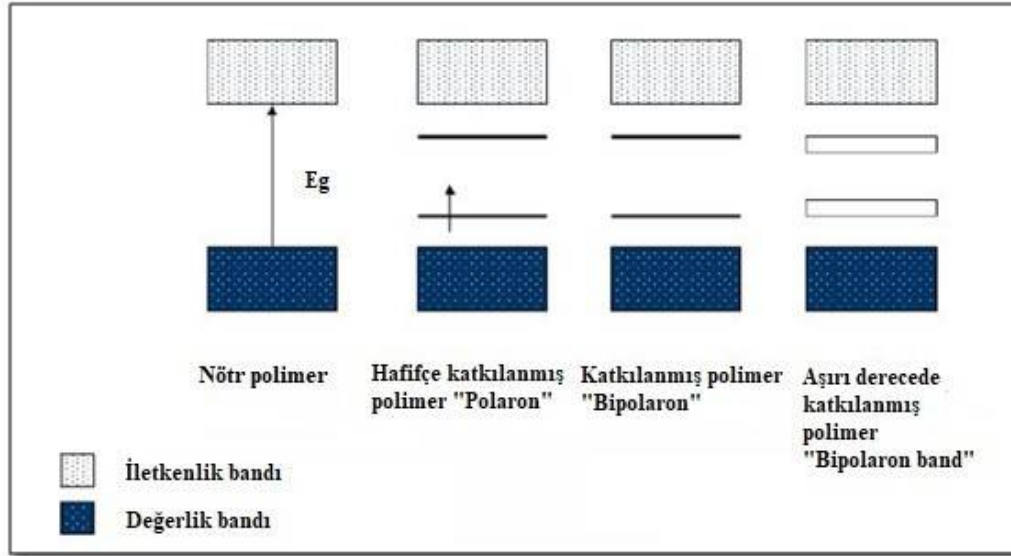
2.5.4 Soliton, Polaron ve Bipolaron Oluşumu

İletken polimerlerin iletkenlik mekanizmasını daha iyi anlamak için soliton, polaron ve bipolaron kavramlarını bilmek gerekir (Aydın, 2007). Konjuge zincirler ve zincirler içindeki yük transferi, konjugasyon hataları şeklinde isimlendirilmektedir. Bu konjugasyon hataları solitonlar ve polaronlardır (Sarı, 2013). Katkılama bitiminde öncelikle çift bağ kırılır. Bunu elektronun polimer zincirinden yükleyene transferi veya polimer zincirine elektron eklemesi takip eder. Yükseltgenmeye karşılık gelen proses p-tipi doping, indirgenmeye karşılık gelen n-tipi doping olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.18: PA zincirinin polaron veya soliton olarak adlandırılan bir kation veya anyon radikalinin oluşumu.

Aynı zincir üzerine ikinci bir elektron eklenmesiyle çiftleşmemiş elektron içeren bipolaron (negatif bisoliton) yapısı, pozitif polarondan bir elektron koparılması işlemi ile de bipolaron (pozitifbisoliton) yapısı meydana gelir (Yılmaz, 2010).



Şekil 2.19: Polimerlerde katkılama ile oluşan bandların şematik gösterimi.

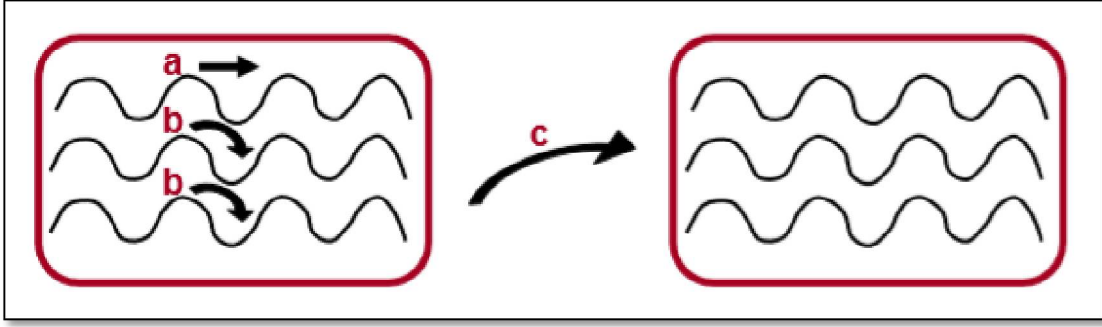
Bipolaron çiftleşmemiş elektron içermez, fakat band aralığında bulunan elektronlar, iletkenlik bandıyla kendileri arasındaki düşük enerji seviyesini kolayca atlayarak iletkenlik bandına geçebilirler. Bu sayede iletkenlik, serbest elektronlara gereksinim duymadan sağlanır (Köse, 2015).

2.5.5 İletken Polimerlerde Atlama (Hopping) Olayı

İletken polimerlerde, iletkenliğin sebebi sadece uzun konjuge zincirlerin varlığından kaynaklanmadığı bilinmektedir. Polimer zincirinde elektronik yükün hareketini açıklayan atlama (hopping) denilen başka bir faktörün rol oynadığı belirlenmiştir.

Polimer zincirinde elektronik yükün hareketi;

- a) Kristal bir yapıda zincir üzerinde
- b) Kristal bir yapıda zincirden zincire
- c) Amorf bir bölgede zincirden zincire



Şekil 2.20: a) Zincir üzerinde yükün taşınması b) Zincirler arasında yükün taşınması c)Partiküller arasında yükün taşınması.

2.6 İletken Polimerlerin Sentezi

İletken polimerler aşağıdaki tekniklerle sentezlenebilirler:

- 1- Kimyasal polimerleşme
- 2- Elektrokimyasal polimerleşme
- 3- Fotokimyasal polimerleşme
- 4- Emülsiyon polimerleşmesi
- 5- Piroliz (Adıyaman, 2013)

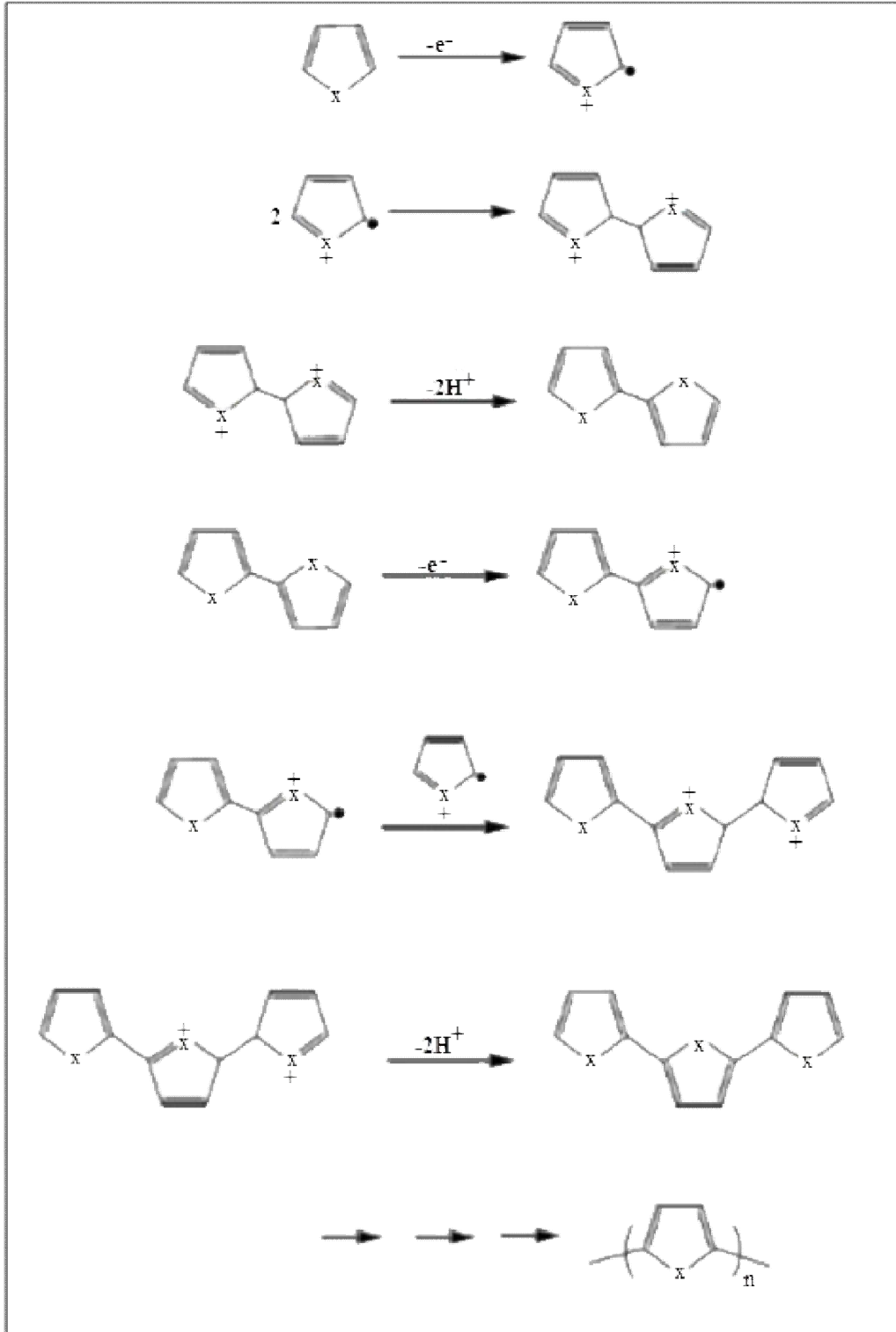
2.6.1 Kimyasal Polimerleşme

Kimyasal polimerleşme; iletken polimer sentezinde en çok tercih edilen yöntemdir. Kimyasal yöntemde; monomer uygun bir çözücüde çözünür. Katalizör varlığında bir yükseltgenme veya indirgenme aracı (asit, baz veya tuz) kullanılarak polimerleşme gerçekleştirilir. Elde edilen polimer çeşitli yöntemlerle saflaştırılır. İletken polimer elde edilmiş olur.

Bu yöntemde, istenilen miktarda ve uygun maliyetli ürün elde edilir. Ancak; yükseltgenme basamağı kontrol edilemez. Uygun katkılama maddesinin kullanılması da oldukça önem teşkil etmektedir. Sebebi; bazı katkı maddeleri sentezlenen polimer için beklenen iletkenliği vermeyebilir. Bazı çalışmalarda katalizör kullanılmadan da yüksek iletkenlik elde edilmiştir (Kulak Taştemürlü, 2010).

Çözücü olarak metanol, doping maddesi olarak $FeCl_3$ kullanılarak pirol kimyasal sentezi gerçekleştirilmiş ve yapılan ölçümler sonucu iletkenlik değeri 190 S/cm ölçülmüştür (Şimşek, 2014). Çözeltinin tamamında gerçekleşen kimyasal polimerizasyon sonucu elde edilen polimerler genel olarak çözünmeyen katılar fazında çökerler. Kimyasal oksidatif

polimerizasyon çoğu zaman polimerizasyon çözeltisinin renginin renksizden koyu bir renge dönüşmesiyle gözlemlenir (Coşkun, 2009).

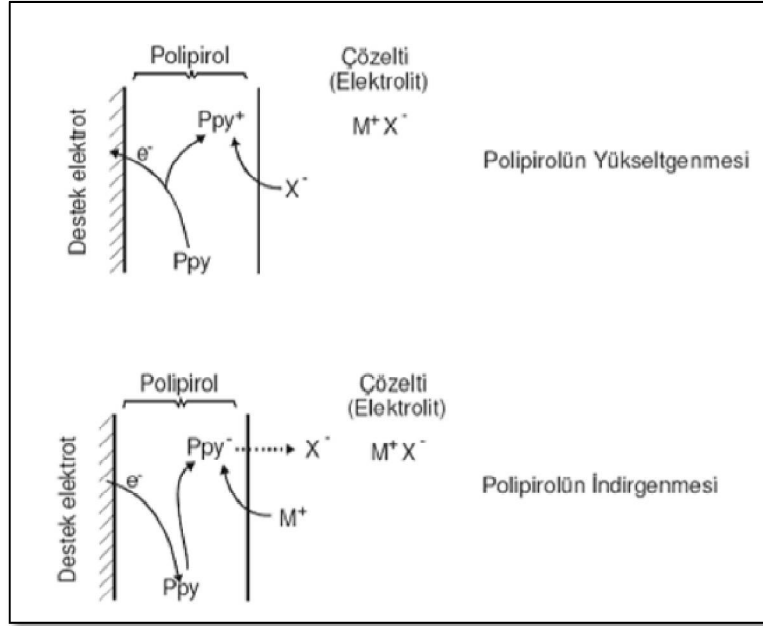


Şekil 2.21: Beş halkalı heterosiklik monomerlerin kimyasal polimerizasyon mekanizması (X= NH, S, O).

2.6.2 Elektrokimyasal Polimerleşme

Genel olarak elektrolit hücre içerisinde, elektrot yüzeyinde elektro aktif polimer filmleri hazırlanarak yapılan polimerizasyon elektrokimyasal polimerizasyondur. Elektrokimyasal hücre içerisinde çalışma, referans ve yardımcı elektrot sistemi, monomer çözeltisi ve elektrolit mevcuttur. Elektrolit hücre içerisinde malzemenin indirgenmesi ya da yükseltgenmesi ile anyon, katyon ya da radikal oluşumu önemlidir. Elektrokimyasal polimerizasyon yönteminde ise monomerin yükseltgenmesi için gereken potansiyelin döngüsel voltametri (CV) veya sisteme sabit potansiyel ya da sabit akım verilmesi ile gerçekleşir. Polimerizasyon döngüsel elektrokimyasal hücre içerisinde voltametri tekniği kullanılarak elektrokimyasal hücrede gerçekleştirilir. Elektropolimerizasyonun birinci basamağı monomerin yükseltgenerek radikal katyonu meydana getirmesidir. Bir sonraki adımda ise radikal katyonları bir araya gelerek polimer zincirlerini meydana getirirler. Bu yöntem yardımıyla polimer film kalınlığı ve morfolojisi kontrol edilebilir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantajı, basit hızlı olması ve düşük miktarlarda monomerin yeterli olmasıdır. Elektrokimyasal polimerizasyonda önemli parametreler şöyle sıralanabilir: elektrot seçimi, çözücü ve destek elektrolit etkisi (Doğan, 2016).

Endüstride kimyasal yöntem tercih edilmesinin sebebi; yüksek verim ve düşük maliyettir. Fakat kimyasal polimerleşme sonucu oluşan ürün, birtakım safsızlık barındırır. Oysa elektrokimyasal yöntemde oluşan ürün safsızlık içermemektedir. Elektrokimyasal polimerizasyonun tercih edilmesinin en önemli nedenleri kontrollü film kalınlığı ve morfolojisi, homojen polimerlerin elde edilmesidir. Bununla birlikte; polimerizasyonun oda sıcaklığında gerçekleştirilebilmesi, elektrot yüzeyinde polimerik numune oluşumu, polimerizasyonun eş zamanlı yürümesi, istenilen dopantın kullanılabilmesi ve potansiyel kontrolü ile kopolimer oluşumuna olanak vermesi elektrokimyasal yöntemin tercih edilmesinde etkilidir (Yılmaz, 2010).



Şekil 2.22: Bir PPy filminin elektrokimyasal olarak indirgenmesi ve yükseltgenmesine ait şematik gösterim.

2.6.3 Fotokimyasal Polimerleşme

Ortamda güneş ışığı gibi foto başlatıcıların olması esasına dayanan fotokimyasal polimerizasyon yöntemi ile iletken polimer elde edilebilir. Örnek olarak; yapılan bir çalışmada pirolün fotokimyasal polimerizasyonu rutenyum (II) foto başlatıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Dağ, 2010).

2.6.4 Emülsiyon Polimerleşmesi

Emülsiyon polimerizasyonda iki faz bulunmaktadır ve bu iki faz birbiri ile karışmaz. Monomer fazı dağıtıcı faz içinde emülsiyon şeklinde dağıtılmıştır. Monomer fazı dağıtma fazı içinde, emülsiyon halde kararlı olarak türlü emülsiyon yapıcı maddeler kullanılarak tutulur. Emülsiyon ortamı olarak genel olarak su kullanılan emülsiyon polimerizasyonunda, monomer emülsiyon yapıcı bir madde aracılığıyla bu ortamda dağıtılır. Polimerizasyon başlatıcısı olarak suda çözünen bir madde kullanılır ve bu madde serbest radikalleri oluşturur.

Emülsiyon yapıcı bünyesinde hidrofil ve hidrofob gruplar barındıran aktif bir maddedir. Monomerin az bir kısmı misellerin içine yerleşir, büyük bir kısmı ise monomer damlacıkları şeklinde dağılır. Serbest bir radikalın misel içinde difüzyonu ile misel aktifleşir ve polimerizasyon başlar. Damlacıklardan difüzyon yoluyla geçen monomer sayesinde polimer taneciklerini sürekli olarak beslenir. Polimer tanecikleri büyürken monomer

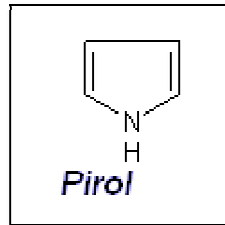
damlacıkları küçülür. Monomer damlacıkları polimerleşme %50-80 ilerlediğinde tükenirken geriye kalan monomerlerin tamamı polimer tanecikleri içinde mevcuttur. Emülsiyon polimerizasyonu yöntemi kullanılarak da iletken polimerler sentezlemek mümkündür. Bu yöntemde monomer, apolar veya zayıf polar bir çözücü ve asidik bir tuz, emülsiyon oluşturan DBSA gibi bir yüzey aktif madde ile eş zamanlı olarak karıştırılmakta ve belli sıcaklık, süre sonunda viskoz bir emülsiyon meydana gelmektedir. Oluşan emülsiyon çöktürülerek saflaştırılmakta bu sayede iletken polimerler elde edilmektedir (Adıyaman, 2013).

2.6.5 Piroliz

İletken polimer sentezinde kullanılan en eski yöntemden biri olan piroliz yöntemin esası, oksijen olmayan ortamda ısı verilen polimerin yapısında yer alan heteroatomların (halojenler, oksijenler, azot v.b.) uzaklaştırılarak aromatik yapıların meydana getirilmesidir. Bu yöntemde konjugasyon uzaması yardımıyla yük taşıyıcı hareketliliğini ve oluşturulan serbest radikallerle yük taşıyıcılarının sayısı artırılır. Bu serbest radikaller, anyonik ya da kationik yapıları meydana getirmek için elektron alıcı ya da verici etki sergileyebilirler. Oluşan polimer örneklerin yapısı, piroliz prosesinin gerçekleştiği ortamın koşullarına bağlı olarak değişebilir (Şimşek, 2014).

2.7 Polipirol (PPy)

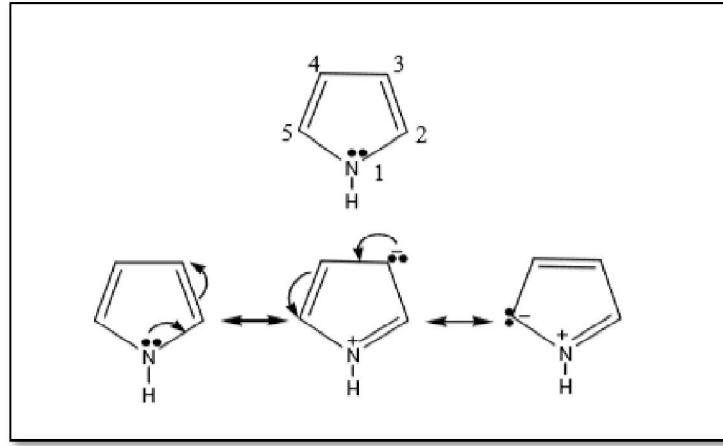
Kaynama noktası 131° C olan bir sıvı, kendine özgü ve hoş olmayan bir kokusu olan pirol; havada kararır; suda az, organik çözücülerde çok çözünmektedir. İlk kez, kemiklerin havasız ortamda ısıtılarak damıtılmasıyla oluşan kırmızı renkli katrandan yalıtılan pirol, taş kömürü katranında ve kemik, boynuz vb. gibi hayvansal artıkların destilasyonundan elde edilen katranlarda bulunur.



Şekil 2.23: Pirolün genel yapısı.

Pirolün kimyasal yükseltgenmesi sonucu oluşan “pirol siyahı” uzun yıllardan beri bilinmektedir (Aydın, 2007).

Pirol siyahı olarak bilinen ve değişik yükseltgen maddeler kullanılarak basit bir şekilde kimyasal olarak polimerleştirilerek elde edilebilen PPy elektrokimyasal olarak ilk defa 1968 yılında sentezlenmiştir. PPy'nin elektropolimerizasyonu ile alakalı ilk makale Diaz ve arkadaşları tarafından 1979'da yapılmıştır. O tarihten bu yana, PPy üzerinde en fazla çalışılan iletken polimer olmuştur (Kızılelma, 2013).



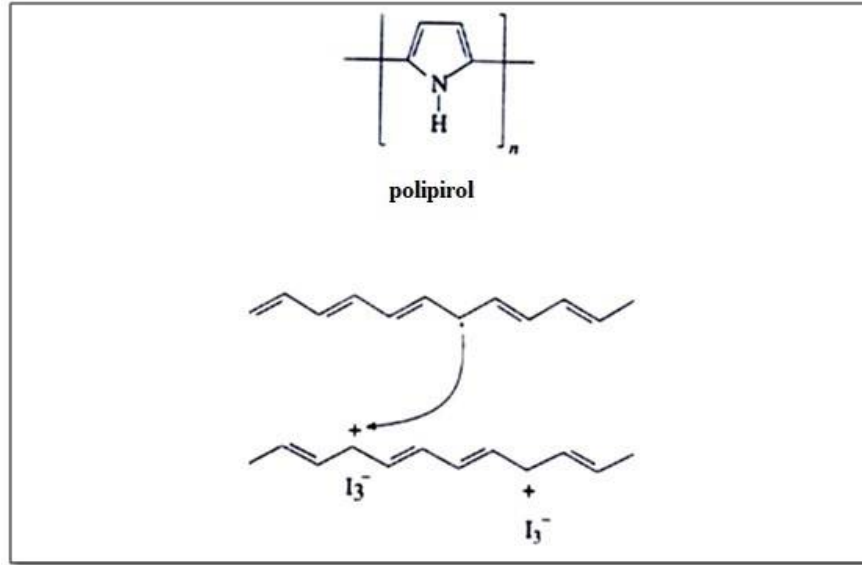
Şekil 2.24: PPy ve rezonans formları.

