

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİMİ DESTEKLEMeye
YÖNELİK ÇEVRE DOSTU KOMPOZİT İPLİK
TASARIMI**

Gamze SAKALLI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİMİ DESTEKLEMeye YÖNELİK ÇEVRE DOSTU
KOMPOZİT İPLİK TASARIMI**

Gamze SAKALLI
0000-0001-5173-6593

Prof. Dr. Aslı HOCKENBERGER
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Gamze SAKALLI tarafından hazırlanan “SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİMİ DESTEKLEMeye YÖNELİK ÇEVRE DOSTU KOMPOZİT İPLİK TASARIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof Dr. Aslı HOCKENBERGER

Başkan :	Prof. Dr. Aslı HOCKENBERGER 0000-0001-5186-9716 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Bilimleri Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Prof. Dr. Rıza ATAV 0000-0002-5807-4542 Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekstil Bilimleri Anabilim Dalı	İmza
U.Ü.		
Üye :	Prof. Dr. Sunay ÖMEROĞLU 0000-0002-1618-6562 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././.....

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

17/03/2022

Gamze SAKALLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİMİ DESTEKLEMeye YÖNELİK ÇEVRE DOSTU KOMPOZİT İPLİK TASARIMI

Gamze SAKALLI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aslı HOCKENBERGER

Dünya nüfus artışına paralel olarak insan yaşamı için temel endüstri alanlarından olan tekstil endüstrisinde de ihtiyaca ve talebe yönelik üretim artışı gerçekleşmektedir. Bu artış şüphesiz zaman geçtikçe katlanarak devam edecektir. Ancak kazanç odaklı bilinçsiz üretim ve bilinçsiz tüketim geri dönüşü olmayan doğa tahribatı ve canlı ölümlerini beraberinde getirmiştir. Bu durum dünyamız için her geçen gün daha ciddi tehdit oluşturmaktadır. Kısıtlı hammadde kaynaklarının git gide azalması yeni ürünlerin ortaya konmasını zorlaştırmakla birlikte, hammadde fiyatlarını arttırmaktadır. Bu çalışmada, doğada çözünebilen, geri dönüştürülmüş ve geri dönüşümü mümkün olan sentetik ipliklerle kompozit iplikler elde edilmiştir ve bu ipliklerle üretilen dokuma kumaşlarla, konvansiyonel olarak üretilen ve sık kullanılan ipliklerle üretilen dokuma kumaşlar kıyaslanmıştır. Bu tezle amaçlanan sürdürülebilir, çevre dostu hammaddelerle üretilen ürünlerin yaygın olarak kullanılan ve doğaya zararlı hammaddelerle üretilen ürünlerle performans ve kullanılabilirlik açısından önemli farklılıkların olmadığını ortaya koyarak, çevre dostu ve sürdürülebilir ürünlerin hem üretim aşamasında hem de tüketim ayağında yaygınlaşmasına destek olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir üretim, geri dönüşüm, çevre dostu, kompozit iplik, yeşil üretim

2022, ix + 86 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ECO-FRIENDLY COMPOSITE YARN DESIGN TO SUPPORT SUSTAINABLE PRODUCTION

Gamze SAKALLI

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ash HOCKENBERGER

Parallel to the world population growth, the textile industry, which is one of the key industry areas for human life, also increases production to reach the needs and the demands. This increase will undoubtedly continue exponentially as time goes on. However, profit-oriented unconscious production and unconscious consumption have brought about irreversible destruction of nature and death of living things. This situation poses a more serious threat to our world day by day. The gradual decrease in limited raw material resources makes it difficult to introduce new products, but also increases raw material prices. In this study, composite yarns were obtained with biodegradable, recycled and recyclable synthetic yarns, and woven fabrics produced with these yarns were compared with woven fabrics produced with conventional and frequently used yarns. The aim of this thesis is to support the dissemination of environmentally friendly and sustainable products both in the production phase and in the consumption phase, by demonstrating that the products produced with sustainable, environmentally friendly raw materials do not differ significantly in terms of performance and usability with the products produced with widely used and environmentally harmful raw materials.

Key words: Sustainable production, recycling, environmentally friendly, composite yarn, green production

2022, ix + 86 pages.

ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Lisans öğrenimimden bu yana desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Aslı HOCKENBERGER'e, laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan yüksek mühendis Mehmet TİRİTOĞLU'na, tezimin başlangıcından bu yana birçok aşamada bana katkı sunan ve motivasyonumu yükselten Ustaoğlu Tekstil AR-GE Merkezi'nde görev yapan iş arkadaşlarıma, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda olduğu gibi öğrenim hayatımda da arkamda duran ve bana güç veren canım aileme ve sevgili nişanlım Tolga ÖZBAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Gamze SAKALLI
17/03/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Polyester Lifi.....	3
2.2. Polietilen Tereftalat (PET) Lifleri.....	4
2.3. Recycle Polietilen Tereftalat (R-PET) Lifleri.....	7
2.4. Biodegradable Recycle Polietilen Tereftalat (BİO-RPET) Lifleri.....	9
2.5. Polibütillen Tereftalat (PBT) Lifleri.....	12
2.6. Politrimetilen Tereftalat (PTT) Lifleri.....	15
2.7. Polietilen Tereftalat (PET) – Politrimetilen Tereftalat (PTT) Bikomponent Lifleri.....	17
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Kompozit iplik üretimi.....	20
3.2.2. Kompozit ipliklerden kumaş üretimi.....	22
3.2.3. İpliklere uygulanan test ve deneyler.....	24
3.2.3.1. İplik numara tayini.....	24
3.2.3.2. İpliklerin mikroskop görüntüsü.....	26
3.2.3.3. İplik çekme deneyleri.....	26
3.2.3.4. Kumaştan çıkarılan ipliğin kıvrım oranı tayini.....	27
3.2.4. Tez kapsamında üretilen kumaşlara uygulanan test ve deneyler.....	28
3.2.4.1. Gramaj Ölçümü.....	28
3.2.4.2. Kalınlık Ölçümü.....	30
3.2.4.3. Kumaş Çekme Deneyi.....	30
3.2.4.4. Kumaş aşınma dayanımı testi.....	31
4. BULGULAR (BULGULAR ve TARTIŞMA).....	33
4.1. İpliklere uygulanan test ve deney sonuçları.....	33
4.1.1. İplik numara tayini sonuçları.....	33
4.1.2. İpliklerin mikroskop görüntüleri.....	36
4.1.3. İplik çekme deney sonuçları.....	43
4.1.4. Kumaştan çıkarılan ipliklerin kıvrım ölçümü sonuçları.....	51
4.2. Tez kapsamında üretilen kumaşlara uygulanan test ve deney sonuçları.....	55
4.2.1. Gramaj ölçümü sonuçları.....	55
4.2.2. Kalınlık ölçümü sonuçları.....	57
4.2.3. Kumaş çekme deneyi sonuçları.....	59
4.2.4. Kumaş aşındırma dayanımı test sonuçları.....	68
5. SONUÇ (TARTIŞMA ve SONUÇ).....	77
KAYNAKLAR.....	79

ÖZGEÇMİŞ	86
----------------	----

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	Derece santigrad
m	Metre
T _m	Erime sıcaklığı
dak	Dakika
gr	Gram

Kısaltmalar	Açıklama
PET	Polietilen tereftalat
PBT	Polibütillen tereftalat
PTT	Politrimetilen tereftalat
RPET	Recycle polietilen tereftalat
BİO-RPET	Biodegradable recycle polietilen tereftalat
EG	Etilen glikol
ICI	Imperial Chemical Industries
MRM	Mekanik geri dönüşüm yöntemi
DMT	Dimetil Tereftalat
BDO	Bütandiol
TPA	Tereftalik asit
PDO	Propan diol