PPy, elektriksel iletkenliğinin yüksek olmasının yanında iyi çevresel dayanıklılığı sebebiyle özellikle son zamanlarda önemi daha çok artmıştır. PPy'nin hetero aromatik yapısı PPy'e kimyasal dayanıklılık; uzatılmış π -konjuge omurga yapısı ise PPy'e elektriksel iletkenlik sağlar. Fakat; π -konjugasyonu tek başına yüksek iletkenlik elde etmek için yeterli değildir. Nötr PPy'nin iletkenliğini artırmak için, katkılama işlemi uygulanarak yalıtkan seviyeden metalik iletkenlik seviyesine kadar çıkılabilir (Köse, 2015).

Kimyasal veya elektrokimyasal yolla sentezlenebilen PPy önemli iletken polimerlerden biridir. Kimyasal yöntemde, yükseltgen olarak Fe^{+3} kullanılırsa, toz formda PPy elde edilir. Kimyasal yöntemlerle elde edilen toz halindeki PPy erimez ve çözünmezdir bu yüzden PPy'nin işlenmesi söz konusu değildir; sadece presleme gibi yöntemlerle şekillere sokulabilir.

Pirolün sentez yollarından bir diğeri olan elektrokimyasal polimerizasyon ile PPy filmler hazırlanır. Farklı boyutlarda ya da sürekli PPy filmler elde edebilmek için levha ya da tambur şeklindeki elektrotlar kullanılır. PPy filmlerin mekanik özellikleri diğer

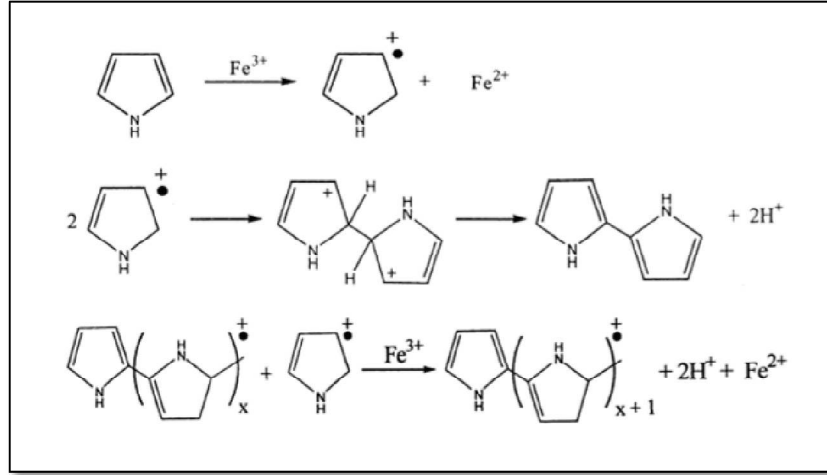
yöntemlerle elde edilen iletken polimerlerden iyidir ve atmosfer koşullarında daha kararlıdır (Köse, 2010).



Şekil 2.25: PPy yapısı ve polimer zinciri boyunca yük atlaması gösterimi.

2.7.1 Polipirolün Kimyasal Sentezi

Kimyasal yükseltgeme yönteminde, kurşun dioksit (PbO_2), kinonlar, $FeCl_3$ veya persülfatlar oksitleme maddesi olarak kullanılır, pirol üzerine eklenir ve dopant, katkılanmış PPy tozun çökmesi ile sonuçlanır. Genel olarak, kimyasal olarak hazırlanan PPy'nin elektriksel iletkenlikleri elektrokimyasal yolla hazırlanan PPy filmlerin iletkenliklerinden biraz daha düşük değere sahiptir. Bu yöntemle sentezlenmiş PPy'ün, kararlılığı, iletkenliği ve morfolojisi reaksiyon koşullarına bağlıdır. Bu reaksiyon koşulları; yükseltgeyici, dopant konsantrasyonu ve türü, polimerizasyon sıcaklığı, süresi, stokiometrisi ve çözücüsüdür. PPy'nin sulu ortamda sentezi için; demirsülfat, sodyum dodesilbensülfonat, sodyum alkilnaftilensülfat, sodyum alkilsülfonat, p-nitrofenol gibi yükseltgeyiciler ve katkı maddeleri kullanılmaktadır. Kimyasal olarak Fe^{3+} gibi bir yükseltgen kullanılır toz formda PPy elde edilir (Kızılelma, 2013).



Şekil 2.26: PPy'nin kimyasal polimerizasyon reaksiyonu.

2.7.2 Polipirolün İletkenliğine Etki Eden Faktörler

Kimyasal polimerizasyon yöntemi kullanılarak PPy polimerleştirilmesi üzerine yapılan çalışmalardan PPy'nin iletkenliğini etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu faktörlerden bazıları; sıcaklık, nem, pH, dopant türü ve derişimi, yükseltgen derişimi, monomer derişimidir. Tepkimeye giren kimyasal derişimleri, polimerizasyon süresi ve dopant türü gibi faktörlerin yüzey direnci üzerinde oldukça etkili olduğu saptanmıştır (Köse, 2015).

a- Sıcaklık

Genel olarak; metal ve metal özellik gösteren maddelerde iletkenlik sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Yalıtkanlarda ise sıcaklık artışı iletkenliği artırmaktadır. PPy'nin iletkenliğinin düşük sıcaklıklarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Demir tuzları düşük sıcaklıklarda (0-5⁰ C) sulu çözeltide en iyi iletkenliği elde etmek için kullanılır (Sayar, 2008). Polimer sentezi sıcaklığı düştükçe PPy iletkenliğinde artış gözlenmektedir. Bu durum yan reaksiyonların sayısındaki azalmaya bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir (Selçuk, 2010).

b- Nem

PPy konsantrasyonun yüksek olması numune yüzeyinin higroskopik özelliklerini artırarak sonucunda ek bir yüzeyel iletkenlik katkısı sağladığı ifade belirtilmiştir (Köse, 2015).

c- pH

Karbon liflerde pirolün elektrokimyasal polimerizasyonu üzerine yapılan bir çalışmada çözeltilerin pH değışimi ile PPy'nin miktarının değışimi, elektro polimerizasyon boyunca yüklerin geçişi incelenmiştir. Çözeltilerin pH'sinin düşmesiyle PPy içeriğinin arttığı gözlenmiştir (Köse, 2015).

d- Pirol Konsantrasyonu (monomer derişiminin etkisi)

Bileşenlerin molar konsantrasyonları, polimerizasyon sıcaklığı ve zaman, yüzeyde biriken polimerin miktarına ve kompozitin iletkenliğini etkilediği bulunmuştur. Fakat bileşenlerin konsantrasyonlarındaki değişimlerin yüzeyin morfolojik özelliklerinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığı gözlemlenmiştir.

PPy içeriğinin iletkenliğe etkisini ölçmek amacıyla, reaksiyon koşulları değiştirilmeden, monomer konsantrasyonu %1 ile %10 arasında hazırlanmış ve PPy miktarında çok az artış ile iletkenlik değerinde önemli ölçüde artış gözlenmiştir (Köse, 2015).

e- Yükseltgen Derişiminin Etkisi

PPy'nin iletkenliğine etki eden önemli bir diğer unsur oksidant etkisidir. Oksidant olarak kullanılan demir tuzlarının konsantrasyonundaki fazla artış PPy'nin iletkenliğinin azalmasına neden olur. Sebebi; bazı ikinci veya yan ürünün kopolimerizasyonudur denebilir (Sayar, 2008).

PPy/PP kompozitinin hazırlanması için yapılan çalışmada yükseltgen olarak FeCl₃ kullanılmıştır. Konsantrasyonunun artmasıyla iletkenliğin arttığı belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmada; aramid/PPy kompozitinin iletkenliğine FeCl₃ konsantrasyonunun etkileri 0°C ve 20°C de yapılan deneylerle araştırılmıştır. Her iki sıcaklıkta da, FeCl₃ konsantrasyonunun yükselmesiyle kompozitin iletkenliğinin yükseldiği gözlenmiştir. Ancak, FeCl₃ konsantrasyonu %15'e ulaştıktan sonra, iletkenlik daha fazla yükselmemiştir (Aydın, 2007).

f- Polimerizasyon Süresinin Etkisi

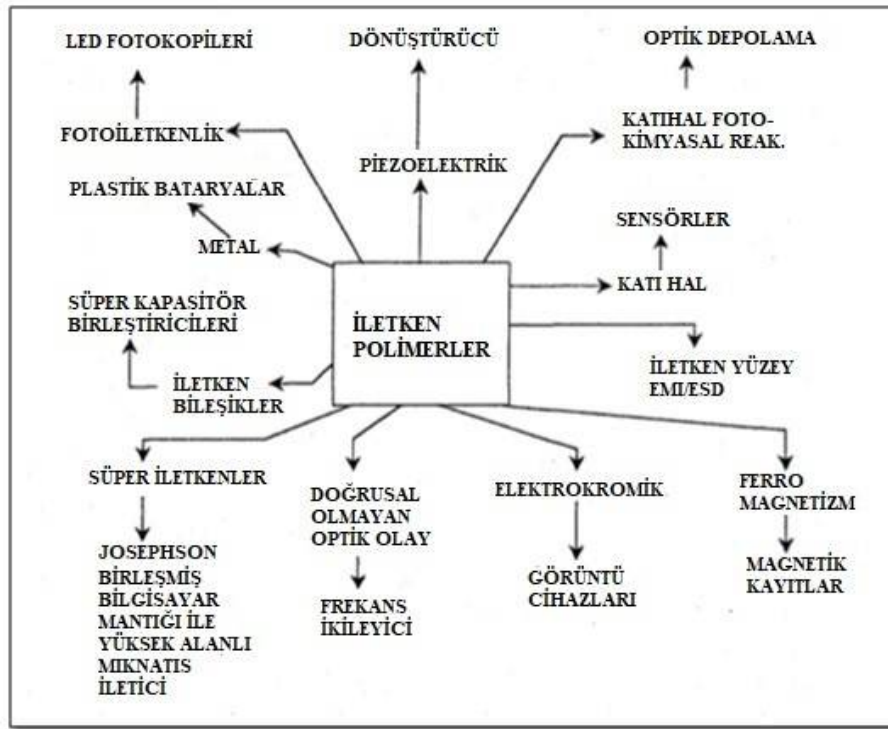
Polimerizasyon süresinin etkisi üzerine yapılan bir çalışmada; zamanına karşı iletkenlik değerlerinin, belirli noktada maksimuma ulaştığı ve daha sonra azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin lifin yükseltgen çözültisinde polimerizasyonun tamamlanmasından uzun zaman durması anilinin (veya pirolün) de doplanmaması ve kimyasal yükseltgen bozunması olarak yorumlanmıştır (Köse, 2015).

g- Çözücü Etkisi

Machida ve çalışma arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada PPy'nin iletkenliği farklı çözücüler kullanarak birbiriyle kıyaslanmıştır. Pirol polimerizasyonunda, su ve alkol gibi gruplardan oluşan çözücülerin kullanılması iletkenliği artıran etmenlerdir. En iyi iletkenlik değeri ise metil alkol kullanımında gözlenmiştir (Sayar, 2008).

2.8 İletken Polimerlerin Kullanım Alanları

İletken polimerler geniş uygulama alanına sahiptir. Yeni ve işlenebilen polimerlerin sentezindeki kimyasal ve fiziksel gelişmeler, bu polimerlerin yeni teknolojik uygulamaları için fırsatları arttırmıştır. İletken polimerlerin olağanüstü özelliklere sahip olması; pirol, tiyofen, anilin ve türevlerinden elde edilen polifenilen ve poli(p-heterosiklinilenler)'in elektrik ve elektronik endüstrisinde metal ve yarı iletkenlerin yerine geçmesini sağlamaktadır. Ayrıca metallerin bir kısmı zehirli ve çevreye zararlıdır. Bu alana özgü teknolojik uygulamalar Şekil 2.27'de görülmektedir.



Şekil 2.27: İletken polimerlerin teknolojik uygulamaları.

İletken polimerler yükseltgenmiş veya indirgenmiş (iletken) durumlarında hem de nötral (yalıtkan) durumlarında kullanım alanına sahiptir. Bunlar özetlenirse; Korozyon önleyici olarak kullanılabilirler. Krom ve kadmiyum gibi anti-korozyon kaplama metalleri çevreye zarar vermektedirler. Korozyon önleyici olarak iletken polimerlerin kullanılması fikri ilk olarak Mac-Diarmin tarafından 1985'te ortaya atılmıştır ve iletken polimerlerin metal yüzeylerini korozyona karşı korumasında başlatılan çalışmalar aynı yılda yayına sunulmuştur. Korozyon önleme çalışmaları daha çok PANI üzerinde yoğunlaşmıştır. Sebebi; teknik uygulamalar göz önünde bulundurulduğunda mekanik ve termal özelliğinin son derece iyi olmasıdır. PANI'nin dışında diğer konjuge polimerlerin de korozyon önleyici özelliği araştırmaları devam etmektedir.

İletken polimerlerden iyonlara duyarlı sensörler geliştirilebilir. İletken polimerlerin yükseltgenme durumlarına bağlı olarak hacim değiştirebilmesi sayesinde iletken polimerler elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirebilirler. Yükseltgenme değişiminin verdiği bu hacim değişimiyle çalışan PA ve PPy tabanlı aktivatörler konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Yapılan bir çalışmada iletken polimer filmleri çeşitli organik maddelerin buharlarına maruz bırakılmıştır. İletken polimer filmlerinin iletkenliklerinde azalmalar gözlenmiştir. Daha sonra tekrar hava ile temasa bırakılan filmlerin iletkenliklerinin tekrar eski değerlerine ulaştığı görülmüştür. İletkenlikte değişimin polimer filminin içerdiği nem miktarındaki değişmeden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Pillerde kullanılmaktadır. Ticari olarak kullanılan iletken polimerler pillerdir. İletken polimerler lityum bazlı yüksek güç yoğunluğuna sahip pillerde kullanıma potansiyeline sahiptir. Bu tür piller lityum ve polimer arasındaki yüksek gerilim farkını kullanarak yüksek güç yoğunluğu elde ederler.

Elektrokromik aygıtlarda kullanılmaktadır. Elektrokromik pencereler iletken polimerlerin en yaygın kullanımınıdır. İletken polimerlerin istenilen özelliğe göre kolaylıkla modifiye edilebilir, maliyetleri düşüktür, çok farklı renklerin eldesine olanak sağlarlar. Bu avantajları nedeni ile polimerik elektrokromik bileşenler literatürde önemli araştırma konusudur. Elektrokromizm bir malzemeye uygulanan gerilim ile izlenilebilen tersinir bir renk değişimi olarak adlandırılmaktadır. Elektrokromizm; iki farklı renk arasında, birden çok renk arasında ve bir renk ile şeffaf hal arasında oluşturulabilir. Son yıllarda ise ilgi birden fazla renk ile şeffaf hal arasında çalışabilen malzemelerin oluşturulması üzerine odaklanmıştır. Fakat ana renklerin tamamını ve şeffaf hali tek bir malzeme birleştirme konusunda yapılan çalışmalar henüz başarıya ulaşamamıştır.

İletken polimerlerin diğer bir uygulama alanı kontrollü salınım uygulamalarıdır. PPy nörolojide, glutamit ve ferrosiyonid gibi çeşitli anyonların kontrollü salınımında biyosensör olarak kullanılmaktadır.

İletken polimerler radar (radyosal yönlendirme) uygulamalarında kullanılır. İletken polimerler, mikrodalgasal ışımanın yarısından fazlasını emer ve bu sinyallerin geri dönmesini engeller. İletken polimerlerin, antenlerdeki radar emicileri, kamuflaj ve diğer tür kalkanlama olarak askeri uygulamaları olarak da kullanılmaktadır.

Işık yayan diyotlar (LED); PPV türevleri ve PTP türevleri kullanılarak yapılmaktadır. 1990 yılında yapılan bir çalışmada Burroughes ve arkadaşları tarafından PPV'nin nötral hali

üzerindeki elektrolüminesans çalışmaları yayımlandıktan sonra bu alanda da kullanımların araştırılmaları devam etmektedir (Şimşek, 2014).

Tekstil malzemeleri; PTP, PANI, PPy esaslı iletken polimerlerle kaplanmaktadır. Ayrıca kendisi iletken olan lifler, bu iletken polimerler veya bunların başka polimerlerle karışımlarından üretilebilmektedir. Araştırmacılar tarafından, PANI ve PPy gibi polimerler, çevresel şartlara dayanıklılığı, yüksek elektriksel iletkenliği ve termal ve kimyasal olarak kararlılığından dolayı daha fazla çalışılmaktadır (Çelik Bedeloğlu vd., 2017).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler

Pirol (C₄H₅N): Merck marka sentez amaçlı pirol herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır (14.41 M).

Demir (III) Klorür Hekzahidrat(FeCl₃·6H₂O): Merck marka sentez amaçlı demir (III) klorür hekzahidrat herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır.

Metil Alkol(CH₃OH): Merck marka analiz amaçlı metil alkol herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır.

Etil Alkol (C₂H₅OH): Teknik etil alkol herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır.

n-Propil Alkol (C₃H₇O): Teknik n-propil alkol herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır.

n-Bütil Alkol (C₄H₁₀): Teknik n-bütil alkol herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır.

Saf su: Ekoloji 100 Plus marka ultra saf su saflaştırma cihazından alınarak kullanılmıştır.

Polipiropilen lif (PP): İşbir Sentetik Dokuma Sanayi A.Ş. tarafından temin edilen 610 denye, bükümsüz koronasız PP lif kullanılmıştır.

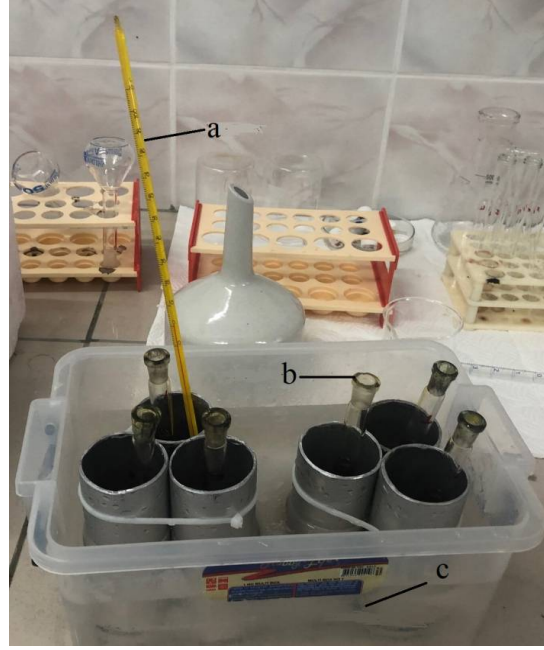
Polyester lif (PET): İşbir Sentetik Dokuma Sanayi A.Ş. tarafından temin edilen 300 denye, bükümsüz koronasız PET lif kullanılmıştır.

3.2 Kullanılan Cihazlar

Polimerizasyon sistemi: Reaksiyonların gerçekleştirilmesinde kullanılan ve Şekil 3.1’de gösterilen termal dengeyi sağlamak amacıyla içerisine ve üzerine buz yerleştirilen bir kap sisteminin sıcaklığını ölçebilmek için 0.1° C hassas bir termometre ve reaksiyon ortamını karıştırabilmek için bir sirkülatör monte edilmiştir.



Şekil 3.1: Polimerizasyon sistemi a) termometre b) buz c) sirkülatör d) polimerizasyon kabı.



Şekil 3.2: Çözelti hazırlama sistemi a) termometre b) çözelti kabı (balon joje) c) su banyosu.

Polimerleşmeyi gerçekleştirmek için hazırlanan çözeltileri de termal dengeye getirebilmek için kullanılan sistem ise Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Reaksiyonların gerçekleştirilmesi için hazırlanan çözeltilerin termal dengesini sağlamak amacıyla içerisine buz yerleştirilen bir plastik kap ve sisteminin sıcaklığını ölçebilmek için 0.1°C hassas bir termometre kullanılmıştır.

Elektriksel Direnç Ölçümü: İletken liflerin elektriksel direnç ölçümleri manyetik alandan etkilenmeden 10^3 - $10^{12}\ \Omega$ ölçüm aralığında **iki nokta tekniği** kullanılarak Metrigo 2000 marka cihaz (Şekil 3.3) ile yapılmıştır. Ölçümler; 25°C ’de 1-2 m uzunluğundaki liflerden 10 cm aralıklarla alınmıştır.



Şekil 3.3: Elektriksel direnç ölçüm cihazı.

Mukavemet Testi: İletken liflerin kopma mukavemeti özellikleri Devotrans marka D.V.T BB4 25BS cihaz (Şekil 3.4) kullanılarak TS 245 EN ISO 2062 standardına göre test edilmiştir. Çene aralığı $500\pm 2\text{ mm}$ ’dir. Çekme hızı 500 mm/dk ’dir.



Şekil 3.4: Çekme Test Cihazı.

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) : PP ve PET liflerin yapıları Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Perkin Elmer Model Spectrum 65 spektrometresi cihazı ATR yöntemi ile incelendi. Spektrumlar $600-3800\text{cm}^{-1}$ tarama aralığında alınmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Perkin elmer spectrum 65 model FTIR cihazı.

Işık Mikroskopu ile Görüntüleme: Kendiliğinden iletken polimer ile kaplanmış liflerin yapıları Olympus marka, BX51 model ışık mikroskobu ile incelenmiştir. Numune fotoğrafları ışık mikroskobunda x40, x100, x200 büyütme oranında çekilmiştir. Test numuneleri temiz bir lam üzerinde hazırlanmıştır.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) : Kendiliğinden iletken polimer ile kaplanmış liflerin termal davranışlarının belirlenmesinde Şekil 3.6'da gösterilen Perkin Elmer Diamond DSC 4000 cihazı kullanılarak azot atmosferinde 2°C 'lik sıcaklık artışları ile $30-200^{\circ}\text{C}$ aralığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6: Perkin elmer diamond DSC 4000 cihazı.