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Polietilen tereftalat (PET)'ın molekül yapısı	5
Şekil 2.2. Ayırışma süreci	11
Şekil 2.3. BİO-PET ipliklerin biyolojik bozunma süreci	11
Şekil 2.4. PBT tekrar birimi	12
Şekil 2.5. PBT polimerinin DMT ile üretimi	13
Şekil 2.6. PBT polimerinin TPA ile üretimi	13
Şekil 2.7. PBT polimerinin kimyasal formülü	14
Şekil 2.8. PDO'nun sentezi	16
Şekil 2.9. PTT'nin kimyasal formülü	16
Şekil 3.1. Katlama Makinası	21
Şekil 3.2. Büküm Makinası	22
Şekil 3.3. Dokuma Makinası	23
Şekil 3.4. Ramöz makinası	24
Şekil 3.5. Çıkrık	25
Şekil 3.6. Hassas terazi	25
Şekil 3.7. Mikroskop	26
Şekil 3.8. Shimadzu Ag-X Plus çekme cihazı	27
Şekil 3.9. Shirley kıvrım tespit cihazı	28
Şekil 3.10. Gramaj ölçüm aleti	29
Şekil 3.11. Hassas terazi	29
Şekil 3.12. Kalınlık ölçüm cihazı	30
Şekil 3.13. Nu-Martindale aşınma ve boncuklanma test cihazı	31
Şekil 4.1. Kompozit iplik bileşenlerinin Tex cinsinden iplik numara değer grafiği	34
Şekil 4.2. Kompozit ipliklerin Tex cinsinden iplik numara değer grafiği	36
Şekil 4.3. Polietilen tereftalat (PET) ipliğın mikroskop görüntüsü	37
Şekil 4.4. Recycle polietilen tereftalat (r-PET) ipliğın mikroskop görüntüsü	37
Şekil 4.5. Biodegradable polietilen tereftalat (BİO-PET) ipliğın mikroskop görüntüsü	37
Şekil 4.6. Polibütillen tereftalat (PBT) ipliğın mikroskop görüntüsü	38
Şekil 4.7. Bikomponent polietilen tereftalat-politrimetilen tereftalat (BİCO-PET) ipliğın mikroskop görüntüsü	38
Şekil 4.8. PET/PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	38
Şekil 4.9. PET/r-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	39
Şekil 4.10. PET/BİO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	39
Şekil 4.11. PET/PBT kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	39
Şekil 4.12. PET/BİCO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	40
Şekil 4.14. r-PET/BİO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	40
Şekil 4.15. r-PET/PBT kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	41
Şekil 4.16. r-PET/BİCO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	41
Şekil 4.17. BİO-PET/BİO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	41
Şekil 4.18. BİO-PET/PBT kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	42
Şekil 4.19. BİO-PET/BİCO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	42
Şekil 4.20. PBT/PBT kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	42
Şekil 4.21. PBT/BİCO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	43
Şekil 4.22. BİCO-PET/BİCO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü	43

Şekil 4.23. Kompozit iplik bileşenlerinin ortalama kopma yükü grafiği.....	44
Şekil 4.24. Kompozit iplik bileşenlerinin ortalama kopma uzaması grafiği.....	45
Şekil 4.25. Kompozit iplik bileşenlerinin ortalama kopma dayanımı grafiği.....	46
Şekil 4.26. Kompozit ipliklerin kopma yükü grafiği	48
Şekil 4. 27. Kompozit ipliklerin ortalama kopma uzaması grafiği	50
Şekil 4.28. Kompozit ipliklerin kopma dayanımı grafiği	51
Şekil 4.29. Kumaşların atkı yönünden çıkarılan ipliklerin % kıvrım değerleri grafiği...	53
Şekil 4.30. Kumaşların çözgü yönünden çıkarılan ipliklerin % kıvrım değerleri grafiği	55
Şekil 4.31. Ortalama kumaş gramaj ölçüm değerleri grafiği	57
Şekil 4.32. Ortalama kumaş kalınlık ölçüm değerleri grafiği	59
Şekil 4.33. Kumaşların atkı yönü için ortalama kopma yükü grafiği	61
Şekil 4.34. Kumaşların atkı yönü için ortalama kopma uzaması grafiği	63
Şekil 4.35. Kumaşların çözgü yönü için ortalama kopma yükü grafiği.....	65
Şekil 4.36. Kumaşların atkı yönü için kopma uzaması grafiği	67
Şekil 4.37. 1.,2.,3.,4.,5. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası 68 görselleri (1.Deneme).....	68
Şekil 4.38. 6.,7.,8.,9.,10. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (1.Deneme).....	69
Şekil 4.39. 11.,12.,13.,14.,15. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (1.Deneme)	70
Şekil 4.40. 1.,2.,3.,4.,5. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (2.Deneme).....	71
Şekil 4.41. 6.,7.,8.,9.,10. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (2.Deneme).....	72
Şekil 4.42. 11.,12.,13.,14.,15. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (2.Deneme)	73
Şekil 4.43. 1.,2.,3.,4.,5. Kumaşların test öncesi, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (3.Deneme)	74
Şekil 4.44. 6.,7.,8.,9.,10. kumaşların test öncesi, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (3.Deneme)	75
Şekil 4.45. 11.,12.,13.,14.,15. kumaşların test öncesi, 10000, 15000, 20000, 25000,.... 30000 devir sonrası görselleri (3.Deneme)	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin özellikleri.....	20
Çizelge 4.1. Kompozit iplik oluşturmak için kullanılan ipliklerin ortalama iplik numara ölçüm değerleri.....	33
Çizelge 4.2. Kompozit ipliklerin ortalama iplik numara ölçüm değerleri	35
Çizelge 4.3. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma yükü ölçüm sonuçları.....	44
Çizelge 4.4. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma uzaması ölçüm sonuçları	45
Çizelge 4.5. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma dayanımı ölçüm sonuçları	46
Çizelge 4.6. Kompozit ipliklerin ortalama kopma yükü ölçüm sonuçları	47
Çizelge 4.7. Kompozit ipliklerin ortalama kopma uzaması ölçüm sonuçları.....	49
Çizelge 4.8. Kompozit ipliklerin ortalama kopma dayanımı ölçüm sonuçları	50
Çizelge 4.9. Kumaşlardan çıkarılan ipliğin atkı yönündeki ortalama kıvrım testi sonuçları	52
Çizelge 4.10. Kumaşlardan çıkarılan ipliğin çözgü yönündeki ortalama kıvrım testi sonuçları	54
Çizelge 4.11. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların ortalama gramaj ölçüm sonuçları	56
Çizelge 4.12. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların ortalama kalınlık ölçüm sonuçları	58
Çizelge 4.13. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların atkı yönündeki ortalama kopma yükü deney sonuçları.....	60
Çizelge 4.14. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların atkı yönündeki ortalama kopma uzaması deney sonuçları.....	62
Çizelge 4.15. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların çözgü yönündeki ortalama kopma yükü sonuçları	64
Çizelge 4.16. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşın çözgü yönündeki ortalama kopma uzaması sonuçları	66

1. GİRİŞ

İnsan nüfusunun artışı, buna bağlı olarak tüketimin her geçen gün artan bir ivme göstermesi, sanayi ve teknolojik gelişmelerin kazanç odaklı olması, toplumsal kaynakların sorumsuzca ve gereğinden fazla kullanılması geri dönüşü olmayan doğa tahribatını ve canlı ölümlerini de yadsınamaz şekilde beraberinde getirmiştir. Bu sebeple çevre dostu, sürdürülebilir ürünlerin yaygınlaşması yalnızca “etik değerler” kavramı içinde değerlendirilemeyecek kadar hayati önem taşımaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramı, daha önce Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu (World Commission on Environment and Development) olarak bilinen Brundtland tarafından “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yetenekleri ile uygunsuzluk oluşturmaksızın, bugünün ihtiyaçlarının karşılanması” olarak tanımlanmıştır (United Nations 1987, Vadicherla ve Saravanan, 2014). Bu bağlamda sürdürülebilirlik, doğa ile insan arasında denge kurarak, doğal kaynakları tüketmeden, gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasına ve kalkınmasına olanak verecek şekilde, bugünün ve geleceğin yaşamını ve kalkınmasını programlama anlamını taşımaktadır (Hepbaşlı, 2010). Sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç boyutu bulunmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik, gelecek nesillere dünyayı daha yaşanabilir bırakmak için çevrenin ve doğanın korunmasına yönelik faaliyetleri içermektedir. Ekonomik açıdan sürdürülebilirlik, hammadde, enerji gibi ihtiyaç duyulan kıt kaynakların tasarruflu bir şekilde kullanılması ve gelecek nesillere aktarılması için tüketiminin dikkatli yapılmasına yönelik faaliyetlerdir. Sosyal sürdürülebilirlik ise, bireylerin ihtiyaçlarının insan hakları dikkate alınarak karşılanmasına yönelik faaliyetleri içermektedir (Erdem ve Doğan, 2020).