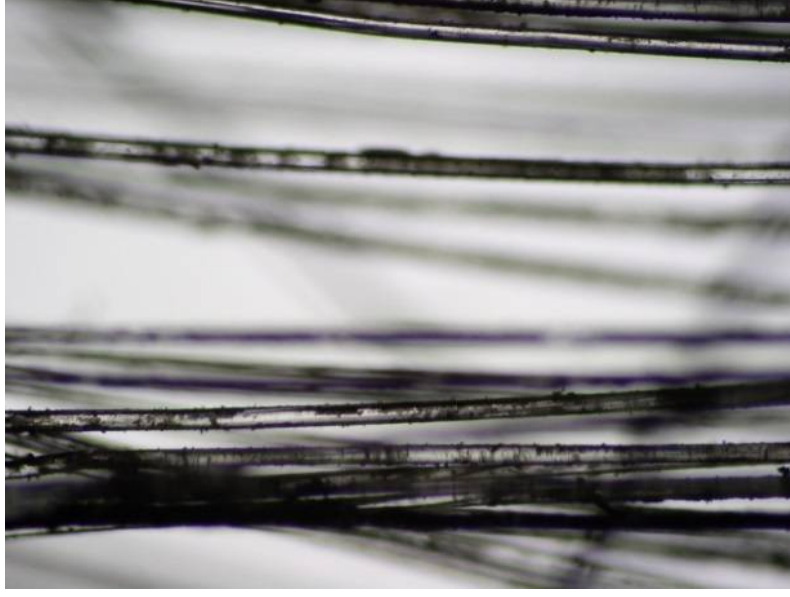
3.3 Polimerizasyon Şartları ve Polimerizasyon Süreçleri

3.3.1 Ön Çalışma

Çalışmalara başlamadan önce kendiliğinden iletken polimer olan PPy sentezi üzerine literatür araştırması yapılmıştır. Literatür araştırması sonucu bulunan makalelerden hareketle deney koşulları belirlenmiştir. Stefánsson (2007)'nin çalışmasında Fe^{+3} çözeltisini su ile 2M olarak hazırlamıştır. Machida, Miyata ve Techagumpuch (1989)'da yayınlamış olduğu makalede reaksiyon sıcaklığı $0-5^{\circ}C$ olarak reaksiyon süresi 20-30 dk olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmaların birçoğunda (Xin Jin, 2011) lifler üzerine Fe^{+3} iyonları adsorbe edilmiş ve daha sonra pirolün polimerizasyonu lifler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda PP lif ile Fe^{+3} iyonları etkileşim olarak uyumsuz olduğundan uyumlandırma için dopant (Dall'Acqua, Varesano, Canetti, Porzio ve Catellani, 2006) korona (Zhen Zheng, 2003; Zheng, 2004) kimyasal aşılama metotları ile yüzeyi aktif etme (Debnath, Ranade, Wunder, Baran, Zhang ve Fisher, 2005) asitle aşındırma metotları (Silverstein ve Breuer, 1993) plazma işleme yöntemi (Lin, Han, Yeh, Chang ve Hsieh 2007; Teodoru, Kusano, Rozlosnik ve Michelsen, 2009) gibi teknikleri kullanmışlardır.

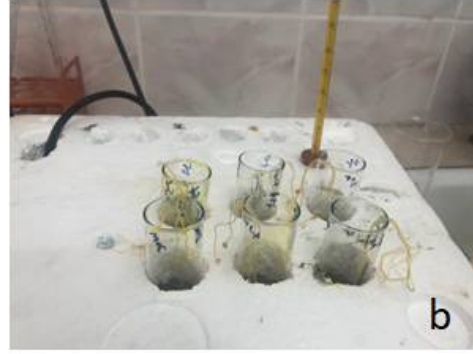
Tez çalışmamızın başında amacımız PP lif üzerinde herhangi bir uyumlandırma metodu kullanmadan kendiliğinden iletken olan PPy sentezi olup süre ilerledikçe elde ettiğimiz veriler bizi üzerinde fonksiyonel grup içeren PET life yönlendirmiştir.

Deney sisteminin kurulması sırasında bazı güçlüklerle karşılaşmıştır. İlk çalışmamızda (PPY1Ç1); lifleri çeşitli konsantrasyonda pirol çözeltisi içeren termal dengeye gelmiş olan balon jöjelere yerleştirirken ve balon jöjelerden çıkartırken zorluk yaşanmıştır. PP lif'in homojen kaplanmadığı gözlenmiştir.(Şekil 3.7)



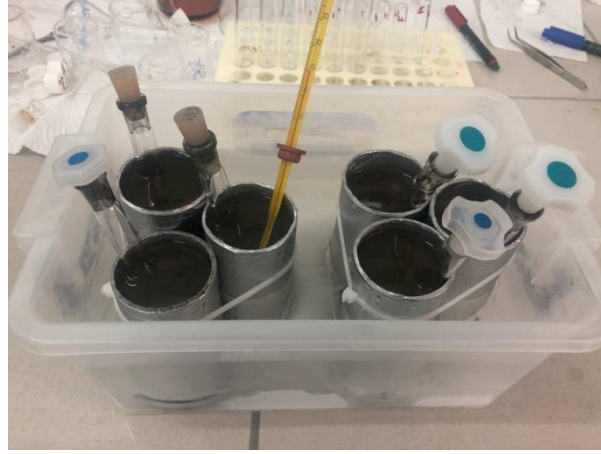
Şekil 3.7: Homojen olmayan PP lifin ışık mikroskop görüntüsü (100x büyütme).

Ayrıca reaksiyon başlama sıcaklığında lifler balon jodelere yerleştirilememiştir. Bu nedenle dar boğazlı balon jode yerine geniş deney tüpleri tercih edilmiştir. (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: a) Balon jodeye yerleştirilen PP lif b) Deney tüpüne yerleştirilen PP lif.

Ayrıca; termal dengeye gelmiş pirol içeren deney tüpleri hazırlamak yerine pirol çözeltileri balon jodelerde hazırlanmıştır. Sıcaklığı sabit tutabilmek amacıyla pirol çözeltileri polimerleşme düzeneği dışında 0-5°C’de termal dengeye getirilmiştir.(Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Pirol çözeltilerini 0-5° C’de termal dengeye getirme düzeneği.

İçerisinde daha önceden 2.0 M Fe⁺³ sulu çözeltisinde bekletilen PP lifleri bulunan deney tüp içerisine çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanmış termal dengeye getirilmiş pirol çözeltileri dökülerek polimerizasyon başlatılmıştır.

Ön çalışmada araştırdığımız konulardan biri de; PPy sentezlemek için kullanılan çözeltileri hazırlarken kullanılacak çözücüü belirlemektir. Literatürde yapılan çalışmalar genellikle çözücünün elde edilen polimerin iletkenliğe etkileri üzerinedir. Machida, Miyata ve Techagumpuch (1989) yapılan çalışmalarda heterojen polimerizasyon sistemlerinde çözücünün fiber üzerine etkilerine rastlanmamıştır. Çözücünün fiber üzerine etkilerini ortaya çıkartabilmek amacıyla; iletken özellik vermek istediğimiz PP lif için bir dizi test yapılmıştır. 5 m uzunluğundaki PP lif üzerini geçecek şekilde metil alkol, etil alkol, n-propil ve n-bütil alkol içerisinde 24 saat beklemeye bırakılmıştır. PP lifler çıkartılıp 1 metrelik parçalara ayrılmıştır. Lifler kurutulduktan sonra liflerin direnç ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.1) ve liflere mekanik test uygulanmıştır (Tablo 3.2).

Metil alkol, etil alkol, n-propil alkol ve n-bütil alkol çözücülerinde bekletilmiş daha sonra kurutulmaya bırakılmış 0-24 saat süre aralığında liflerin mekanik davranışlarında korelasyon değerlerine bakıldığında liflerin mukavemet ve uzaması üzerine anlamlı bir ilişkileri gözlenlenmemiştir (Tablo 3.2). Machida vd., (1989) yılında yapmış olduğu çalışmada da olduğu gibi iletkenliğe en çok arttıran çözücünün metil alkol olması sebebiyle bu çözücü tercih edilmiştir.

Tablo 3.1: Farklı çözücülerde bekletilen PP liflerin farklı süreler sonunda alınan direnç ölçümleri.

t (saat)	Metil alkol	Etil alkol	n-propil alkol	n-bütil alkol
	Direnç (ohm)	Direnç (ohm)	Direnç (ohm)	Direnç (ohm)
0.0	$6.15 \times 10^{+12}$	$7.25 \times 10^{+12}$	$>1.00 \times 10^{+12}$	$2.63 \times 10^{+11}$
0.5	$7.26 \times 10^{+11}$	$6.92 \times 10^{+12}$	$>1.00 \times 10^{+12}$	$>1.00 \times 10^{+12}$
1.0	$3.68 \times 10^{+12}$	$5.78 \times 10^{+11}$	$>1.00 \times 10^{+12}$	$>1.00 \times 10^{+12}$
2.0	$7.41 \times 10^{+12}$	$8.68 \times 10^{+12}$	$>1.00 \times 10^{+12}$	$>1.00 \times 10^{+12}$

İşlem görmemiş PP lif ortalama direnç ölçüm değeri (ohm)= $3.41 \times 10^{+11}$

Tablo 3.2: Farklı çözücülerde bekletilen PP liflerin farklı süreler sonunda yapılmış mekanik test sonuçları.

t (saat)	Metil alkol		Etil alkol		n-propil alkol		n-bütil alkol	
	Mukavemet (kgf)	Uzama (%)	Mukavemet (kgf)	Uzama (%)	Mukavemet (kgf)	Uzama (%)	Mukavemet (kgf)	Uzama (%)
0.0	5.75	21	5.90	20	5.97	19.8	5.89	20.2
0.5	5.26	17.6	6.05	22	6.05	22.2	6.03	20.0
1.0	5.39	16.4	5.66	18.4	6.08	22.8	5.74	20.4
2.0	4.66	12.8	5.34	14.8	6.08	21.8	6.02	19.6
24.0	4.80	14.4	6.03	20.8	6.00	20.0	6.18	22.8
korelasyon	-0.5258	-0.8097	0.3792	0.2614	-0.3546	-0.5159	0.8469	0.9588

İşlem görmemiş PP lif mukavemet (kgf) = 5.82 uzama(%)=22.4

3.3.2 Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar; 2 farklı yöntem kullanılarak, 0-5°C ve oda sıcaklığında (25°C), Fe⁺³ konsantrasyonu 0,0016-2,0 M ve pirol konsantrasyonunun 0,0625-4,0 M olduğu, 20 dakika - 6 günlük geniş aralıklarda gerçekleştirilmiştir.

1.Yöntem:

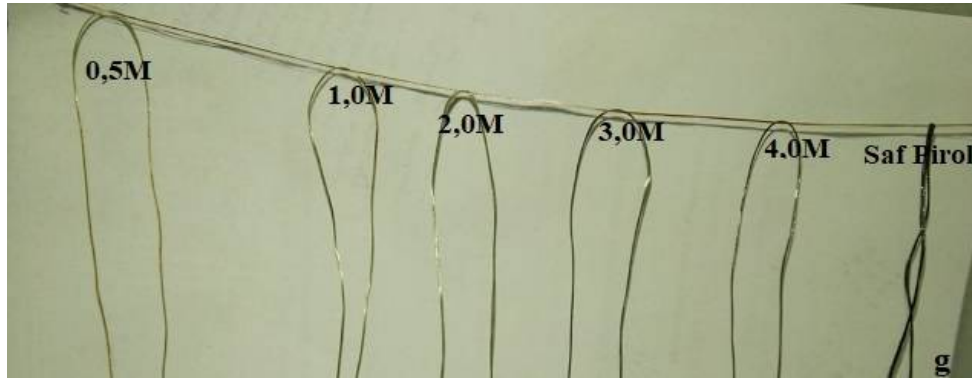
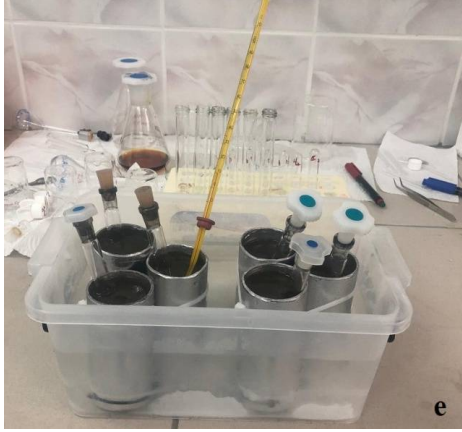
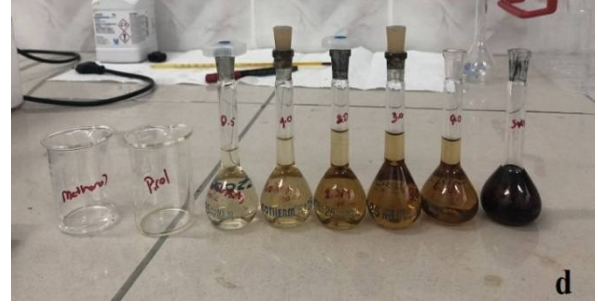
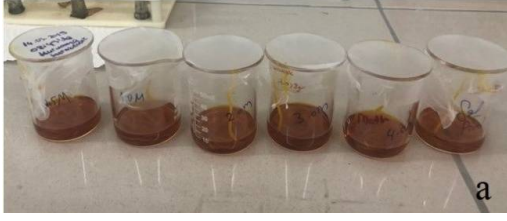
i. 2.0 M FeCl₃ · 6H₂O sulu çözeltisi kullanılarak hazırlanan 2.0 M Fe⁺³ sulu çözeltisinin 50 mL sinde 100 cm lik 6 adet lif 24 saat boyunca oda sıcaklığında bekletildi. Bekleme sırasında beherin ağzı parafilm veya streç film ile kapatıldı (Şekil 3.10a).

ii. 24 saat sonrasında lifler oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı (Şekil 3.10b). Kuruyan lifler termal dengeye getirilmek üzere reaksiyonun gerçekleştirileceği deney tüplerine ayrı ayrı yerleştirildi (Şekil 3.10c).

iii. Monomer olarak kullanılacak olan pirol, saf olarak (14.41M) ve çözücü olarak metanol kullanılarak çeşitli konsantrasyonlarda hazırlandı (Şekil 3.10d). Tüm pirol çözeltileri ve saf pirol reaksiyon şartlarına uygun olarak termal dengeye getirildi (Şekil 3.10e).

iv. ii. anlatıldığı gibi termal dengeye getirilen lifler üzerine iii. de anlatıldığı gibi termal dengeye getirilen pirol çözeltileri deney tüplerine dekante edilerek polimerizasyon başlatıldı (Şekil 3.10f).

v. PPY1Ç1, PPY1Ç2, PPY1Ç3, PETY1Ç4, PETY1Ç5 çalışmalarında 1.yöntem (Tablo 3.3) kullanılmıştır.



Şekil 3.10: 1. Yöntem deneysel çalışmaların aşamaları. a) 2.0 M Fe⁺³ sulu çözeltisinde bekletilen lifler. b) 24 saat sonrasında oda sıcaklığında kurumaya bırakılan lifler. c) Polimerleşme kabı olan 6 adet deney tüplerine ayrı ayrı yerleştirilen lifler. d) Çözücü olarak metanol kullanılarak hazırlanan çeşitli konsantrasyonlarda pirol çözeltileri. e) Termal dengeye getirilmiş pirol çözeltileri. f) Polimerizasyon sistemi. g) Polimerleşme sonrası lifler.

2.Yöntem:

- i. 4.0 M Pirol çözeltisi çözücü olarak metanol kullanılarak hazırlandı (Şekil 3.11a). Lifler 4.0 M Pirol çözeltisi 50 mL beher içine aktarıldı (Şekil 3.11b).
- ii. 6 adet Lifler termal dengeye getirilmiş deney tüpüne ayrı ayrı yerleştirildi (Şekil 3.11c).
- iii. PETY2Ç6, PPY2Ç7 ve PETY2Ç8 çalışmalarında çeşitli konsantrasyonlarda metanolde Fe^{+3} çözeltisi hazırlandı (Şekil 3.11d). PETY2Ç9, PETY2Ç10, PETY2Ç11 ve PETY2Ç12 çalışmalarında ise sadece uygun bir konsantrasyon seçilerek o konsantrasyonda metanolde Fe^{+3} çözeltisi hazırlandı.
- iv. Lifler ve çeşitli konsantrasyonlardaki metanolde Fe^{+3} çözeltileri termal dengeye getirildikten sonra 4.0 M pirol çözeltisi içerisinde daha önceden bekletilmiş ve termal dengede olan lifleri içeren tüplere ilave edildi ve polimerizasyon başlatıldı (Şekil 3.11f). PETY2Ç6, PPY2Ç7, PETY2Ç8, PETY2Ç9, PETY2Ç10, PETY2Ç11, PETY2Ç12 çalışmalarında 2.yöntem (Tablo 3.3) kullanılmıştır. Toplamda 12 adet çalışma yapılmıştır (Tablo 3.3).



Şekil 3.11: 2. Yöntem deneysel çalışmalarının aşamaları. a) 4.0 M Pirel çözeltisi ve lifler. b) 4.0 M Pirel çözeltisi 50 mL beher içinde oda sıcaklığında 24 saat bekletilen lifler. c) Kurutulmadan 6 adet termal dengeye getirilmiş deney tüpüne ayrı ayrı yerleştirilen lifler. d) Çeşitli konsantrasyonlarda Fe^{+3} (metanol) çözeltileri. e) Termal dengeye getirilen çeşitli konsantrasyonlarda Fe^{+3} (metanol) çözeltileri. f) Polimerizasyon sistemi g) Polimerizasyon sonrası liflerin içerisinde olduğu çözeltiler. h) Polimerleşme sonrası lifler.

Tablo 3.3: Deneysel çalışma şartları.

Çalışma No	Çalışma Adı	Lif cinsi	t (°C)	[Fe ⁺³] / M	[Piról] / M	Kullanılan Yöntem
1	PPY1Ç1	PP	0-5	2.0	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 14.41	1. Yöntem
2	PPY1Ç2	PP	0-5	2.0	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 14.41	1. Yöntem
3	PPY1Ç3	PP	0-5	2.0	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 14.41	1. Yöntem
4	PETY1Ç4	PET	0-5	2.0	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 14.41	1. Yöntem
5	PETY1Ç5	PET	0-5	2.0	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 14.41	1. Yöntem
6	PETY2Ç6	PET	---*	1.6x10 ⁻³ 3.2x10 ⁻³ 6.4x10 ⁻³ 1.28 x10 ⁻² 2.56 x10 ⁻² 5.12 x10 ⁻²	4.0	2. Yöntem
7	PPY2Ç7	PP	---*	1.6x10 ⁻³ 3.2x10 ⁻³ 6.4x10 ⁻³ 1.28x10 ⁻² 2.56 x10 ⁻² 5.12 x10 ⁻²	4.0	2. Yöntem
8	PETY2Ç8	PET	---*	2.56x10 ⁻² 5.89x10 ⁻² 1.35x10 ⁻¹ 3.12 x10 ⁻¹ 7.16 x10 ⁻¹ 16.47 x10 ⁻¹	4.0	2. Yöntem
9	PETY2Ç9	PET	0-5	7.16 x10 ⁻¹	4.0	2. Yöntem
10	PETY2Ç10	PET	0-5	7.16 x10 ⁻¹	4.0	2. Yöntem
11	PETY2Ç11	PET	25	7.16 x10 ⁻¹	4.0	2. Yöntem
12	PETY2Ç12	PET	0-5	7.16 x10 ⁻¹	0.0625, 0.125, 0.25, 0.50, 1.00, 2.00, 3.43, 4.00	2. Yöntem

*Polimerizasyon 0-5°C'de başlatılmış oda sıcaklığında devam etmiştir.

3.4 İletkenlik ve Mukavemet Test Sonuçları

3.4.1 PPY1Ç1 Kodlu Çalışma

PPY1Ç1’de 10 cm aralıklarla ~100 cm PP lifin farklı bölgeleri için 7-8 adet direnç ölçümü alındı (Şekil 3.3). Ölçümler 10 cm aralıklarla alındığı için cihazdan okunan değer 10’a bölünerek tabloya işlendi (Tablo 3.4). Daha sonra kaplanmış liflere uygulanan deformasyonun direnç sonuçlarına etkisini gözlemlemek amacıyla 0.0 (hiç işlem görmemiş lif), 0.5 ve 1.0 M pirol kaplanmış PP life mukavemet testi yapıldı (Şekil 3.4) ve sonrasında yeniden ~10 cm aralıklarla direnç ölçümü gerçekleştirildi (Tablo 3.5). 3.0, 4.0 ve 14.41 M pirol kaplanmış PP lifler mukavemet test cihazında %15 uzatıldı ve tekrar ~10 cm aralıklarla direnç ölçümü yukarıda bahsedilen neden ile yapıldı (Tablo 3.6).

Tablo 3.4: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0-5 \text{ } ^\circ C$, süre= 20 -30 dak. PP liflerin polimerizasyonu, değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

Direnç Ölçüm No***	Pirol Konsantrasyon					
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	2.99×10^5	6.23×10^8	5.72×10^{10}	2.21×10^3	1.01×10^5
2	-*	1.35×10^6	-*	-*	1.08×10^5	5.48×10^4
3	-*	9.99×10^5	-*	-*	3.72×10^6	1.29×10^6
4	-*	7.59×10^5	4.05×10^4	-*	1.11×10^5	7.97×10^5
5	-*	1.15×10^5	1.62×10^5	-*	1.65×10^5	6.15×10^5
6	-*	1.03×10^8	3.18×10^4	-*	2.65×10^4	1.35×10^5
7	-*	2.72×10^5	---	-*	5.56×10^4	2.26×10^4
Ortalama	-*	1.53×10^7	1.56×10^8 **	5.72×10^{10} **	5.98×10^5	4.31×10^5
Ortsapma	-*	2.51×10^7	2.34×10^8 **	5.72×10^{10} **	8.92×10^5	4.03×10^5

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.

** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

*** Direnç Ölçüm No; ~10 cm aralıklarla alınan ölçümleri ifade etmektedir. Burada 7 ölçüm olmasının sebebi ipin bir kısmının mekanik test için ayrılmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.5: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0 - 5 ^\circ C$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. 0.0. 0.5 ve 1.0 M pirol ile muamele gören PP liflerin mekanik test sonuçları ve mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test	Pirol konsantrasyonu					
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	6.09	3.75	3.47	X		
Uzama (%)	32	36	20			
Pirol Konsantrasyon						
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	-*	-*	X		
2	-*	-*	-*			
3	-*	-*	-*			
Ortalama	-*	-*	-*			
Ortsapma	-*	-*	-*			

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.

Tablo 3.6: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0 - 5 ^\circ C$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. 3.0. 4.0 ve 14.41 M pirol ile muamele gören PP liflerin mekanik test sırasında %15 uzama sonrası alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
Uzama (%)	X				15	15	15
Pirol konsantrasyonu							
Mekanik Test %15 Uzama Sonrası Direnç Ölçüm No	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	X			-*	1.16×10^6	1.08×10^7
2	-*				-*	2.51×10^5	-*
3	-*				-*	1.51×10^7	1.81×10^6
ortalama	-*				-*	5.50×10^6	$6.31 \times 10^{6**}$
ortsapma	-*				-*	6.40×10^6	$4.50 \times 10^{6**}$

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

3.4.2 PPY1Ç2 Kodlu Çalışma

180 cm PP lif 90 cm'lik iki parçaya kesildi. 90 cm'lik ilk ve ikinci parçaların ayrı ayrı direnç testleri yapıldı (Tablo 3.7). Sonrasında 90 cm'lik ilk parça mekanik teste %20 çekildi ve yeniden direnç ölçüldü (Tablo 3.8).

90 cm'lik ikinci parçaya mekanik test uygulandı. PP lifin kopmuş kısımlarından direnç ölçüldü (Tablo 3.9).