Tekstil sektörü hem geleneksel hem de teknik alanlarda kullanılacak ürünlere olan ihtiyacı karşılaması bakımından oldukça geniş bir ürün çeşitliliğine sahip olan bir sektördür. Üretim basamaklarında ortaya çıkan veya kullanım sonrası oluşan atıkların yeniden değerlendirilebilmesi bakımından tekstil sektörü geri dönüşüm için en uygun sektörler arasındadır. Üretim süreçlerinde ve tüketim sonrası oluşan atıkların, başka bir üretim sürecinin girdisi olacak şekilde yeniden değerlendirilmesi sayesinde tüm

sistemin birbirini destekleyen ve atık çıkarmayacak şekilde planlanmasını öngören dögüsel ekonomi yaklaşımı gerçekleşmiş olacaktır (Zafer Kalkınma Ajansı, 2019).

Geri dönüşüm, üretim süreçlerinde (tüketici öncesi) ya da sonrasında (tüketici sonrası) tekstil atıklarının yeniden değerlendirilmesi sonucu tekrar tekstil ya da tekstil dışı ürünler elde edilmesini ifade etmektedir (Sandin ve Peters, 2018). Geri dönüşüm yöntemiyle tekstil atıkları yeni üretim süreçlerine hammadde veya yarı mamul olarak dâhil olabileceği gibi tekstil dışı üretim süreçlerinin atıkları da tekstil üretimine katkı sağlayabilir.

Yeni ürünlerin geliştirilmesinde geri dönüşüm içeriğinin kullanımını artırmak için kapsayıcı bir yaklaşım çok gereklidir. Geri dönüşümü kolay ürünlerin tasarımları, tekstil atıklarının toplanması, ayrıştırılması ve işlenmesi için geliştirilmiş teknoloji, ticari ölçekte mevcut olan düşük maliyetli yenilikçi ürünlerin geliştirilmesi ve artan müşteri bilinci, tekstil atıklarının kullanımını iyileştirmek için hayati noktalardan bazılarıdır. Hükümetler ayrıca tekstil ürünlerinde geri dönüştürülmüş içeriklerin teşvikli kullanımı için düzenlemeler ve uygulama önlemleri sağlayabilirse, tekstil geri dönüşüm endüstrileri için bir nimet olacaktır. Geri dönüştürülmüş ürünlerin kullanımına daha fazla odaklanan tüketiciler ve müşteriler, tekstil ürünlerinin geri dönüşüm beklentilerini de kesinlikle artırabilir. Alternatif doğal elyaflardan giysi geliştirme, %100 geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış elyaftan dayanıklı ve rahat giysiler, sıfır atık giysiler, dikişsiz giysiler ve tek bir makineden üretilen giysiler hakkında daha fazla araştırma, tekstil sektörü için ilginç ve yenilikçi olacaktır (Vadicherla ve Saravanan, 2014).

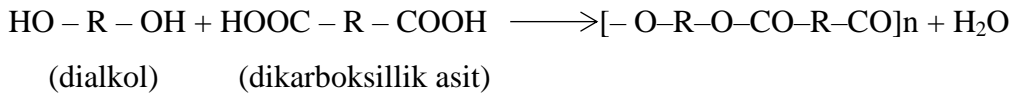
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Polyester Lifi

Günümüzde en çok kullanılan tekstil hammaddelerinden biri olan polyester çalışmaları, WH Carothers'ın laboratuvarında başlatıldı. Carothers, alkollerin ve karboksilik asitlerin başarıyla birleştirilerek lifler oluşturulabileceğini keşfettiğinde DuPont için çalışıyordu. Bir grup İngiliz bilim adamı - JR Whinfield, JT Dickson, WK Birtwhistle ve CG Ritchie Carothers'ın çalışmasını 1939'da devraldı. 1941'de Terylene adlı ilk polyester elyafını yarattılar. 1946'da DuPont, İngilizlerden tüm yasal hakları satın aldı ve Dacron adını verdikleri başka bir polyester elyaf buldu (<http://schwartz.eng.auburn.edu/polyester/history.html>, 2021).