Tablo 3.7: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0 - 5 \text{ }^{\circ}C$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

Pirol konsantrasyonu							
Direnç Ölçüm No***	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	.*	1.62×10^{10}	3.75×10^9	.*	.*	1.96×10^{10}	8.93×10^7
2	.*	1.51×10^9	1.74×10^9	2.72×10^9	.*	.*	8.29×10^7
3	.*	2.07×10^9	7.90×10^8	.*	.*	1.16×10^9	1.81×10^9
4	.*	2.91×10^9	2.73×10^9	1.47×10^{10}	.*	.*	4.88×10^7
5	.*	2.36×10^9	1.50×10^9	.*	1.92×10^{10}	.*	2.50×10^8
6	.*	1.83×10^9	2.09×10^9	---	.*	1.35×10^{10}	8.68×10^7
7	.*	3.60×10^9	3.76×10^9	---	.*	3.87×10^8	8.11×10^7
8	.*	1.71×10^9	1.50×10^9	---	2.72×10^{10}	1.66×10^{10}	2.57×10^8
Ortalama	.*	4.02×10^9	2.23×10^9	8.71×10^9 **	2.32×10^{10} **	1.02×10^{10} **	3.38×10^8
Ortsapma	.*	3.04×10^9	8.86×10^8	5.99×10^9 **	4.00×10^9 **	7.58×10^9 **	3.68×10^8
Pirol konsantrasyonu							
Direnç Ölçüm No****	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	.*	3.33×10^9	.*	2.09×10^{10}	.*	4.70×10^8	4.26×10^8
2	.*	4.24×10^9	8.71×10^9	3.37×10^9	1.48×10^9	1.04×10^{10}	6.12×10^8
3	.*	3.07×10^9	1.88×10^9	2.99×10^9	7.58×10^9	1.46×10^{10}	2.75×10^{10}
4	.*	6.43×10^9	1.91×10^9	1.09×10^{10}	.*	6.02×10^{10}	8.18×10^8
5	.*	2.93×10^9	1.34×10^9	1.32×10^{10}	.*	.*	7.86×10^8
6	.*	---	2.04×10^9	.*	.*	.*	2.59×10^{10}
7	.*	---	1.62×10^9	---	.*	---	2.91×10^8
Ortalama	.*	4.00×10^9	2.92×10^9 **	1.03×10^{10} **	4.53×10^9 **	2.14×10^{10} **	7.95×10^9
Ortsapma	.*	1.07×10^9	1.93×10^9 **	5.67×10^9 **	3.05×10^9 **	1.94×10^{10} **	1.07×10^{10}

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır. *** 90 cm'lik ilk parça PP lif. **** 90 cm'lik ikinci parça PP lif.

Tablo 3.8: $[Fe^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 90 cm'lik ilk parça PP liflerin mekanik test sırasında % 20 uzama sonrası alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test***	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	1.54×10^{10}	-*	7.35×10^{10}	-*	-*	1.09×10^{10}
2	-*	2.26×10^{10}	1.82×10^{10}	7.33×10^9	-*	-*	9.22×10^8
3	-*	1.18×10^{10}	7.95×10^9	-*	-*	-*	1.29×10^8
4	-*	4.17×10^{10}	4.47×10^9	1.18×10^{10}	-*	-*	2.25×10^8
5	-*	-*	1.99×10^{10}	-*	-*	-*	1.63×10^9
6	-*	-*	4.37×10^{10}	---	-*	1.71×10^{10}	3.23×10^{10}
7	-*	---	2.34×10^9	---	-*	-*	---
8	-*	---	4.96×10^9	---	-*	---	---
Ortalama	-*	$2.29 \times 10^{10**}$	$1.45 \times 10^{10**}$	$3.09 \times 10^{10**}$	-*	$1.71 \times 10^{10**}$	7.83×10^9
Ortsapma	-*	$9.41 \times 10^9**$	$1.09 \times 10^{10**}$	$2.84 \times 10^{10**}$	-*	$1.71 \times 10^{10**}$	9.48×10^9

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır. *** %20 Uzama Sonrası Direnç Ölçüm Sayısı.

Tablo 3.9: $[Fe^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 90 cm'lik ikinci parça PP liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	5.79	5.85	5.82	5.85	5.48	5.85	2.62
Uzama (%)	22.6	21.8	19.2	20.4	17.2	20.4	16.0
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	6.67×10^{10}	-*	2.64×10^{10}	7.84×10^{10}	4.08×10^{10}	1.74×10^{10}
2	-*	4.17×10^{10}	4.44×10^{10}	1.57×10^{10}	3.29×10^{10}	3.76×10^{10}	7.84×10^{10}
3	-*	7.18×10^{10}	2.82×10^{10}	3.57×10^{10}	7.65×10^{10}	2.66×10^{10}	9.20×10^{10}
ortalama	-*	6.01×10^{10}	$3.63 \times 10^{10**}$	2.59×10^{10}	6.26×10^{10}	3.50×10^{10}	6.26×10^{10}
ortsapma	-*	1.22×10^{10}	$8.10 \times 10^9**$	6.82×10^9	1.98×10^{10}	5.60×10^9	3.01×10^{10}

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

3.4.3 PPY1Ç3 Kodlu Çalışma

200 cm PP lif 100 cm'lik iki parçaya kesildi. 100 cm'lik ilk ve ikinci parçaların ayrı ayrı direnç testleri yapıldı (Tablo 3.10). Sonrasında 100 cm'lik ilk parça mekanik teste %20 çekildi ve direnç ölçümü gerçekleştirildi (Tablo 3.11).

100 cm'lik ikinci parça mekanik test uygulandı. PP lif' in kopmuş kısımlarından direnç ölçümü gerçekleştirildi (Tablo 3.12). Bu çalışmanın PPY1Ç2 çalışmasından farkı; PP lifi deney tüpüne yerleştirme yöntemidir. PP lifler ince cam çubuklara sarılarak deney tüplerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: İnce cam çubuklara sarılarak içerisinde 2.0 M Fe⁺³ çözeltisi bulunan deney tüplerine yerleştirilen PP lifler.

Tablo 3.10: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ C$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

Pirol konsantrasyonu							
Direnç Ölçüm No***	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	_*	_*	_*	1.27×10^9	8.19×10^{10}	4.44×10^6	_*
2	_*	_*	1.16×10^9	3.09×10^7	_*	1.21×10^4	_*
3	_*	_*	3.00×10^{10}	9.44×10^6	8.58×10^{10}	8.82×10^6	_*
4	_*	_*	_*	1.05×10^6	_*	2.20×10^5	_*
5	_*	_*	_*	1.91×10^7	_*	2.20×10^6	_*
6	_*	_*	_*	8.68×10^6	2.44×10^7	4.93×10^4	_*
7	_*	_*	_*	4.01×10^6	_*	1.32×10^5	_*
8	_*	_*	_*	3.65×10^6	_*	2.41×10^4	_*
Ortalama	_*	_*	$1.56 \times 10^{10} **$	1.68×10^8	$5.59 \times 10^{10} **$	1.99×10^6	_*
Ortsapma	_*	_*	$1.44 \times 10^{10} **$	2.75×10^8	$3.73 \times 10^{10} **$	2.37×10^6	_*
Pirol konsantrasyonu							
Direnç Ölçüm No****	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	_*	_*	_*	7.71×10^5	_*	1.58×10^7	_*
2	_*	_*	9.79×10^7	2.25×10^8	_*	5.75×10^6	_*
3	_*	_*	8.06×10^5	2.61×10^7	_*	2.78×10^8	_*
4	_*	_*	_*	3.33×10^6	_*	3.04×10^6	_*
5	_*	_*	_*	4.25×10^6	_*	5.70×10^5	_*
6	_*	_*	9.02×10^5	2.57×10^7	_*	2.63×10^6	_*
7	_*	_*	---	1.62×10^6	_*	1.10×10^6	_*
8	_*	---	---	5.54×10^6	---	2.77×10^8	_*
Ortalama	_*	_*	$3.32 \times 10^7 **$	3.65×10^7	_*	7.30×10^7	_*
Ortsapma	_*	_*	$4.31 \times 10^7 **$	4.71×10^7	_*	1.02×10^8	_*

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır. *** 100 cm'lik ilk parça PP lif. ****100 cm'lik ikinci parça PP lif.

Tablo 3.11: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0 - 5 \text{ } ^\circ C$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 100 cm'lik ilk parça PP liflerin mekanik test sırasında % 20 uzama sonrası alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test %20 Uzama Sonrası Direnç Ölçüm No	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	-*	-*	1.11×10^7	-*	3.11×10^{10}	-*
2	-*	-*	-*	8.90×10^{10}	2.67×10^6	-*	-*
3	-*	-*	-*	3.29×10^5	-*	-*	-*
4	-*	-*	-*	2.48×10^5	-*	---	-*
5	-*	-*	6.34×10^{10}	1.24×10^6	-*	---	-*
Ortalama	-*	-*	$6.34 \times 10^{10} **$	1.78×10^{10}	$2.67 \times 10^6 **$	$3.11 \times 10^{10} **$	-*
Ortsapma	-*	-*	$6.34 \times 10^{10} **$	2.85×10^{10}	$2.67 \times 10^6 **$	$3.11 \times 10^{10} **$	-*

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

Tablo 3.12: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0 - 5 \text{ } ^\circ C$, süre = 20 - 30 dak. PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 100 cm'lik ikinci parça PP liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	5.79	5.57	6.00	2.21	6.06	6.00	5.48
Uzama (%)	22.6	22	21.6	13.6	23	21.4	19.6
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	-*	-*	9.81×10^9	2.71×10^{10}	3.84×10^6	-*
2	-*	-*	-*	9.73×10^9	9.81×10^6	5.91×10^5	-*
3	-*	-*	-*	5.62×10^9	3.16×10^8	3.94×10^{10}	-*
4	-*	-*	-*	5.91×10^9	5.94×10^{10}	1.25×10^8	-*
Ortalama	-*	-*	-*	7.77×10^9	2.17×10^{10}	9.88×10^9	-*
Ortsapma	-*	-*	-*	2.00×10^9	2.15×10^{10}	1.48×10^{10}	-*

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.

3.4.4 PETY1Ç4 Kodlu Çalışma

100 cm PET liflerin 10 cm aralıklarla direnç ölçümleri yapıldı (Tablo 3.13). Sonrasında aynı 100 cm'lik PET liflere mekanik test uygulandı ve PET liflerin kopmuş kısımlarından dirençleri ölçüldü (Tablo 3.14).

Tablo 3.13: $[Fe^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PET liflerin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

Direnç Ölçüm No	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	.*	3.63×10^9	5.39×10^7	3.66×10^4	1.30×10^5	2.68×10^6	1.15×10^{10}
2	.*	.*	2.92×10^5	1.42×10^5	9.71×10^4	6.81×10^5	.*
3	.*	2.53×10^8	6.26×10^4	7.54×10^4	7.53×10^4	9.15×10^4	.*
4	.*	8.75×10^9	2.53×10^5	9.42×10^4	7.65×10^4	2.96×10^4	.*
5	.*	3.49×10^7	2.77×10^5	3.41×10^4	2.33×10^4	1.04×10^4	8.80×10^{10}
6	.*	2.30×10^9	5.67×10^5	5.00×10^4	5.39×10^4	8.56×10^3	1.03×10^{10}
7	.*	.*	8.51×10^4	6.78×10^4	4.29×10^4	1.84×10^4	5.03×10^6
8	.*	.*	3.33×10^4	1.13×10^5	5.70×10^4	4.26×10^6	1.49×10^{10}
9	.*	5.80×10^{10}	---	---	---	1.28×10^4	---
ortalama	.*	$1.22 \times 10^{10**}$	6.93×10^6	8.04×10^4	6.95×10^4	8.66×10^5	$2.49 \times 10^{10**}$
ortsapma	.*	$1.53 \times 10^{10**}$	1.17×10^7	3.08×10^4	2.52×10^4	1.16×10^6	$2.52 \times 10^{10**}$

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

Tablo 3.14: $[Fe^{+3}] = 2.0 \text{ M}$, $t = 0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, süre = 20 - 30 dak. PET liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 100 cm'lik PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	4.19	3.70	4.33	4.13	4.10	4.03	4.13
Uzama (%)	19.4	15.4	21.6	19.4	21.6	19.8	21.4
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	.*	1.42×10^{10}	4.25×10^4	1.71×10^5	5.26×10^4	1.79×10^4	8.67×10^9
2	.*	8.45×10^6	9.98×10^4	6.71×10^4	2.63×10^4	2.57×10^3	7.10×10^9
3	.*	1.35×10^6	8.90×10^4	7.03×10^4	2.01×10^4	1.88×10^3	1.21×10^7
4	.*	1.34×10^{10}	3.33×10^4	3.50×10^5	1.23×10^4	2.59×10^3	8.64×10^9
5	.*	7.64×10^5	1.73×10^4	3.68×10^4	2.20×10^6	2.01×10^4	5.26×10^7
6	.*	1.20×10^6	3.12×10^5	1.24×10^4	1.15×10^4	2.71×10^4	1.48×10^9
Ortalama	.*	4.60×10^9	9.90×10^4	1.18×10^5	3.87×10^5	1.20×10^4	4.33×10^9
Ortsapma	.*	6.13×10^9	7.13×10^4	9.50×10^4	6.04×10^5	9.68×10^3	3.81×10^9

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.

3.4.5 PETY1Ç5 Kodlu Çalışma

PETY1Ç5'te test sonuçlarının tutarlılığını test etmek için PETY1Ç4 çalışması tekrar edildi. Test sonuçlarının tutarlı olmadığı gözlenmiştir. Bu çalışmadan sonra farklı bir yöntem olan Yöntem 2'ye geçilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.15: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0 - 5 \text{ } ^\circ C$, süre = 20 - 30 dak. PET liflerinin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

Direnç Ölçüm No	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	3.92×10^9	7.11×10^9	8.07×10^{10}	2.32×10^{10}	1.62×10^8	2.03×10^9
2	-*	-*	-*	-*	4.43×10^{10}	3.38×10^6	5.48×10^{10}
3	-*	-*	-*	-*	-*	1.60×10^8	2.54×10^{10}
4	-*	-*	-*	-*	-*	1.17×10^8	5.15×10^{10}
5	-*	-*	-*	-*	-*	1.76×10^7	1.44×10^{10}
6	-*	-*	-*	-*	8.40×10^{10}	2.94×10^6	3.55×10^9
7	-*	---	-*	-*	4.05×10^{10}	8.17×10^6	---
8	-*	---	---	---	---	---	---
Ortalama	-*	$3.92 \times 10^{9**}$	$7.11 \times 10^{9**}$	$8.07 \times 10^{10**}$	$4.80 \times 10^{10**}$	6.73×10^7	2.53×10^{10}
Ortsapma	-*	$3.92 \times 10^{9**}$	$7.11 \times 10^{9**}$	$8.07 \times 10^{10**}$	$1.80 \times 10^{10**}$	6.77×10^7	1.86×10^{10}

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

Tablo 3.16: $[Fe^{+3}] = 2.0 M$, $t = 0 - 5 \text{ } ^\circ C$, süre = 20 - 30 dak. PET liflerinin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 100 cm'lik PET liflerinin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	4.19	3.83	4.03	3.83	3.70	4.20	3.93
Uzama (%)	19.4	17.2	21.2	19.2	16.4	22.6	22.4
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	Pirol konsantrasyonu						
	0.0M (ohm/cm)	0.5M (ohm/cm)	1.0M (ohm/cm)	2.0M (ohm/cm)	3.0M (ohm/cm)	4.0M (ohm/cm)	14.41M (ohm/cm)
1	-*	2.09×10^{10}	2.10×10^{10}	1.44×10^{10}	1.00×10^{10}	3.02×10^7	4.73×10^9
2	-*	2.96×10^{10}	4.19×10^{10}	1.40×10^{10}	8.40×10^9	7.82×10^6	4.34×10^9
3	-*	1.88×10^{10}	1.05×10^{10}	1.23×10^{10}	8.34×10^9	4.36×10^7	1.30×10^9
4	-*	1.10×10^{10}	1.54×10^{10}	1.13×10^{10}	4.64×10^9	1.04×10^8	8.19×10^8
5	-*	1.91×10^{10}	2.20×10^{10}	1.07×10^8	1.72×10^{10}	9.02×10^8	2.02×10^8
Ortalama	-*	1.99×10^{10}	2.22×10^{10}	9.95×10^9	9.72×10^9	2.18×10^8	2.28×10^9
Ortsapma	-*	4.30×10^9	7.90×10^9	4.92×10^9	3.11×10^9	2.74×10^8	1.81×10^9

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.

3.4.6 PETY2Ç6 Kodlu Çalışma

150 cm PET liflerin 10 cm aralıklarla direnç ölçümleri yapıldı (Tablo 3.17). Sonrasında aynı 150 cm'lik PET liflere mekanik test uygulandı ve PET liflerin kopmuş kısımlarından direnç ölçümleri gerçekleştirildi (Tablo 3.18).

Tablo 3.17: [Pirol] = 4.0 M, süre = 5 gün PET liflerin polimerizasyonu. Değişken Fe^{+3} konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

Direnç Ölçüm No	Fe^{+3} Konsantrasyon						
	0.0 M (ohm/cm)	1.6×10^{-3} M (ohm/cm)	3.2×10^{-3} M (ohm/cm)	6.4×10^{-3} M (ohm/cm)	1.28×10^{-2} M (ohm/cm)	2.56×10^{-2} M (ohm/cm)	5.12×10^{-2} M (ohm/cm)
1	-*	1.46×10^{10}	3.59×10^8	2.50×10^8	7.12×10^7	3.93×10^7	3.39×10^7
2	-*	1.65×10^{10}	3.94×10^8	1.81×10^8	7.82×10^7	1.89×10^8	7.26×10^7
3	-*	7.03×10^9	4.98×10^8	1.30×10^8	1.37×10^8	2.97×10^8	9.20×10^7
4	-*	1.23×10^{10}	4.90×10^8	6.93×10^7	3.04×10^8	1.53×10^8	1.13×10^8
5	-*	1.39×10^{10}	3.83×10^8	1.14×10^7	2.47×10^8	2.43×10^8	1.03×10^8
6	-*	1.25×10^{10}	2.88×10^8	3.89×10^7	1.57×10^8	1.09×10^8	8.88×10^7
7	-*	1.39×10^{10}	2.37×10^8	5.85×10^7	---	---	8.72×10^7
8	-*	1.16×10^{10}	---	---	---	---	4.95×10^7
ortalama	-*	1.28×10^{10}	3.78×10^8	1.06×10^8	1.66×10^8	1.72×10^8	8.00×10^7
ortsapma	-*	1.93×10^9	7.18×10^7	6.98×10^7	7.32×10^7	7.13×10^7	2.10×10^7

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.

Tablo 3.18: [Pirol] = 4.0 M, süre = 5 gün PET liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda Fe^{+3} ile muamele gören 150 cm'lik PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test	Fe^{+3} Konsantrasyon						
	0.0 M (ohm/cm)	1.6×10^{-3} M (ohm/cm)	3.2×10^{-3} M (ohm/cm)	6.4×10^{-3} M (ohm/cm)	1.28×10^{-2} M (ohm/cm)	2.56×10^{-2} M (ohm/cm)	5.12×10^{-2} M (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	4.19	3.47	3.97	3.87	3.23	3.37	3.10
Uzama (%)	19.4	17.4	21.6	19.8	21.6	19.8	17.4
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	Fe^{+3} Konsantrasyon						
	0.0 M (ohm/cm)	1.6×10^{-3} M (ohm/cm)	3.2×10^{-3} M (ohm/cm)	6.4×10^{-3} M (ohm/cm)	1.28×10^{-2} M (ohm/cm)	2.56×10^{-2} M (ohm/cm)	5.12×10^{-2} M (ohm/cm)
1	-*	1.20×10^{10}	5.01×10^8	3.28×10^8	1.98×10^8	6.71×10^7	4.05×10^7
2	-*	1.81×10^{10}	6.51×10^8	9.80×10^7	1.50×10^8	2.24×10^8	6.35×10^7
3	-*	6.30×10^9	7.05×10^8	1.97×10^7	3.21×10^8	3.56×10^7	4.84×10^7
4	-*	1.26×10^{10}	4.01×10^8	2.09×10^7	1.32×10^8	1.11×10^8	8.26×10^7
5	-*	8.20×10^9	1.50×10^8	1.23×10^7	1.99×10^8	3.12×10^8	5.88×10^7
Ortalama	-*	1.14×10^{10}	4.82×10^8	9.58×10^7	2.00×10^8	1.50×10^8	5.88×10^7
Ortsapma	-*	3.35×10^9	1.65×10^8	9.38×10^7	4.84×10^7	9.44×10^7	1.14×10^7

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.

3.4.7 PPY2Ç7 Kodlu Çalışma

PPY2Ç7; PETY2Ç6 çalışma şartlarında PET lif yerine PP lif kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 2.yöntem PP lif üzerine denenmiştir. 150 cm PP liflerin 10 cm aralıklarla direnç ölçümleri yapıldı (Tablo 3.19). Sonrasında aynı 150 cm'lik PP liflere mekanik test uygulandı ve PP liflerin kopmuş kısımlarından direnç ölçümleri gerçekleştirildi (Tablo 3.20).

Tablo 3.19: [Piról] = 4.0 M, süre = 5 gün PP liflerin polimerizasyonu. Değişken Fe⁺³ konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

Direnç Ölçüm No	Fe ⁺³ Konsantrasyon						
	0.0 M (ohm/cm)	1.6x10 ⁻³ M (ohm/cm)	3.2x10 ⁻³ M (ohm/cm)	6.4x10 ⁻³ M (ohm/cm)	1.28x10 ⁻² M (ohm/cm)	2.56x10 ⁻² M (ohm/cm)	5.12x10 ⁻² M (ohm/cm)
1	-*	9.57x10 ¹⁰	-*	-*	-*	-*	-*
2	-*	7.73x10 ¹⁰	-*	-*	-*	-*	4.95x10 ¹⁰
3	-*	6.47x10 ⁹	-*	-*	-*	-*	-*
4	-*	3.53x10 ¹⁰	-*	-*	-*	-*	-*
5	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*
6	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*
7	-*	8.56x10 ¹⁰	-*	-*	-*	-*	-*
8	-*	4.88x10 ¹⁰	-*	-*	-*	-*	-*
ortalama	-*	5.82x10 ^{10**}	-*	-*	-*	-*	4.95x10 ^{10**}
ortsapma	-*	2.80x10 ^{10**}	-*	-*	-*	-*	4.95x10 ^{10**}

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer >10¹² den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

Tablo 3.20: [Piról] = 4.0 M, süre = 5 gün PP liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda Fe⁺³ ile muamele gören 150 cm'lik PP liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

Mekanik Test	Fe ⁺³ Konsantrasyon						
	0.0 M (ohm/cm)	1.6x10 ⁻³ M (ohm/cm)	3.2x10 ⁻³ M (ohm/cm)	6.4x10 ⁻³ M (ohm/cm)	1.28x10 ⁻² M (ohm/cm)	2.56x10 ⁻² M (ohm/cm)	5.12x10 ⁻² M (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	5.79	3.89	4.25	5.26	5.05	5.84	4.11
Uzama (%)	22.6	9.6	10.6	15.8	15.6	19.4	11.2
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	Fe ⁺³ Konsantrasyon						
	0.0 M (ohm/cm)	1.6x10 ⁻³ M (ohm/cm)	3.2x10 ⁻³ M (ohm/cm)	6.4x10 ⁻³ M (ohm/cm)	1.28x10 ⁻² M (ohm/cm)	2.56x10 ⁻² M (ohm/cm)	5.12x10 ⁻² M (ohm/cm)
1	-*	7.78x10 ¹⁰	-*	-*	-*	-*	-*
2	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*
3	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*
Ortalama	-*	7.78x10 ^{10**}	-*	-*	-*	-*	-*
Ortsapma	-*	7.78x10 ^{10**}	-*	-*	-*	-*	-*

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer >10¹² den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

3.4.8 PETY2Ç8 Kodlu Çalışma

PETY2Ç8; PETY2Ç6'nın devam çalışmasıdır. Fe^{+3} konsantrasyonları artırılarak PETY2Ç6 çalışmasına devam edilmiştir. 250 cm PET liflerin 10 cm aralıklarla direnç ölçümleri yapıldı (Tablo 3.21). Sonrasında aynı 250 cm'lik PET liflere mekanik test uygulandı ve PET liflerin kopmuş kısımlarından direnç ölçümleri gerçekleştirildi (Tablo 3.22).

Tablo 3.21: [Pirol] = 4.0 M, süre = 5 gün PET liflerin polimerizasyonu. Değişken Fe^{+3} konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

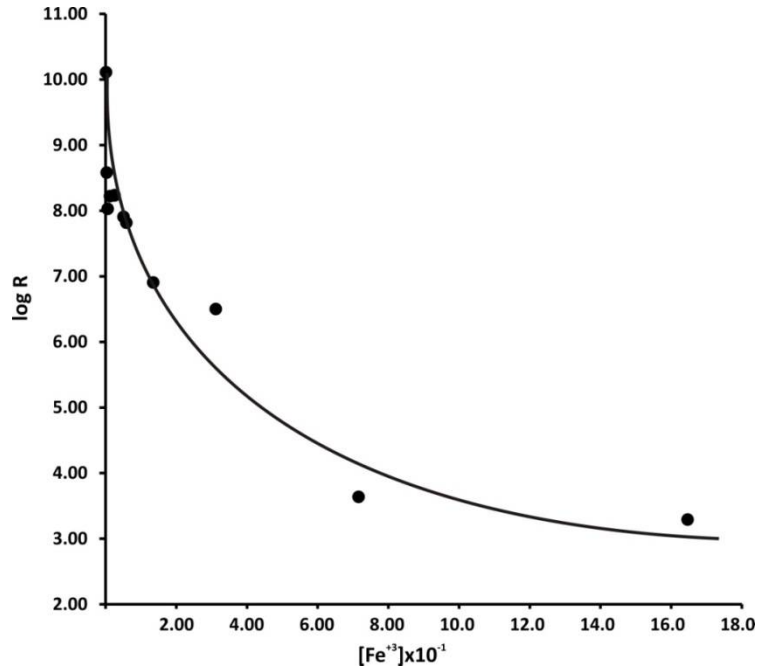
Direnç Ölçüm No	Fe^{+3} Konsantrasyon						
	0.0 M (ohm/cm)	2.56×10^{-2} M (ohm/cm)	5.89×10^{-2} M (ohm/cm)	1.35×10^{-1} M (ohm/cm)	3.12×10^{-1} M (ohm/cm)	7.16×10^{-1} M (ohm/cm)	16.47×10^{-1} M (ohm/cm)
1	-*	2.16×10^8	1.31×10^8	1.28×10^7	2.32×10^6	5.23×10^3	1.53×10^3
2	-*	2.10×10^8	1.09×10^8	1.74×10^7	7.56×10^6	5.80×10^3	1.61×10^3
3	-*	2.59×10^8	1.28×10^8	1.82×10^7	5.87×10^6	5.74×10^3	1.90×10^3
4	-*	2.54×10^8	1.08×10^8	1.76×10^7	4.65×10^6	4.31×10^3	1.92×10^3
5	-*	2.22×10^8	2.62×10^7	1.21×10^7	3.09×10^6	3.69×10^3	1.91×10^3
6	-*	7.05×10^7	9.50×10^6	9.33×10^5	3.39×10^6	4.27×10^3	2.13×10^3
7	-*	4.89×10^7	6.64×10^6	1.64×10^6	2.44×10^6	4.36×10^3	2.06×10^3
8	-*	3.73×10^7	3.67×10^6	9.62×10^5	2.18×10^6	3.60×10^3	2.06×10^3
9	-*	2.30×10^8	3.13×10^6	5.10×10^5	2.16×10^6	4.81×10^3	2.15×10^3
10	-*	1.39×10^8	6.52×10^7	9.54×10^6	3.64×10^5	4.97×10^3	2.19×10^3
11	-*	1.38×10^8	1.15×10^8	7.78×10^6	2.24×10^6	3.82×10^3	1.90×10^3
12	-*	1.92×10^8	1.11×10^8	7.78×10^6	4.75×10^6	4.30×10^3	2.23×10^3
13	-*	2.20×10^8	7.94×10^7	9.47×10^6	1.99×10^6	4.97×10^3	2.33×10^3
14	-*	1.31×10^8	8.83×10^7	1.15×10^7	2.52×10^6	4.90×10^3	1.91×10^3
15	-*	1.75×10^8	4.37×10^7	---	3.20×10^6	4.42×10^3	1.62×10^3
16	-*	---	1.73×10^7	---	1.76×10^6	---	1.80×10^3
ortalama	-*	1.70×10^8	6.53×10^7	8.01×10^6	3.16×10^6	4.32×10^3	1.95×10^3
ortsapma	-*	6.03×10^7	4.34×10^7	5.56×10^6	1.31×10^6	7.85×10^2	1.85×10^2

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.

Tablo 3.22: [Piról] = 4.0 M, süre = 5 gün PET liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda Fe⁺³ ile muamele gören 250 cm'lik PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

		Fe ⁺³ Konsantrasyon					
Mekanik Test	0.0 M (ohm/cm)	2.56x10 ⁻² M (ohm/cm)	5.89x10 ⁻² M (ohm/cm)	1.35x10 ⁻¹ M (ohm/cm)	3.12x10 ⁻¹ M (ohm/cm)	7.16x10 ⁻¹ M (ohm/cm)	16.47x10 ⁻¹ M (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	4.20	3.90	4.03	3.63	3.87	3.87	4.07
Uzama (%)	19.6	23.4	21.8	19.8	23.8	29.8	20.6
		Fe ⁺³ Konsantrasyon					
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	0.0 M (ohm/cm)	2.56x10 ⁻² M (ohm/cm)	5.89x10 ⁻² M (ohm/cm)	1.35x10 ⁻¹ M (ohm/cm)	3.12x10 ⁻¹ M (ohm/cm)	7.16x10 ⁻¹ M (ohm/cm)	16.47x10 ⁻¹ M (ohm/cm)
1	-*	1.40x10 ⁸	6.49x10 ⁶	1.12x10 ⁷	1.89x10 ⁶	4.14x10 ³	2.03x10 ³
2	-*	1.20x10 ⁸	5.31x10 ⁶	1.75x10 ⁷	4.06x10 ⁶	5.04x10 ³	1.95x10 ³
3	-*	1.03x10 ⁸	5.36x10 ⁶	1.84x10 ⁷	4.13x10 ⁶	4.87x10 ³	1.67x10 ³
4	-*	5.72x10 ⁷	2.30x10 ⁷	1.45x10 ⁷	2.01x10 ⁶	4.09x10 ³	2.17x10 ³
5	-*	6.46x10 ⁷	1.26x10 ⁸	8.95x10 ⁶	4.23x10 ⁶	3.97x10 ³	2.11x10 ³
6	-*	---	1.27x10 ⁸	7.32x10 ⁵	1.91x10 ⁵	5.95x10 ³	1.63x10 ³
7	-*	---	---	1.35x10 ⁶	6.76x10 ⁵	5.20x10 ³	---
8	-*	---	----	---	4.66x10 ⁵	---	---
Ortalama	-*	9.70x10 ⁷	4.89x10 ⁷	1.04x10 ⁷	2.21x10 ⁶	4.75x10 ³	1.93x10 ³
Ortsapma	-*	2.88x10 ⁷	5.18x10 ⁷	5.74x10 ⁶	1.45x10 ⁶	5.87x10 ²	1.84x10 ²

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer >10¹² den büyük bir değerdir.



Şekil 3.13: PETY2Ç6 ve PETY2Ç8 kodlu çalışmaların birleştirilmiş grafiği (artan Fe⁺³ konsantrasyonuna karşı direnç grafiği).

3.4.9 PETY2Ç9- PETY2Ç10 Kodlu Çalışmalar

PETY2Ç9'da direnç ölçüm değerlerine süre etkisi araştırılmıştır. Sabit bir Fe^{+3} konsantrasyonu belirlemek amacıyla PETY2Ç8 çalışması direnç ve mekanik sonuçları incelenmiş ve sabit Fe^{+3} konsantrasyonu olarak 7.16×10^{-1} M seçilmiştir. 10.20.30.50 ve 150 dak. polimerleşme sonrası direnç ölçümleri alınmış ve mekanik test uygulanmıştır. PETY2Ç10 ise PETY2Ç9'un devamı niteliğinde bir çalışma olup 6. 23. 29.5. 47. 55.5 ve 73 saat polimerleşme sonrası direnç ölçümleri alınmış ve mekanik test uygulanmıştır.

250 cm PET liflerin 10 cm aralıklarla direnç ölçümleri yapıldı (Tablo 3.23). Sonrasında aynı 250 cm'lik PET liflere mekanik test uygulandı ve PET liflerin kopmuş kısımlarından direnç ölçümleri gerçekleştirildi (Tablo 3.24).

Tablo 3.23: [Piról] = 4.0 M, [Fe⁺³] = 7.16x10⁻¹ M, t = 0 - 5 °C. farklı sürelerde polimerleştirilen PET liflerin direnç değerleri.

Direnç Ölçüm No	PETY2Ç9						PETY2Ç10					
	0 (dk)	10 (dk)	20 (dk)	30 (dk)	50 (dk)	150 (dk)	360 (dk)	1380 (dk)	1770 (dk)	2820 (dk)	3330 (dk)	4380 (dk)
	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)
1	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	3.66×10 ⁵	9.64×10 ⁶	9.03×10 ⁴	6.57×10 ⁴
2	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	3.01×10 ⁵	1.10×10 ⁷	9.63×10 ⁴	6.16×10 ⁴
3	-*	-*	-*	-*	3.42×10 ¹⁰	-*	-*	-*	2.81×10 ⁵	1.14×10 ⁷	1.17×10 ⁵	8.72×10 ⁴
4	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	2.69×10 ⁵	1.05×10 ⁷	1.09×10 ⁵	6.77×10 ⁴
5	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	3.04×10 ⁵	1.05×10 ⁷	1.45×10 ⁵	7.14×10 ⁴
6	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	3.71×10 ⁵	9.05×10 ⁶	1.58×10 ⁵	5.32×10 ⁴
7	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	2.08×10 ⁵	4.35×10 ⁶	2.20×10 ⁵	5.94×10 ⁴
8	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	2.14×10 ⁵	1.63×10 ⁶	2.20×10 ⁵	7.04×10 ⁴
9	-*	-*	-*	-*	2.41×10 ¹⁰	9.92×10 ⁶	2.12×10 ⁶	-*	2.59×10 ⁵	4.57×10 ⁶	2.15×10 ⁵	1.14×10 ⁵
10	-*	-*	-*	-*	3.21×10 ¹⁰	5.33×10 ⁵	3.36×10 ⁵	---	1.89×10 ⁵	7.41×10 ⁶	1.28×10 ⁵	5.47×10 ⁴
11	-*	---	---	---	---	5.83×10 ⁸	-*	---	1.33×10 ⁵	---	1.91×10 ⁵	6.68×10 ⁴
ortalama	-*	-*	-*	-*	3.01×10 ^{10**}	1.98×10 ^{8**}	1.23×10 ^{6**}	-*	2.63×10 ⁵	8.01×10 ⁶	1.54×10 ⁵	7.02×10 ⁴
ortsapma	-*	-*	-*	-*	4.02×10 ^{9**}	2.57×10 ^{8**}	8.92×10 ^{5**}	-*	5.69×10 ⁴	2.81×10 ⁶	4.29×10 ⁴	1.13×10 ⁴

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer >10¹² den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

Tablo 3.24: [Pirol] = 4.0 M, [Fe⁺³] = 7.16x10⁻¹ M, t = 0 - 5 °C farklı sürelerde polimerleştirilen PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

	PETY2Ç9						PETY2Ç10					
Mekanik Test	0 (dk)	10 (dk)	20 (dk)	30 (dk)	50 (dk)	150 (dk)	360 (dk)	1380 (dk)	1770 (dk)	2820 (dk)	3330 (dk)	4380 (dk)
Mukavemet (gr/denye)	4.20	4.00	4.10	3.53	3.90	3.77	2.27	3.87	3.77	3.43	4.00	4.07
Uzama (%)	19.6	24.6	26.6	23.0	26.0	23.6	15.2	23.8	20.4	23.0	23.8	21.4
	PETY2Ç9						PETY2Ç10					
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	0 (dk)	10 (dk)	20 (dk)	30 (dk)	50 (dk)	150 (dk)	360 (dk)	1380 (dk)	1770 (dk)	2820 (dk)	3330 (dk)	4380 (dk)
	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)
1	-*	-*	-*	-*	-*	6.33x10 ⁹	1.29x10 ⁷	-*	1.91x10 ⁵	4.71x10 ⁶	1.83x10 ⁵	7.59x10 ⁴
2	-*	-*	-*	-*	6.13x10 ⁹	2.26x10 ⁷	8.12x10 ¹⁰	-*	2.96x10 ⁵	1.41x10 ⁶	2.23x10 ⁵	6.10x10 ⁴
3	-*	-*	-*	-*	-*	1.52x10 ⁶	-*	-*	2.43x10 ⁵	1.85x10 ⁶	1.20x10 ⁵	6.48x10 ⁴
4	-*	---	---	---	---	---	---	2.25x10 ¹⁰	---	---	1.53x10 ⁵	8.62x10 ⁴
5	-*	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6.29x10 ⁴
ortalama	-*	-*	-*	-*	6.13x10 ⁹ **	2.12x10 ⁹	4.06x10 ¹⁰ **	2.25x10 ¹⁰ **	2.43x10 ⁵	2.66x10 ⁶	1.70x10 ⁵	7.02x10 ⁴
ortsapma	-*	-*	-*	-*	6.13x10 ⁹ **	2.81x10 ⁹	4.06x10 ¹⁰ **	2.25x10 ¹⁰ **	3.51x10 ⁴	1.37x10 ⁶	3.33x10 ⁴	8.71x10 ³

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer >10¹² den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

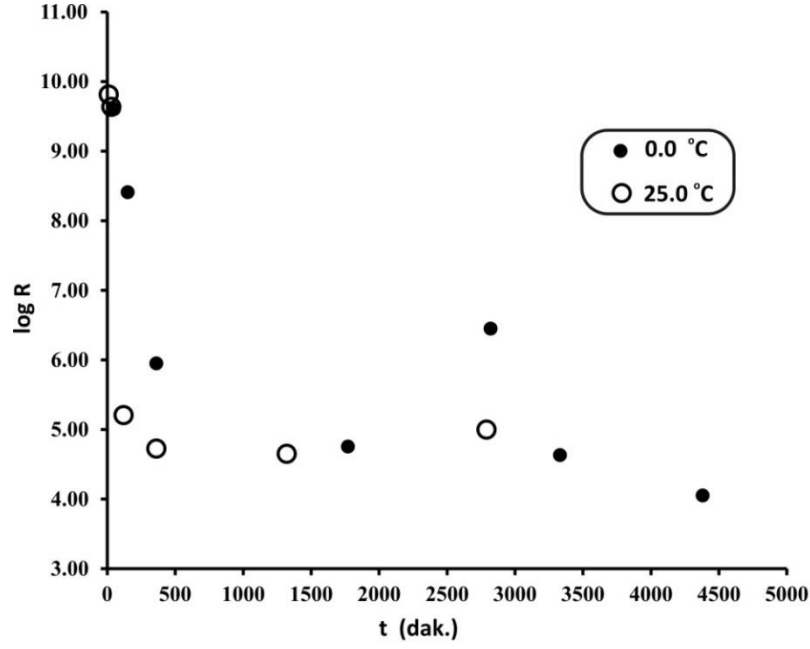
3.4.10 PETY2Ç11 Kodlu Çalışma

Bu çalışmanın PETY2Ç9 ve PETY2Ç10 çalışmasından farkı polimerizasyon sıcaklığıdır. Polimerizasyon 25°C’de gerçekleştirilmiş olup pirol ve Fe⁺³ konsantrasyonu sabit konsantrasyonda tutulmuştur. Polimerizasyon süresinin ve polimerizasyon sıcaklığının direnç ölçümü değerlerine etkisi araştırılmıştır. PPY2Ç11’de 250 cm PET liften 10 cm aralıklarla direnç ölçümleri yapıldı (Tablo 3.25). Sonrasında aynı 250 cm’lik PET liflere mekanik test uygulandı ve PET liflerin kopmuş kısımlarından direnç ölçümleri gerçekleştirildi (Tablo 3.26).

Tablo 3.25: [Pirol] = 4.0 M, [Fe⁺³] = 7.16x10⁻¹ M, t = 25 °C farklı sürelerde polimerleştirilen PET liflerin direnç değerleri.

Direnç Ölçüm No	0 (dk)	10 (dk)	30 (dk)	120 (dk)	360 (dk)	1320 (dk)	2790 (dk)
	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)
1	-*	1.79×10 ⁸	-*	3.22×10 ⁶	2.12×10 ⁴	2.79×10 ⁴	8.19×10 ⁴
2	-*	1.30×10 ¹⁰	-*	2.98×10 ⁶	2.92×10 ⁴	2.75×10 ⁴	1.09×10 ⁵
3	-*	2.66×10 ¹⁰	6.76×10 ⁹	2.81×10 ⁶	4.98×10 ⁴	3.49×10 ⁴	1.13×10 ⁵
4	-*	1.54×10 ⁹	7.13×10 ⁹	3.04×10 ⁶	4.53×10 ⁴	4.01×10 ⁴	1.15×10 ⁵
5	-*	1.09×10 ⁹	5.97×10 ⁹	1.43×10 ⁶	3.41×10 ⁴	4.16×10 ⁴	1.22×10 ⁵
6	-*	-*	6.21×10 ⁹	1.82×10 ⁶	4.33×10 ⁴	3.33×10 ⁴	1.27×10 ⁵
7	-*	2.00×10 ⁹	6.61×10 ⁹	7.05×10 ⁵	4.16×10 ⁴	5.29×10 ⁴	1.05×10 ⁵
8	-*	1.11×10 ⁹	3.18×10 ⁵	6.65×10 ⁵	5.18×10 ⁴	3.78×10 ⁴	7.06×10 ⁴
9	-*	-*	5.59×10 ⁶	4.81×10 ⁵	1.31×10 ⁵	6.02×10 ⁴	7.44×10 ⁴
10	-*	---	2.04×10 ⁹	1.67×10 ⁵	6.28×10 ⁴	8.96×10 ⁴	7.83×10 ⁴
11	-*	---	---	4.43×10 ⁵	7.57×10 ⁴	4.61×10 ⁴	---
Ortalama	-*	6.52×10 ^{9**}	4.34×10 ^{9**}	1.61×10 ⁶	5.33×10 ⁴	4.47×10 ⁴	9.96×10 ⁴
Ortsapma	-*	7.59×10 ^{9**}	2.74×10 ^{9**}	1.05×10 ⁶	2.00×10 ⁴	1.27×10 ⁴	1.87×10 ⁴

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer >10¹² den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır.

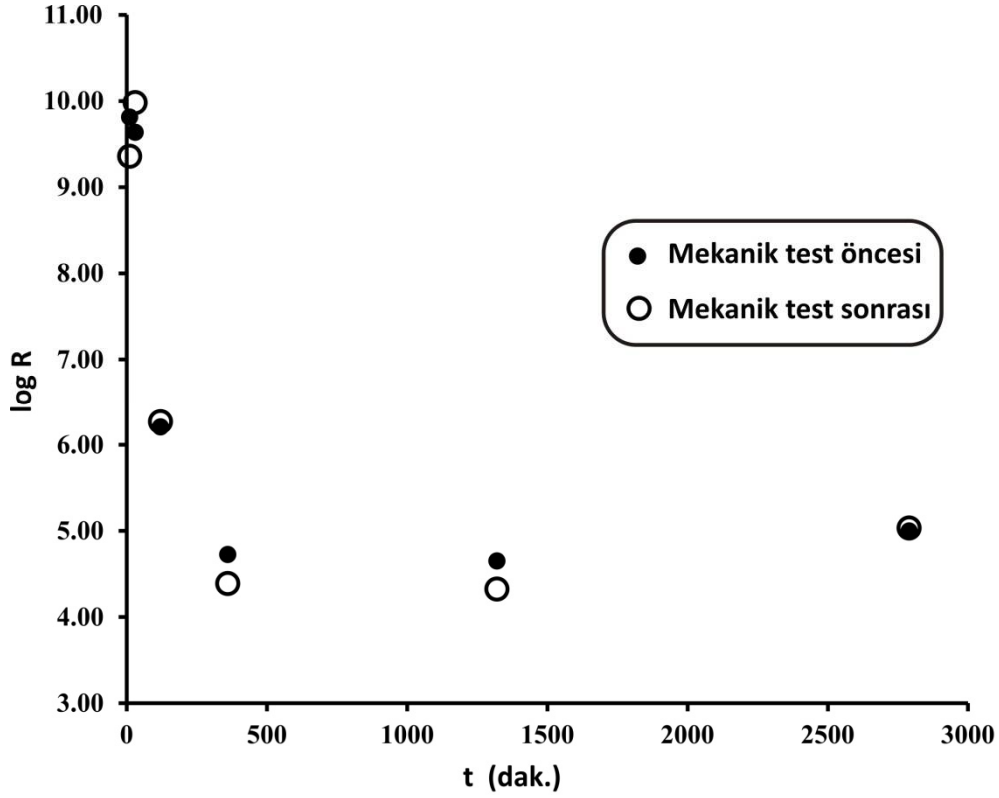


Şekil 3.14: PETY2Ç9 (0 °C) ve PETY2Ç10 (0 °C) ve PETY2Ç11 (25 °C) kodlu çalışmaların birleştirilmiş grafiği.

Tablo 3.26: [Piról] = 4.0 M, $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1}$ M, $t = 25$ °C farklı sürelerde polimerleştirilen PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değeri.

Mekanik Test	0 (dk)	10 (dk)	30 (dk)	120 (dk)	360 (dk)	1320 (dk)	2790 (dk)
Mukavemet (gr/denye)	4.20	3.30	4.17	2.63	3.30	4.20	4.00
Uzama (%)	19.6	17.8	29.8	17.2	18.8	23.8	21.8
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	0 (dk)	10 (dk)	30 (dk)	120 (dk)	360 (dk)	1320 (dk)	2790 (dk)
	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)	(ohm/cm)
1	.*	1.54×10^9	5.95×10^9	1.14×10^5	1.56×10^4	1.60×10^4	8.94×10^4
2	.*	1.76×10^5	6.31×10^9	2.95×10^6	2.37×10^4	1.50×10^4	1.44×10^5
3	.*	3.39×10^9	7.62×10^9	2.86×10^6	2.80×10^4	2.74×10^4	9.77×10^4
4	.*	3.59×10^9	1.40×10^{10}	1.34×10^6	3.07×10^4	2.60×10^4	9.95×10^4
5	.*	2.90×10^9	1.40×10^{10}	1.99×10^6	---	---	---
Ortalama	.*	2.28×10^9	9.58×10^9	1.85×10^6	2.45×10^4	2.11×10^4	1.08×10^5
Ortsapma	.*	1.21×10^9	3.54×10^9	8.99×10^5	4.85×10^3	5.60×10^3	1.82×10^4

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir.



Şekil 3.15: PETY2Ç11 kodlu çalışmaya ait mekanik test öncesi ve sonrası direnç değerlerinin karşılaştırılması.

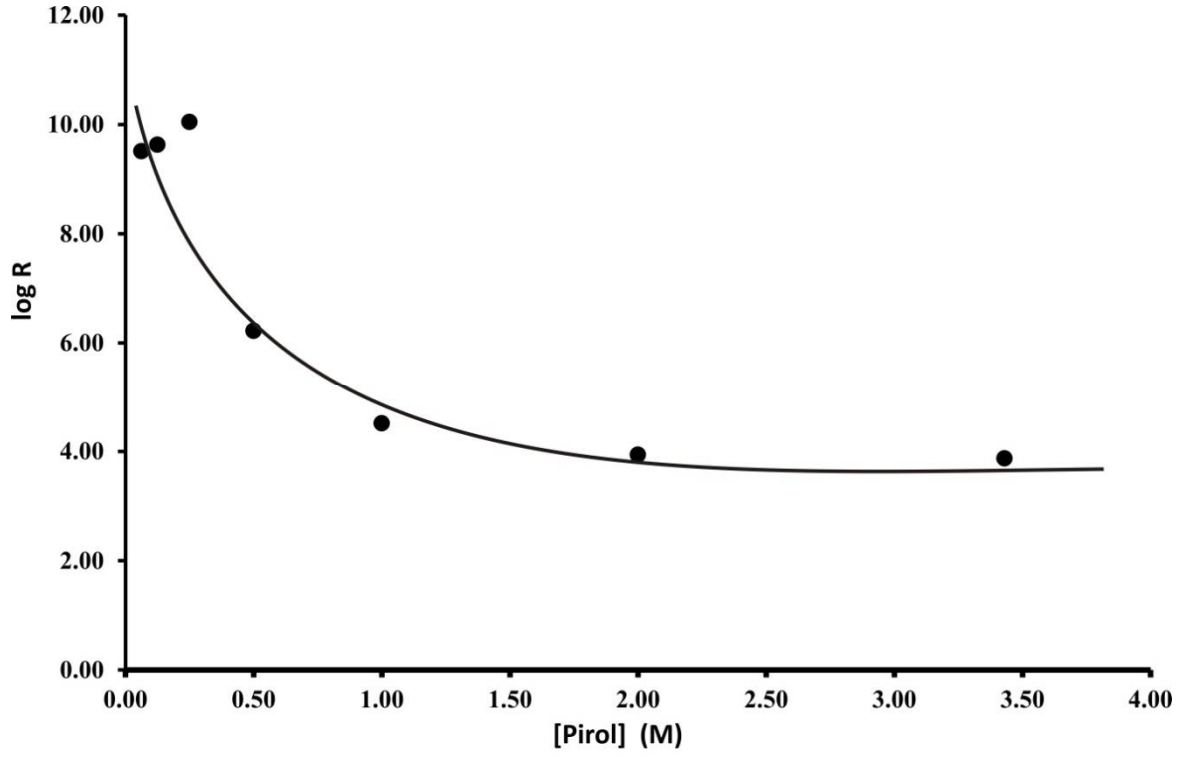
3.4.11 PETY2Ç12 Kodlu Çalışma

Bu çalışmada; çeşitli konsantrasyonlarda metanolde pirol çözeltileri hazırlandı. 8 adet 250 cm uzunluğundaki PET lifler hazırlanan metanolde pirol çözeltilerinde 24 saat bekletildi. Sabit Fe^{+3} konsantrasyonunda ve sabit sürede (4 gün) polimerizasyon gerçekleştirildi. PPY2Ç12’de 250 cm PET liflerin 10 cm aralıklarla direnç ölçümleri yapıldı (Tablo 3.27). Sonrasında aynı 250 cm’lik PET liflere mekanik test uygulandı ve PET liflerin kopmuş kısımlarından direnç ölçümleri gerçekleştirildi (Tablo 3.28).

Tablo 3.27: $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1} M$, $t = 0 - 5 \text{ } ^\circ C$, süre = 4 gün PET liflerin polimerizasyonu. Değişken pirol konsantrasyonunun direnç değerlerine etkisi.

Direnç Ölçüm No	Pirol konsantrasyonu								
	0.0 M (ohm/cm)	0.0625 M (ohm/cm)	0.125 M (ohm/cm)	0.25 M (ohm/cm)	0.5 M (ohm/cm)	1.0 M (ohm/cm)	2.0 M (ohm/cm)	3.43 M (ohm/cm)	4.0 M*** (ohm/cm)
1	-*	3.04×10^9	1.33×10^9	2.59×10^9	2.47×10^5	1.77×10^4	1.07×10^4	1.01×10^4	1.38×10^5
2	-*	5.21×10^9	1.32×10^9	8.05×10^9	8.40×10^5	2.59×10^4	8.22×10^3	1.00×10^4	3.78×10^6
3	-*	2.96×10^9	8.93×10^9	1.19×10^{10}	8.95×10^5	2.85×10^4	1.23×10^4	5.65×10^3	3.42×10^6
4	-*	6.43×10^9	5.49×10^9	1.10×10^{10}	1.30×10^6	4.40×10^4	7.65×10^3	5.02×10^3	4.17×10^6
5	-*	2.26×10^9	-*	1.81×10^{10}	1.18×10^6	3.72×10^4	1.05×10^4	6.71×10^3	3.53×10^6
6	-*	2.16×10^9	-*	1.46×10^{10}	1.08×10^6	2.48×10^4	6.69×10^3	6.38×10^3	2.40×10^6
7	-*	1.98×10^9	-*	1.61×10^{10}	1.01×10^6	6.41×10^4	8.95×10^3	1.25×10^4	2.07×10^6
8	-*	1.75×10^9	-*	1.09×10^{10}	6.76×10^5	2.65×10^4	6.45×10^3	5.02×10^3	1.93×10^6
9	-*	---	-*	6.69×10^9	7.67×10^6	2.49×10^4	6.59×10^3	5.22×10^4	---
ortalama	-*	3.22×10^9	4.27×10^9 **	1.11×10^{10}	1.66×10^6	3.26×10^4	8.67×10^3	7.40×10^3	2.68×10^6
ortsapma	-*	1.30×10^9	2.94×10^9 **	3.62×10^9	1.34×10^6	1.05×10^4	1.72×10^3	2.31×10^3	1.05×10^6

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır. ***Önceden hazırlanmış metanolde pirol çözeltisi.

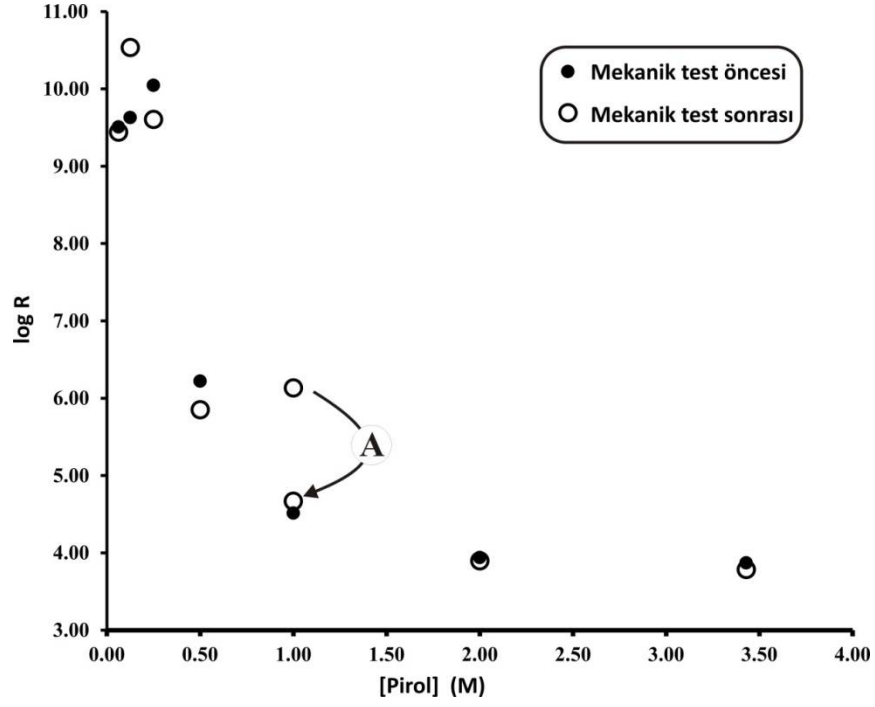


Şekil 3.16: PETY2Ç12 kodlu çalışmaya ait farklı pirol konsantrasyonuna karşı direnç grafiği.

Tablo 3.28: $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1} M$, $t = 0 - 5 \text{ } ^\circ C$, süre = 4 gün PET liflerin polimerizasyonu. Farklı konsantrasyonlarda pirol ile muamele gören 250 cm'lik PET liflerin mekanik test sonrası kopmuş kısımlardan alınmış direnç ölçüm değerleri.

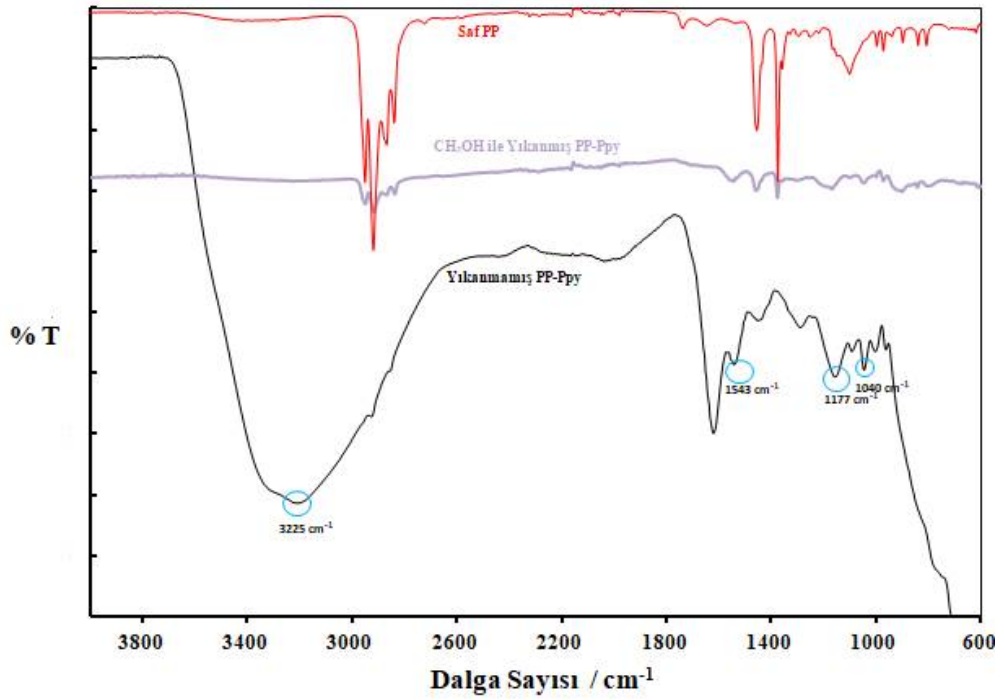
	Pirol Konsantrasyonu								
Mekanik Test	0.0 M (ohm/cm)	0.0625 M (ohm/cm)	0.125 M (ohm/cm)	0.25 M (ohm/cm)	0.5 M (ohm/cm)	1.0 M (ohm/cm)	2.0 M (ohm/cm)	3.43 M (ohm/cm)	4.0 M*** (ohm/cm)
Mukavemet (gr/denye)	4.20	4.50	4.27	4.27	4.03	3.67	3.93	3.87	3.83
Uzama (%)	19.6	24.8	21.6	22.8	20.4	22.4	22.4	21.6	18.0
	Pirol Konsantrasyonu								
Mekanik Test Sonrası Direnç Ölçüm No	0.0 M (ohm/cm)	0.0625 M (ohm/cm)	0.125 M (ohm/cm)	0.25 M (ohm/cm)	0.5 M (ohm/cm)	1.0 M (ohm/cm)	2.0 M (ohm/cm)	3.43 M (ohm/cm)	4.0 M** (ohm/cm)
1	-*	5.64×10^9	-*	1.63×10^9	1.36×10^5	4.00×10^4	4.69×10^3	2.22×10^3	2.69×10^6
2	-*	3.48×10^9	-*	3.77×10^9	7.70×10^5	4.09×10^4	1.06×10^4	8.19×10^3	3.01×10^6
3	-*	1.73×10^9	1.73×10^{10}	4.77×10^9	8.72×10^5	4.35×10^4	8.65×10^3	5.42×10^3	2.72×10^6
4	-*	1.51×10^9	-*	5.98×10^9	9.22×10^5	2.06×10^6	9.51×10^3	6.53×10^3	2.27×10^6
5	-*	1.46×10^9	5.52×10^{10}	---	8.57×10^5	6.08×10^4	1.22×10^4	9.00×10^3	2.23×10^6
6	-*	-*	3.04×10^{10}	---	---	3.61×10^4	4.89×10^3	5.31×10^3	2.40×10^6
7	-*	---	---	---	---	7.22×10^6	4.71×10^3	---	---
Ortalama	-*	$2.76 \times 10^{9**}$	$3.43 \times 10^{10**}$	4.04×10^9	7.11×10^5	1.36×10^6	7.89×10^3	6.11×10^3	2.55×10^6
Ortsapma	-*	$1.44 \times 10^{9**}$	$1.39 \times 10^{10**}$	1.34×10^9	2.30×10^5	1.88×10^6	2.68×10^3	1.80×10^3	2.53×10^5

*Cihazın ölçüm aralığı dışında alınan ölçüm. Okunan değer $>10^{12}$ den büyük bir değerdir. ** Ortalamalar okunan ölçümlerden hesaplanmıştır. ***Önceden hazırlanmış metonolde pirol çözeltisi

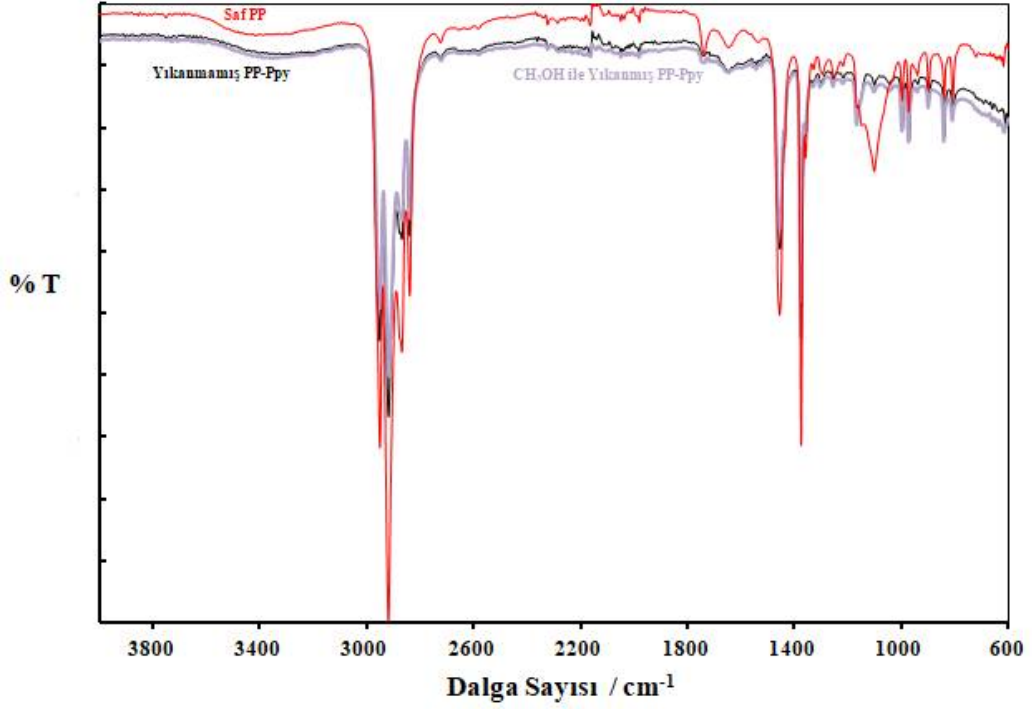


Şekil 3.17: PETY2Ç12 kodlu çalışmaya ait mekanik test öncesi ve sonrası direnç değerlerinin karşılaştırılması (A: 1 M pirol konsantrasyonunda ölçülen hatalı ölçüldüğü düşünülen en 2 değer atıldıktan sonra düşen direnç değerini göstermektedir).

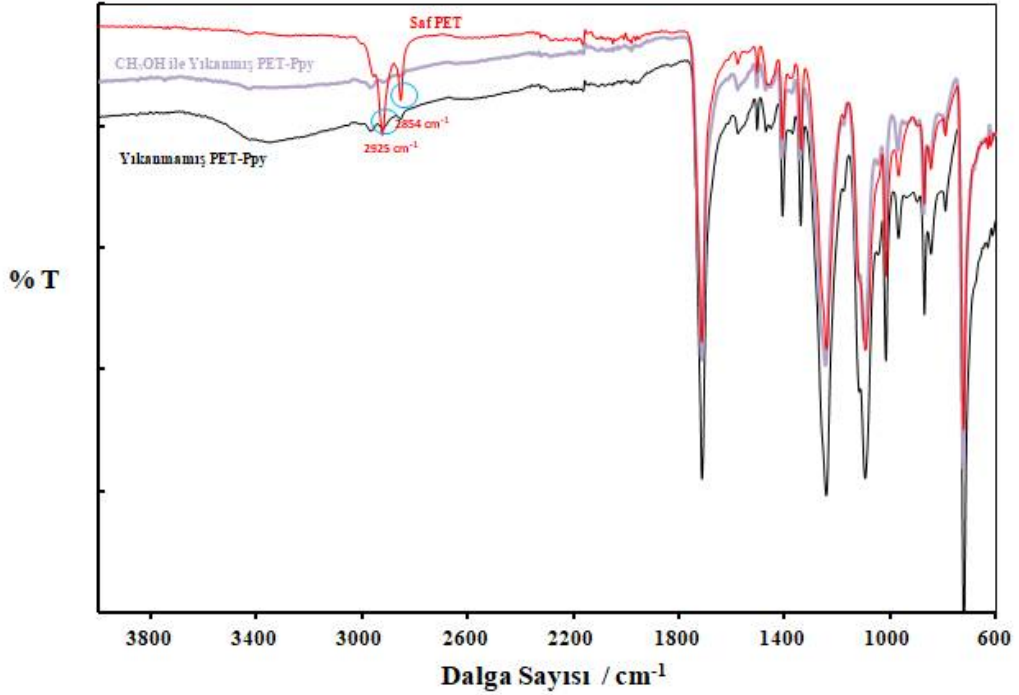
3.5 Fourier Dönüştümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi Görüntüleri



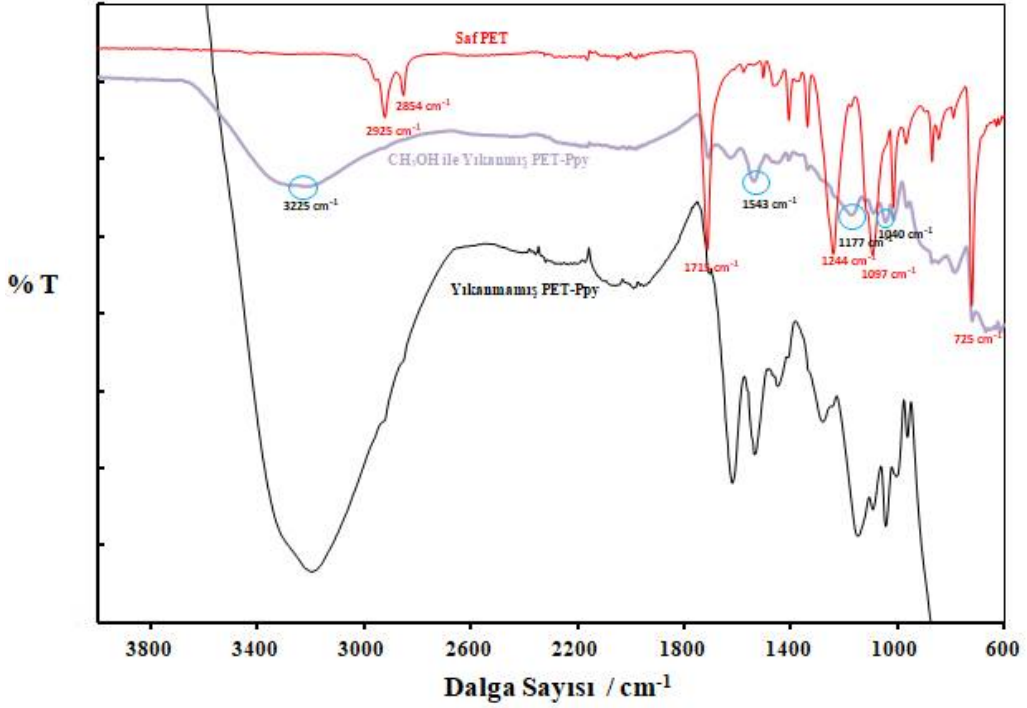
Şekil 3.18: PPY1Ç1 kodlu çalışmaya([pirol] : 4.0 M, $[Fe^{+3}]$: 2.0 M) ait saf PP, CH_3OH ile yıkanmış PP-PPy ve yıkanmamış PP-PPy liflerine ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu.



Şekil 3.19: PPY2Ç7 kodlu çalışmaya [pirol] : 1.6×10^{-3} M, $[\text{Fe}^{+3}]$: 4.0 M) ait saf PP, CH_3OH ile yıkanmış PP-PPy ve yıkanmamış PP-PPy liflerine ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu.



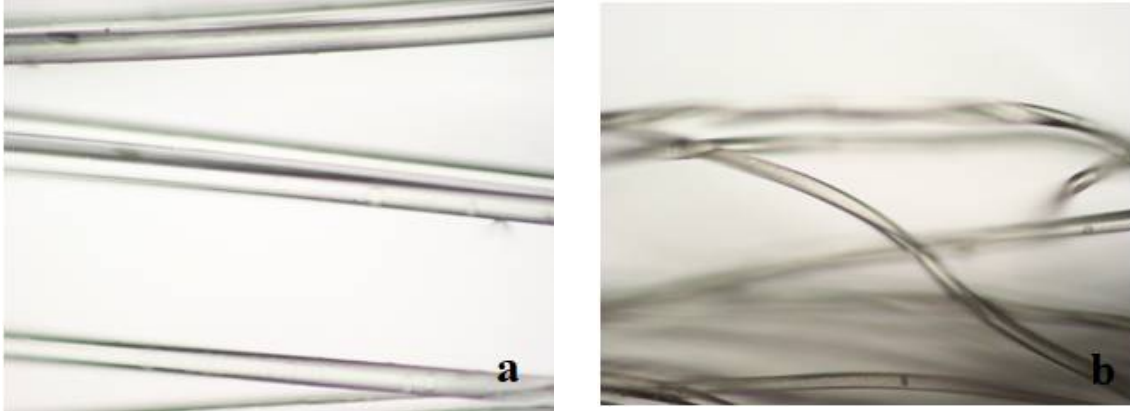
Şekil 3.20: PETY1Ç4 kodlu çalışmaya ([pirol] : 4.0 M, $[\text{Fe}^{+3}]$: 2.0 M) ait saf PET ve CH_3OH yıkanmış PET-PPy ve yıkanmamış PP-PPy liflerinin karşılaştırmalı FTIR spektrumu.



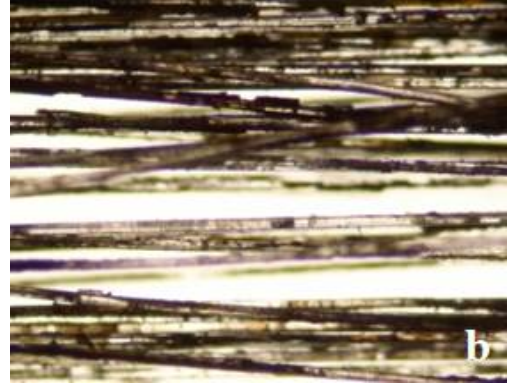
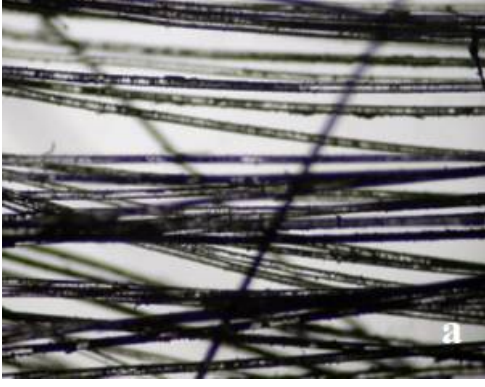
Şekil 3.21: PETY2Ç8 kodlu çalışmaya ([pirol] : 4.0 M, [Fe⁺³] : 16.47x10⁻¹ M) ait saf PET ve CH₃OH yıkanmış PET-PPy ve yıkanmamış PP-PPy liflerinin karşılaştırmalı FTIR spektrumu.

3.6 Işık Mikroskobu Test Sonuçları

Işık mikroskobu ile öncelikle x200 büyütme oranı ile işlem görmemiş PP lif (Şekil 3.22 a) ve PET lif (Şekil 3.22 b) fotoğrafları çekilmiştir.

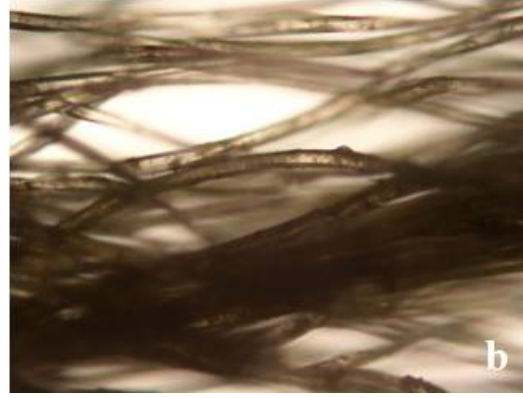


Şekil 3.22: İşlem görmemiş liflerin ışık mikroskobu ile x200 büyütülmüş görüntüleri a) PP b)PET
Şekil 3.23'te ışık mikroskobu görüntüleri aynı yöntemle (1.Yöntem, Şekil 3.10) üretilen aynı liflerden (PP) çekilmiştir. Görüntüler ve liflere uygulanan direnç test sonuçları 1.Yöntem ile PP lifte homojen bir kaplama elde edilemediğini göstermektedir.



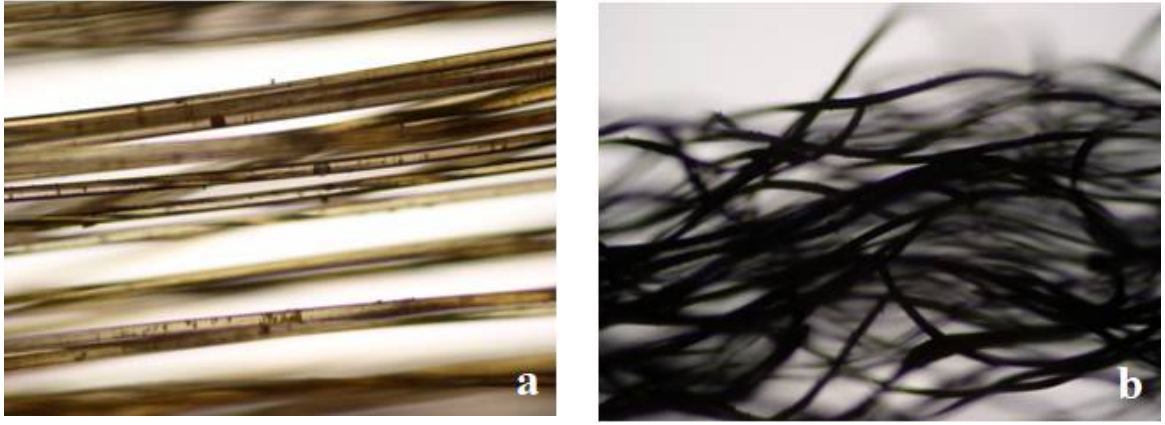
Şekil 3.23: a) PPY1Ç1 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x100 büyütülmüş görüntüsü.
b) PPY1Ç2 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x100 büyütülmüş görüntüsü.

Şekil 3.24'te ışık mikroskobu görüntüleri aynı yöntemle (1. Yöntem, Şekil 3.10) üretilen aynı liflerden (PET) çekilmiştir. Görüntüler ve liflere uygulanan direnç test sonuçları Yöntem 1 ile PET lifte homojen bir kaplama elde edilemediğini göstermektedir.



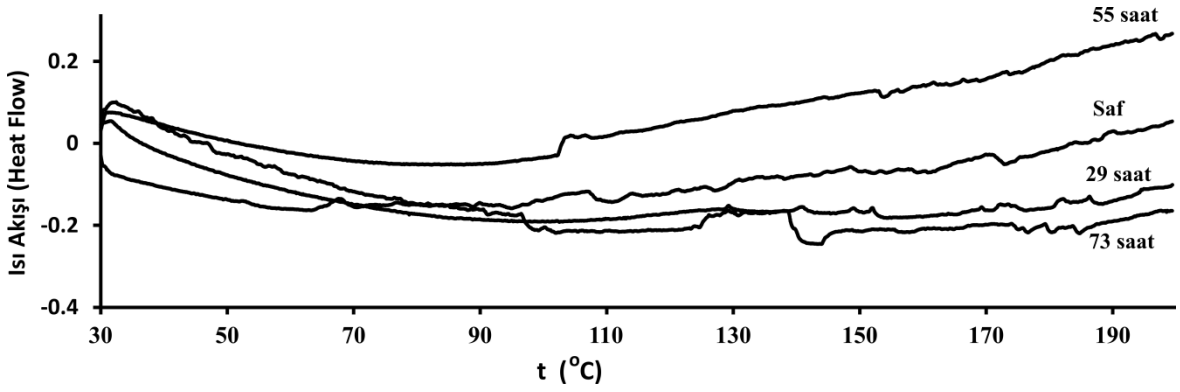
Şekil 3.24: a) PETY1Ç4 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x200 büyütülmüş görüntüsü.
b) PETY1Ç5 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x200 büyütülmüş görüntüsü.

Şekil 3.25'te ışık mikroskop görüntüleri aynı yöntemle (2.Yöntem, Şekil 3.11) üretilen PP lif (Şekil 3.25a) ve PET lif (Şekil 3.25b) çekilmiştir. Görüntülerden ve liflere uygulanan direnç test sonuçlarından da anlaşılacağı üzere 2.Yöntem ile PP lifte homojen bir kaplama elde edilememiştir. 2. Yöntem ile PET'te homojen bir kaplama ve uygun bir iletkenlik değerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.25: a) PPY2Ç7 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x100 büyütülmüş görüntüsü.
b) PETY2Ç8 kodlu çalışmaya ait lifin ışık mikroskobu ile x100 büyütülmüş görüntüsü.

3.7 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Test Sonuçları



Şekil 3.26: PETY2Ç10 kodlu çalışmaya ait işlem görmemiş PET lif ve 29, 55, 73 saat polimerizasyon sonrası PET lif birleştirilmiş DSC termogramları.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışması; PP ve PET liflerin iletken hale getirilmesi sürecinde 1. Yönteme göre Fe^{+3} iyonlarının lif yüzeyinde adsorpsiyonu ve pirolün oksidatif kimyasal polimerizasyonuna dayalı olarak ve 2. Yönteme göre pirolün adsorbe edildiği lif yüzeyinde Fe^{+3} iyonları ile pirolün oksidatif kimyasal polimerizasyonuna dayalı olarak gerçekleştirilmiştir.

İşlem görmemiş liflerin iki farklı yöntemle elde edilmiş PP/PPy ve PET/PPy kompozit iletken liflerinin spektroskopik, morfolojik, elektriksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Lif/PPy kompozitleri kullanılan yöntemlerin ilkinde lif üzerinde tutunmuş (adsorbe olmuş) Fe^{+3} iyonları ile pirolün polimerizasyonu ile hazırlanmıştır (1. Yöntem, Şekil 3.10). Lif/PPy kompozitleri kullanılan ikinci yöntemde ise liflerin pirol ile kısmen şişmesini sağlamak için öncelikle pirol çözeltilerinde lifler bekletmiş ve bu liflerdeki pirolün çeşitli konsantrasyondaki Fe^{+3} çözeltilerinde polimerizasyonu ile sağlanmıştır (2. Yöntem, Şekil 3.11). Ayrıca 2. Yöntem ile elde edilen liflerin iletkenlikleri üzerine sıcaklık ve süre etkisi de araştırılmıştır (PETY2Ç9, PETY2Ç10 ve PETY2Ç11).

Bu tezde gerçekleştirilen ilk deneme olan PPY1Ç1 nolu çalışmada pirol konsantrasyonunun PP/PPy kompozit liflerin yüzey direncine etkisi araştırılmıştır (Tablo 3.4). 1.0 M ve 3.0 M pirol konsantrasyonunda, numunelerin büyük çoğunluğunun çok yüksek değerlere sahip olduğu ve cihazın sınır maksimum değerini geçtiği tespit edilmiştir. Bu lifin homojen kaplanmadığını zaten Şekil 3.23'te bulunan PPY1Ç1 kodlu çalışmaya ait ışık mikroskop görüntüsünden açıkça görülmektedir. Kompozit liflerdeki dirençlerin konsantrasyon değişimi ile orantılı olmadığı ancak 4.0 M ve 14.41 M pirol konsantrasyonlarında ortalama 10^5 ohm cm^{-1} seviyelerine kadar düştüğü ve ölçümlerin tekrarlanabilir olduğu görülmektedir. Şekil 3.18'de bu çalışmaya ait FTIR spektrumları verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi PP lif, PPy tarafından hemen hemen tamamen kaplanmıştır. Bu, PP ye ait piklerin kaybolmasından (1377, 1454) veya çok zayıflamasından (2852, 2925) ve PPy'ye ait piklerin (1177,1543) ortaya çıkmasından açıkça anlaşılmaktadır. Ancak kompozitin bir defa metanol ile yıkanması bile yüzeydeki polimer katmanını sıyırmış PP ye ait pikler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu da polimer lif yüzeyinde polimerin zayıfça tutunduğunu göstermiştir. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da PP/PPy kompozit liflere uygulanan mekanik test sonrası direnç ölçümleri verilmiştir. Uzama ya da mekanik test sonrası PP/PPy kompozit liflerin direnç ölçümü değerlerinde artış

gözlenmekte yani PP/PPy kompozit liflerin iletkenliği üzerinde olumsuz etki göstermektedir.

PPY1Ç2 kodlu çalışmanın, kompozit lif sentezleme yöntemleri ve kullanılan lif PPY1Ç1 kodlu denemesi ile aynı olmasına rağmen, aynı pirol konsantrasyonlarında ölçülen direnç değerleri aynı değildir ve direnç değerlerinde artış gözlenmektedir. 1.0 M, 2.0 M, 3.0 M ve 4.0 M pirol konsantrasyonunda, numunelerin büyük çoğunluğunun çok yüksek değerlere sahip olduğu ve cihazın maksimum sınır değerini geçtiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla hem deney tekrarlanabilirliği hem de yine lifin homojen kaplanamadığı görülmektedir. Yine Şekil 3.23'te bulunan PPY1Ç2 kodlu çalışmaya ait ışık mikroskop görüntüsündeki heterojenlik açıkça görülmektedir.

PPY1Ç3 kodlu çalışma yöntemi; PPY1Ç1 ve PPY1Ç2 kodlu çalışmalar ile aynıdır. Lifte homojen kaplama ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmemesi nedeniyle; diğer iki çalışmada cam çubuklarla deney tüplerine itirilerek yerleştirilen lifler daha homojen bir kaplama elde edebilmek amacıyla ince bir cam çubuğa sarılarak cam çubukla birlikte deney tüplerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.12). Lifler cam çubuğa sarıldığında polimerizasyon sırasında oluşan polimer liflerin birbirlerine yapışmasına neden olmuştur. Özellikle en yüksek konsantrasyondaki lifi cam çubuktan ayırma sırasında zorlanılmıştır. Tablo 3.10 incelendiğinde 0.5 M ve 14.41 M pirol konsantrasyonunda, numunelerin hepsi çok yüksek değerlere sahip olup cihazın sınır maksimum sınır değerini geçtiği tespit edilmiştir. 1.0 M ve 3.0 M pirol konsantrasyonunda, numunelerin büyük çoğunluğunun çok yüksek değerlere sahip olup cihazın sınır maksimum sınır değerini geçtiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak homojen bir kaplama elde edilememiştir. Dolayısıyla liflerin cam çubuğa sarılmasından vazgeçilmiştir.

Tablo 3.11 ve Tablo 3.12'den de anlaşılacağı üzere, uzama ya da mekanik test sonrası PP/PPy kompozit liflerin direnç değerlerinde artış gözlenmekte yani PP/PPy kompozit liflerin iletkenliği üzerinde olumsuz etki göstermektedir.

PETY1Ç4 kodlu çalışmada, üzerinde fenil ve COO fonksiyonel grupları ile hem Fe⁺³ hem de Pirol ile daha iyi etkileşebileceği düşünülen PET life geçilmiştir. Tablo 3.13'teki direnç ölçüm sonuçları incelendiğinde PP life göre PET lif daha iyi iletkenlik değerlerine sahip, daha homojen sonuçlar vermektedir. Fakat 14.41 M pirol konsantrasyonundaki direnç ölçüm değerleri daha düşük konsantrasyondaki değerlerden yüksek okunmuştur. Böyle bir durum bazı çalışmalarda da gözlenen bir durumdur. Liu vd., (2017) yapmış olduğu çalışmada en yüksek ve en düşük pirol konsantrasyonundaki lifler yüksek direnç değeri göstermiş, bunun nedeni pirol konsantrasyonu çok düşük olduğunda, bunun yavaş

reaksiyon oranları ile sonuçlanması ve pirol konsantrasyonu çok büyük olduğunda ise, çözelti içindeki pirol konsantrasyonu lif üzerindeki konsantrasyondan daha fazlasına bağlı olarak çözeltideki polimerizasyon oranı lif üzerindeki polimerizasyon oranından daha fazla olarak açıklamışlardır. Ek olarak reaksiyon çözeltisinde büyük miktarda polipirolün atık olarak biriktiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, bilindiği üzere oksidatif kimyasal polimerizasyon mekanizması iki farklı reaksiyon mekanizması üzerinden yürümektedir. Bu sonuç polimerizasyonun iki farklı mekanizma üzerinden yürümesinden kaynaklanabilir. Örneğin, polimerizasyonda zincir sonlanması gerçekleşip kısa zincirli bir polimerizasyon gerçekleşmiş ise, iletkenlik zincir uzunluğuna bağlı olarak düşük olacaktır. Bu çalışmaya ait FTIR spektrumu Şekil 3.20’de görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi metanol ile yıkanmamış lif üzerinde PPy ait pikler görülmektedir. Ancak yine de saf PET’e ait piklerde şiddetli şekilde görülmektedir. Metanol ile yıkama sonrasında da anlamlı bir değişiklik olmamasına karşın PET’e ait 2925 ve 2854 pikleri zayıf olarak görülmektedir. Bu durum, PET üzerindeki PPy’nin yıkama ile uzaklaşmadığını göstermekte ancak iletken polimerin PET yüzeyinde PP yüzeyine göre daha sıkı etkileştiğini göstermiştir. Yine PETY1Ç4 kodlu çalışmada

Tablo 3.14’te mekanik test sonrası direnç değerlerinde azalma gözlenmektedir. Bu durum, PET liflerinin dokusundan kaynaklanmış olabilir.

PETY1Ç5 kodlu çalışma, PET liflerinin 1. Yöntem kullanılarak polimerleşmesinin tekrarlanabilirliğini kontrol etmek için gerçekleştirilmiştir. PETY1Ç5 kodlu çalışmada, kompozit lif sentezleme yöntemleri ve kullanılan lif PETY1Ç4 kodlu denemesi ile aynı olmasına rağmen, aynı pirol konsantrasyonlarında ölçülen direnç değerleri aynı değildir ve direnç değerlerinde artış gözlenmektedir. 0.5 M, 1.0 M, 2.0 M ve 3.0 M pirol konsantrasyonunda, numunelerin büyük çoğunluğunun çok yüksek değerlere sahip olup cihazın sınır maksimum sınır değerini geçtiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla hem deney tekrarlanabilirliği hem de yine lifin homojen kaplanamadığı görülmektedir. Şekil 3.24’te PETY1Ç4 ve PETY1Ç5 kodlu çalışmaya ait ışık mikroskop görüntüleri direnç ölçüm sonuçlarını doğrulamaktadır. PETY1Ç5 kodlu çalışmadan sonra daha homojen bir lif/PPy kompozit elde etmek için 1. Yöntem terk edilip 2. Yöntem’e geçilmiştir. Ayrıca, 2. Yöntemde üzerinde fonksiyonel grup bulduran PET lif’e yoğunlaştırılmıştır.

PETY2Ç6 ve PETY2Ç8 kodlu çalışmalar birbirinin devamı niteliğindedir. PETY2Ç6 çalışmasında kullanılan Fe^{+3} konsantrasyonunun ($1.6 \times 10^{-3} M - 5.12 \times 10^{-2} M$) düşük olması nedeni ile istenilen hızda polimerleşmenin gerçekleşmemesi üzerine daha yüksek konsantrasyonlarda ($2.56 \times 10^{-2} M - 1.647 M$) PETY2Ç8 çalışması yapılmıştır.

Polimerleşme ilk olarak 0-5°C'de başlatılmış sonrasında yeterli polimerleşme gözlenmeyince oda sıcaklığında 5 gün boyunca polimerleşmeye bırakılmıştır.

Şekil 3.13'te PETY2Ç6 ve PETY2Ç8 kodlu çalışmaların Fe⁺³ konsantrasyonuna karşı direnç ölçümünün birleştirilmiş grafiği bulunmaktadır. Grafikteki verilerden de görüldüğü gibi veriler birbirlerini tamamlar niteliktedir. Tablo 3.17, Tablo 3.21 ve Şekil 3.13 incelendiğinde Fe⁺³ konsantrasyonu 1.60x10⁻³ M ve 3.20x10⁻³ M iken yüksek direnç değerleri gözlenirken 6.40x10⁻³ M ve 5.89x10⁻² M Fe⁺³ konsantrasyonu aralığında ciddi bir direnç değişimi gözlenmemiştir. 5.89x10⁻² M'den daha yüksek Fe⁺³ konsantrasyonlarına çıkıldığında artan Fe⁺³ konsantrasyonu ile birlikte direnç değerlerinde azalma yani yüksek iletkenlik elde edilmiştir. Şekil 3.25b'deki PETY2Ç8 kodlu çalışmaya ait ışık mikroskop görüntüsü cihazdan okunan yüksek iletkenliği doğrulamaktadır.

PETY2Ç8 kodlu çalışmaya ait FTIR spektrumu Şekil 3.21'de görülmektedir. Saf PET in FTIR spektrumunda gözlenen 2925, 2854, 1715, 1244, 1097, 725 cm⁻¹ deki piklerinin PPy kaplı PET ler üzerinden alınan FTIR spektrumunda pik şiddetlerinin çok azaldığı görülmektedir. CH₃OH ile yıkanmış kurutulmuş PPy kaplı yıkanmış PET' in FTIR spektrumuna bakıldığında yeni 3225 cm⁻¹'de ve 2925-2853 cm⁻¹ aralığına yayılmış PPy'ye ait yayvan pik baskın şekilde görülmektedir. Ayrıca 1543 cm⁻¹, 1177 cm⁻¹, 1040 cm⁻¹'de PPy'ye ilişkin pikler görülmektedir. Şekil 3.21'den de kolayca anlaşılacağı gibi yıkama sonrasında bile PET üzerindeki PPy tabakası uzaklaşmamıştır. Yıkama prosesinden sonra piklerin şiddetindeki azalma yüzeyde tutunamayan PPy'lerin varlığını göstermektedir.

Her iki çalışma içinde mekanik test sonrası direnç ölçüm değerlerinde çok anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir (Tablo 3.18 ve Tablo 3.22).

PPY2Ç7 kodlu çalışmada ise PETY2Ç6 ve PETY2Ç8 kodlu çalışmaların polimerizasyon yöntemi ile aynı yöntem kullanılmış olup lif türünde değişiklik yapılmıştır. PPY2Ç7 kodlu çalışmada, 2. Yöntemde PP lifin iletkenlik davranışı incelenmiştir. Tablo 3.19 ve Tablo 3.20 incelendiğinde liflerin büyük çoğunluğunun çok yüksek direnç değerlerine sahip olup cihazın maksimum sınır değerini geçtiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak homojen bir kaplama elde edilememiştir. Şekil 3.25a'daki PPY2Ç7 kodlu çalışmaya ait ışık mikroskop görüntüsü homojen olmayan yüzeyi göstermektedir ve yüksek direnç değerlerini doğrulamaktadır. Şekil 3.19'da bu çalışmaya ait FTIR grafikleri verilmiştir. PPY1Ç1 çalışmasında elde edilen FTIR ile bu çalışmaya ilişkin FTIR karşılaştırılırsa PP lifin hemen hemen hiç PPy ile kaplanmadığı görülmektedir. Metanol ile yıkama sonrasında da anlamlı herhangi bir değişiklik olmamıştır. İki çalışmanın iletkenlik değerleri de karşılaştırıldığında sonuçlar FTIR grafiklerini desteklemektedir (Tablo 3.4, Tablo 3.19). İki çalışma arasında

temel fark ise kullanılan yöntem olduğundan 2. Yöntemin PP için uygun olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak; 2. Yöntemle PP/PPy kompozit lif elde etmek amacı ile PP lif yüzeyinin yüzey modifikasyon yöntemleri ile aktive edilmesinin gerekliliği de ortaya konulmuş ve ayrıca polimer-çözücü (PP-Pirol) etkileşmesinin yeterli olmadığını göstermiştir.

PETY2Ç9 ve PETY2Ç10 kodlu çalışmalarda direnç üzerine süre etkisini belirleyebilmek için yapılmış birbirinin devamı niteliğinde olan çalışmalardır. Bu çalışmalar sırasında; PETY2Ç6 ve PETY2Ç8 çalışmaları dikkate alınarak sabit ve optimum Fe^{+3} (7.16×10^{-1} M) konsantrasyonu ve optimum pirol (4.0 M) konsantrasyonu seçilmiş ve polimerizasyon sıcaklığı tüm polimerizasyon boyunca 0-5 °C de sabit tutulmuştur. Çalışma 73 saate kadar çeşitli zaman aralıklarında izlenmiştir. Tablo 3.23'ten görüldüğü gibi 150-360 dk süre aralığından itibaren anlamlı direnç değerleri ölçülmeye başlanmış fakat homojen bir polimerizasyon elde edilememiştir. 1770.dk'den itibaren iletkenlik değerlerinde artış gözlenmiştir. 10^6 - 10^4 ohm/cm bandında direnç değerleri elde edilmiştir. Genel olarak bu çalışmada polimerizasyon süresi arttıkça iletkenlikte artış gözlenmektedir. Mekanik test sonrası liflerin iletkenlik değerlerinde anlamlı bir değişiklik meydana gelmemiştir.

Şekil 3.26'da PETY2Ç10 kodlu çalışmaya ait işlem görmemiş PET lif ve 29, 55, 73 saat polimerizasyon sonrası PET life ait birleştirilmiş DSC termogramları yer almaktadır. Liflerin yapısı nedeni ile DSC numune kaplarına yeterince numune konulamadığından ısı akış değerleri düşük kalmıştır ve bu yüzden DSC eğrileri birbiri ile uyumlu bir şekilde elde edilememiştir.

PETY2Ç11 kodlu çalışma, PETY2Ç9 ve PETY2Ç10 kodlu çalışmaların polimerizasyon yöntemi ile aynı yöntem kullanılmış olup polimerizasyon oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14'te PETY2Ç9 ve PETY2Ç10 ve PETY2Ç11 kodlu çalışmaların farklı polimerizasyon sıcaklıklarında zamana karşı direnç değerlerini gösteren birleştirilmiş grafiği bulunmaktadır. Grafikten görüldüğü gibi 0°C'de gerçekleştirilen polimerleşme reaksiyonu 25 °C'de gerçekleştirilen polimerleşme reaksiyonuna göre daha yavaş ilerlemektedir. 25 °C'de gerçekleştirilen polimerleşme reaksiyonu yaklaşık 400 dk.'de tamamlanmış olup bu dakikadan sonra direnç değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. 0 °C 1500 dk. civarında elde edilen direnç değeri, 25 °C'de yaklaşık 400 dk.'de yakaladığı için polimerizasyon oda sıcaklığında gerçekleştirilebilir ve polimerizasyon için yaklaşık 400 dk. yeterlidir. Genel olarak; çalışılan her iki sıcaklık için zamanla iletkenlikte artış gözlenmektedir. Mekanik test sonrası sonuçlar incelendiğinde;

Şekil 3.15'ten de anlaşılacağı üzere mekanik test öncesi direnç değeriyle mekanik test sonrası direnç değerlerinde anlamlı bir değişiklik meydana gelmemiştir.

PETY2Ç12 kodlu çalışmada; önceki çalışmalardan elde edilmiş optimum çalışma şartları ($t=0-5$ °C, $[Fe^{+3}] = 7.16 \times 10^{-1}$ M) dikkate alınarak 4 gün sonunda pirol konsantrasyonunun iletkenlik üzerine etkisi araştırılmıştır. Tablo 3.27'den görüldüğü gibi 0.5 M konsantrasyona kadar iletkenlik değerleri istenilen seviyeye ulaşmamıştır. 1.0 M'den sonra daha iyi iletkenlik değerleri elde edilmiştir. 2.0 M ve üzeri konsantrasyonlarda anlamlı iletkenlik değişimleri elde edilmemiştir (Şekil 3.16). Bu çalışmanın sonucunda 1.0 M pirol konsantrasyonunda çalışma ile daha yüksek konsantrasyonlarda pirol ile çalışma arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 3.16). Yüksek iletkenlik elde etmek için 1.0 M pirol konsantrasyonunun uygun olduğu bulunmuştur.

Şekil 3.17'de ise PETY2Ç12 kodlu çalışmaya ait mekanik test öncesi ve mekanik test sonrası direnç değerleri karşılaştırılması gösterilmektedir. Tablo 3.27 ve Tablo 3.28'de bulunan 4.0 M pirol konsantrasyonuna karşılık gelen direnç değerleri Şekil 3.17'de yer almamaktadır. Çünkü 4.0 M konsantrasyonundaki pirol çözeltisi polimerizasyondan 1 hafta öncesinde hazırlanmıştır. *Taze pirol ile çalışmanın önemini vurgulamak için tabloya eklenmiştir.* Şekil 3.17'deki A eğrisi; Tablo 3.28'de 1.0 M pirol konsantrasyonunda muhtemelen hatalı ölçülen iki direnç değeri atıldıktan sonra ortalama direnç değerindeki değişmeyi göstermektedir. Hatalı ölçülen direnç değerleri göz önünde bulundurulmazsa, grafikten de anlaşılacağı üzere mekanik test sonrası iletkenlik değerlerinde anlamlı bir değişme gözlenmemektedir.

5. GENEL SONUÇLAR

1. 1.Yöntem; hem PP lif/PPy hem de PET lif/PPy kompozit lif elde etmede homojen kaplama ve tekrarlanabilir sonuçlar vermemiştir. 1. Yöntemde, $FeCl_3$ polimer liflerin içine diffüzenemeyeceğinden polimerizasyon yüzeyde tutulan $FeCl_3$ ile gerçekleşmiştir.
2. Genel olarak; 1.Yöntemde PPy'nin, sadece PP ve PET liflerin yüzeyine fiziksel olarak tutunduğu düşünülmektedir. Çünkü 1.Yöntemle elde edilen liflere elle dokunulduğunda üzerinde toz toz dökülmeler gözlenmiş, yıkama sonucuna ise lif yüzeyleri çıplak hale gelmiştir.
3. 2.Yöntem PET lif için homojen kaplama ve yüksek iletkenlik sonuçları vermiştir. PP lif 2.Yöntem 1. Yöntem kadar bile başarılı olmamıştır. Dolayısıyla, 2.Yöntemle PET lif ile elde sonuçlar dikkate alındığında, PP/PPy kompozit lif elde etmek için PP lif yüzeyi yüzey modifikasyon yöntemleri ile aktive edilmeli sonucuna ulaşılmıştır.
4. 2.Yöntem'de polimerizasyonun tamamlanabilmesi için 1. Yönteme göre çok daha uzun reaksiyon zamanlarına ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu da polimerizasyonun yalnızca yüzeyde değil kısmen polimer lifin iç kısmında gerçekleştiğinin kanıtıdır.
5. 2.Yöntem ile elde edilen iletken PET lifleri mekanik test sonrasında bile iletkenlik değerlerinde anlamlı bir değişme olmaması, PET-PPy etkileşiminin iyi olduğunun ve PPy'nin yalnızca yüzeyde bir kaplama şeklinde bulunmadığının kanıtıdır.
6. Literatürdeki çözelti fazında ve homojen sistemlerde gerçekleştirilen pirol polimerizasyonu sırasında ortam sıcaklığının $0-5^{\circ}C$ olmasının elde edilen iletken polimerin iletkenliği açısından önemli bir faktör olarak gösterilmesine karşın, heterojen fazda gerçekleştirilen çalışmalarımızda bu sıcaklığın önemli olmadığı oda sıcaklığında da benzer sonuçların elde edilebileceği, PETY2Ç9 ve PETY2Ç10 ve PETY2Ç11 kodlu çalışmalardan görülmüştür.
7. PETY2Ç11 kodlu çalışma sonucu elde edilen verilerden, 1.0 M pirol konsantrasyonunda çalışma ile daha yüksek konsantrasyonlarda pirol ile çalışma arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 3.16). Yeterince yüksek iletkenlik elde etmek için çalışmadaki diğer reaksiyon şartları aynı kalmak koşulu ile 1.0 M pirol konsantrasyonunun yeterli olduğu bulunmuştur. Bu sonuç; lif/PPy iletken lif üretimi süreci sanayiye aktarıldığında, ekonomik üretim açısından önemli bir bulgu olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Adamhasan, A. S. (2008). Poliester/polianilin, pamuk polianilin kompozit kumaşlarının hazırlanması ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Adıyaman, C. (2013). PEO-Lİ ve PEO-PANİ jel elektrotların sentezlenmesi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Çorum.
- Ahmad, Z., Choudhary, M. A., Mehmood, A., Wakeel, R., Akhtar, T., & Rafiq, M. A. (2016). Synthesis of polypyrrole nano/microspheres using cobalt(III) as an oxidizing agent and its ammonia sensing behavior. *Macromolecular Research*, 24(7), 596-601.
- Akşit, A., & Onar, N. (2014). Polianiline ve polipirol kaplanan pamuklu kumaşların elektromanyetik koruyuculuk ve iletkenlik özellikleri. *Tekstil ve Mühendis(67)*, 10-16.
- Altay, A. (2010). Hidrofobik grup içeren poli (N-izopropilakrilamid) hidrojellerin sentezi ve bunların faz-geçiş (LCST) sıcaklıklarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Konya.
- Ansarı, R. (2006). Polypyrrole conducting electroactive polymers: synthesis and stability studies. *E-Journal of Chemistry*, 3(4), 186-201.
- Aydın, Y. (2012). İletken polimerlerin içerisinde enzim tutuklamasıyla yapılan biyosensörler. 4. Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı, Karaman.
- Aydın, Z. (2007). İletken poli(etilenteraftalat)/polipirol kompozit liflerinin kimyasal polimerizasyonla hazırlanması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- Bilici, İ. (2012). Atık plastiklerden kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- Coşkun, K. (2009). Kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle iletken polimerlerin sentezi ve membran uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Isparta.
- Çelik Bedeloğlu, A., Sünter, N., & Bozkurt, Y. (2017). Elektriksel olarak iletken tekstil yapıları, üretim yöntemleri ve kullanım alanları. *Tekstil ve Mühendis(79)*, 8.
- Dağ, Ü. (2010). Sodyumhipoklorit ile iletken polianilin sentezi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- Dall'Acqua, L., Tonin, C., Varesano, A., Canetti, M., Porzio, W., & Catellani, M. (2006). Vapour phase polymerisation of pyrrole on cellulose-based textile substrates. *Synthetic Metals*, 156(5-6), 379-386.

- De Rossi, D., Della Santa, A., & Mazzoldi, A. (1999). Dressware: wearable hardware. *Materials Science and Engineering*, 7(1), 31-35.
- Debnath, S., Ranade, R., Wunder, S. L., Baran, G. R., Zhang, J., & Fisher, E. R. (2005). Chemical surface treatment of ultrahigh molecular weight polyethylene for improved adhesion to methacrylate resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(5), 1564–1572.
- Djebara, M., Stoquert, J. P., Abdesselam, M., Muller, D., & Chami, A. C. (2012). FTIR analysis of polyethylene terephthalate irradiated by MeV He⁺. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 274, 70-77.
- Doyranlı, C. (2016). Tiyol-en klik kimyası yoluyla çapraz bağlanabilen donör-akseptör tipi iletken polimerlerin sentezi, optik ve elektrokimyasal karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Ekici, C. (2012). TlBi(1-x)Sb(x)Te₂ kristallerinin fiziksel özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Erdem, N., Erdoğan, Ü. H., & Akşit, A. (2015). Nano-kompozit polipropilen filamentlerin üretimi ve özellikleri. *The Journal of Textiles and Engineers*(69).
- Erdem, S. (2013). Geri dönüştürülmüş PET lifi-alçı kompozitlerinin özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Esencan Türkaslan, B. (2006). İletken polimer-kil kompozitlerinin sentezi ve bu kompozitlerin adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Isparta.
- Eskin, B. (2010). Islaklık hissi oluşturmeyen su buharı emebilen liflerin özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği, İstanbul.
- Fang, J., Zhang, L., Sutton, D., Wang, X., & Lin, T. (2012). Needleless melt-electrospinning of polypropylene nanofibers. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 1-9.
- Guerchouche, K., Herth, E., Calvet, L. E., Roland, N., & Loyez, C. (2017). Conductive polymer based antenna for wireless green sensors applications. *Microelectronic Engineering*, 182, 46-52.
- Guimard, N. K., Gomez, N., & Schmidt, C. E. (2007). Conducting polymers in biomedical engineering. *Progress in Polymer Science*, 32(8-9), 876-921.
- Jain, R., Jadon, N., & Pawaiya, A. (2017). Polypyrrole based next generation electrochemical sensors and biosensors: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 97, 363-373.
- Kim, B., Koncar, V., Devaux, E., Dufour, C., & Viallier, P. (2004). Electrical and morphological properties of PP and PET conductive polymer fibers. *Synthetic Metals*, 146(2), 167-174.

- Kızılelma, D. (2013). Prolün florosülfonik asit ve klorosülfonik asit varlığında elektrokimyasal polimerizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı Ankara.
- Köse, H. (2015). Yüksek Lisans Tezi. *Polipirol ve poli(3,4-etilendioksitiyofen) ile kaplanmış kumaşların elektriksel ve elektromanyetik ekranlama davranışlarının araştırılması*, 3.
- Köse, M. (2010). Teknik tekstil malzemeleri : Plazma polimerizasyonu tekniği ile iletken lif üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Kulak Taştemürlü, A. D. (2010). İletken polimer sentezi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Kutunis, S. (2002). Poli(etilen teraftalat) dokumalar üzerine anilinin kimyasal polimerizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- Lin, S. P., Han, J. L., Yeh, J. T., Chang, F. C., & Hsieh, K. H. (2007). Surface modification and physical properties of various UHMWPE fiber reinforced modified epoxy composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 104(1), 655–665.
- Liu, Y., Liu, Y., & Zhao, X. (2017). The influence of pyrrole concentration on the dielectric properties of polypyrrole composite material. *The Journal of the Textile Institute*(108), 1246-1249.
- Lu, G., Li, X., & Jiang, H. (1996). Electrical and shielding properties of ABS resin filled with nickel-coated carbon fibers. *Composites Science and Technology*, 56(2), 193-200.
- Machida, S., Miyata, S., & Techagumpuch, A. (1989). Chemical synthesis of highly electrically conductive polypyrrole. *Synthetic Metals*, 31(3), 311-318.
- Maddah, H. A. (2016). Polypropylene as a promising plastic : A Review. *American Journal of Polymer Science*, 6(1), 1-11.
- Mazzoldi, A., De Rossi, D., Lorussi, F., Scilingo, E. P., & Paradiso, R. (2002). Smart textiles for wearable motion capture systems. *AUTEX Research Journal*, 2(4).
- MEB. (2013). Polipropilen türevleri ve prosesleri. (4 Nisan 2020), http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Propilen%20T%C3%BCrevleri%20Ve%20Prosesleri.pdf adresinden alındı
- Mishra, A. K. (2018). Conducting polymers: Concepts and applications. *Journal of Atomic, Molecular, Condensate & Nano Physics*, 5(2), 159-193.
- Pomfret, S. J., Adams, P. N., Comfort, N. P., & Monkman, A. P. (1999). Advances in processing routes for conductive polyaniline fibres. *Synthetic Metals*, 101(1-3), 724-725.
- Saçak, M. (1994). *Lif Kimyası*. Ankara: A.Ü.F.F Döner Sermaye İşletmesi Yayınları.

- Saçak, M. (1998). *Polimer kimyasına giriş*. Ankara: A.Ü.F.F Döner Sermayesi İşletmesi Yayınları.
- Sarı, F. (2013). Elektrokromik uygulamalarda kullanılacak diaminobenzo[C] sinnolin-5-oksit temelli yeni polimer ve polimer kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Sayar, N. (2008). Pem yakıt hücrelerinde platinsiz metal nanokompozit katalizörler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Selçuk, S. (2010). İletken zeolit/polipirol kompozitinin hazırlanması, karakterizasyonu ve nem ile sıcaklığa karşı sensör özelliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- Silverstein, M. S., & Breuer, O. (1993). Relationship between surface properties and adhesion for etched ultra-high-molecular-weight polyethylene fiber. *Composites Science and Technology*, 48(1-4), 151-157.
- Stefánsson, A. (2007). Iron (III) hydrolysis and solubility at 25°C. *Environmental Science & Technology*, 41(17), 6117-6123.
- Şat, F. (2010). Yarıiletkenlerde İletkenlik Ölçümleri. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Mersin.
- Şimşek, S. (2014). 2-Aminobenzo(c)sinnolin içeren polimer ve kopolimerlerin üretimi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Tang, S. L. (2007). Recent developments in flexible wearable electronics for monitoring applications. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 29, 283–300.
- Tanrısever, T. (2020). Deney 3: Polimerin çözücüsünde şişme dengesi. (4 Nisan 2020), http://lisans.cozum.info.tr/dersler/fizikokimya_lab/Deney3.pdf adresinden alındı
- Tanrıverdi, F. (2007). Bazı hidrojellerin sentezi ve şişme özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Konya.
- Tao, X., Koncar, V., Dufour, C., Onar, N., & Akşit, A. (2015). Piro/Anilin kopolimerleri ile kaplanan PET nonwoven kumaşların yapısal ve elektriksel özellikleri. *Tekstil ve Mühendis*(72).
- Teodoru, S., Kusano, Y., Rozlosnik, N., & Michelsen, P. K. (2009). Continuous plasma treatment of ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) fibers for adhesion improvement. *Plasma Processes and Polymers*, 6(S1), S375–S381.
- Torres-Huerta, A. M., Angel-López, D. D., Domínguez-Crespo, M. A., Palma-Ramírez, D., Perales-Castro, M. E., & Flores-Vela, A. (2016). Morphological and mechanical properties dependence of PLA Amount in PET matrix processed by single-screw extrusion. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 672-683.

- Tripathi, D. (2002). *Practical guide to polypropylene*. Rapra Technology LTD.
- Türkçü, H. N. (2004). Investigation of the crystallinity and orientation of polypropylene with respect to temperature changes using FT-IR, XRD, and RAMAN techniques. Degree of Master of Science, Chemistry and The Institute of Engineering and Sciences of Bilkent University, Ankara.
- Varesano, A., Tonin, C., Ferrero, F., & Stringhetta, M. (2008). Thermal stability and flame resistance of polypyrrole-coated PET fibres. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 94(2), 559–565. doi:https://doi.org/10.1007/s10973-007-8639-x
- Vernitskaya, T. V., & Efimov, O. N. (1997). Polypyrrole: a conducting polymer; its synthesis, properties and applications. *Russian Chemical Reviews*, 66(5), 443-457.
- Xin Jin, W. W. (2011). The effect of polypyrrole coating on the adhesion and structure properties of UHMWPE fiber. *Synthetic Metals*.
- Xue, P. T. (2005). *Electromechanical properties of conductive fibres, yarns and fabrics*. Hong Kong.
- Xue, P., & Tao, X. M. (2005). Morphological and electromechanical studies of fibers coated with electrically conductive polyme. *Journal of Applied Polymer Science*, 98(4), 1844–1854.
- Yılmaz, M. (2010). Poli-[N-(ferrosenilmetil)-M-fenilen diamin]'in sentezi, elektrokimyasal ve elektrokromik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sıçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Yue, B., Wang, C., Ding, X., & Wallece, G. G. (2013). Electrochemically synthesized stretchable polypyrrole/fabric electrodes for supercapacitor. *Electrochimica Acta*, 113, 17-22.
- Yussuf, A., Al-Saleh, M., Al-Enezi, S., & Abraham, G. (2018). Synthesis and characterization of conductive polypyrrole: The influence of the oxidants and monomer on the electrical, thermal, and morphological properties. *International Journal of Polymer Science*, 2018, 1-8.
- Zhen Zheng, X. T. (2003). A study of the influence of controlled corona treatment on UHMWPE fibres in reinforced vinylester composites. *Polymer International*, 52:1833–1838.
- Zheng, X. T. (2004). Surface modification of ultrahigh molecular weight polyethylene fibers. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 42, 463–472.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Nahide Elif AŞCI KIYMAZ

Doğum Yeri/Tarihi : Vezirköprü/20.10.1986

e-posta : elif__asci@hotmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Yüksek Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya	2017-
Lisans	Hacettepe Üniversitesi/Fen Fakültesi Kimya	2006-2011
Lise	Tülay Başaran Anadolu Lisesi/Fen Bilimleri	2001-2005