Termoplastik polyesterin modern tarihi, Carothers'ın alifatik dikarboksilik asitler ve diollerden üretilen alifatik polyesterlere dayanan öncü araştırmasıyla 1929'a kadar uzanır (Carothers, 1929; Carothers ve Hill, 1932; Carothers, 1931; Carothers, 1936). Bu alifatik polyesterler düşük erime sıcaklıklarına ($T_m = 80-100^\circ\text{C}$) sahipti, hidrolize duyarlıydı ve bu nedenle ticari uygulamalar için uygun değildi. Ayrıca Carothers tarafından 1930 yılında DuPont'ta keşfedilen alifatik poliamid elyaf (nylon) ile rekabet edemediler (Carothers, 1937).

Poliester, kimyasal olarak bir dialkol ile dikarboksilik asitin polikondenzasyonu ile oluşan uzun zincirli polimerler olarak tanımlanır. Zincirde ester ($-\text{CO}-\text{O}-$) grubu pek çok kez tekrarlanır.



Bu polimer yapısına sahip poliester lifleri birçok olumlu özelliğe sahiptir. Bunlar yüksek mukavemet, yüksek camsı geçiş sıcaklığı, uzamaya ve deformasyona karşı iyi dayanım, düşük sürünme, asitlere ve yükseltgen maddelere karşı yüksek dayanım olarak özetlenebilir (Hsieh, 2001). Poliester liflerinin iyi performans özellikleri ve ekonomik olmaları, bu lifleri tıp, giyim, spor ve çeşitli endüstriyel alanlarda en önemli

materyallerden biri haline getirmektedir (Yıldırım ve diğeri, 2012). Polyester lifleri, tüm bu olumlu özellikler nedeniyle, hem konvansiyonel hem de endüstriyel alanda tercih edilmektedir (Hsieh, 2001).

2.2. Polietilen Tereftalat (PET) Lifleri

Polyesterler, tekrar eden birim başına en az bir ester bağlama grubu içeren polimerlerdir. Çoğunlukla petrolde bulunan kimyasal kaynaklardan elde edilirler ve filmlerde, liflerde ve basit veya karmaşık şekilli nesnelere üretilirler (Thomas ve Visaks, 2011). PET, ticari olarak mevcut mühendislik plastikleri olan lineer alifatik-aromatik termoplastik polyesterlerdir (John Scheirs, 2003). PET, geniş bir uygulama yelpazesi için yüksek mekanik dayanıma, mükemmel işleme özelliklerine ve elektriksel özelliklere ve kimyasal saldırılara karşı iyi bir dirence sahiptir (Thomas ve Visaks, 2011; Fakirov, 2002). Bu özellikler onu elyaflarda, filmlerde, tekstillerde, şişelerde, kalıplama bileşenlerinde ve ev aletleri için muhafaza olarak kullanıma uygun hale getirir (Thomas ve Visaks, 2011; Fakirov, 2002; John- Scheirs, 2003; Fakirov, 2005; Webb ve diğeri, 2013).

Polyesterin erime sıcaklığını arttırmak ve naylonlarla elde edilen termomekanik özellikleri elde etmek için, polyester zincirinin esnek alifatik monomerler yerine sert aromatik monomerler kullanılarak sertleştirilmesi gerekmiştir (Thomas ve Visaks, 2011). Yüksek erime sıcaklığına sahip ilk aromatik polyester olan PET, etilenglikol (EG) ve tereftalik asit (TPA) arasında J.R. Whinfield ve J.T. Dickson, 1940'ların başında (Whinfield, 1946; Whinfield ve Dickson, 1949). Daha sonra, 1941'de, ilk olarak Imperial Chemical Industries (ICI) tarafından üretilen Terylene adlı ilk aromatik polyester liflerini geliştirdiler. Aynı zamanda Schlack, 1,4-bütandiol (BD) ve TPA'dan polyester sentezine başlamış ve 1949'da patentini almıştır (Schlack, 1955). Schlack, PBT'nin kolayca eritilerek bir elyafa dönüştürülen PET'in aksine bir elyaf malzeme olarak kullanılmaya daha az uygun olduğunu buldu. PET, 1953'te modifiye naylon teknolojisi kullanılarak DuPont tarafından tekstil endüstrisi (Dacron) için elyaf olarak ticari olarak üretilirken, PBT, Celanex (Thomas ve Visaks, 2011) ticari adı altında Celanese Corporation tarafından 1969'da ticarileştirildi. DuPont'un polyester araştırması

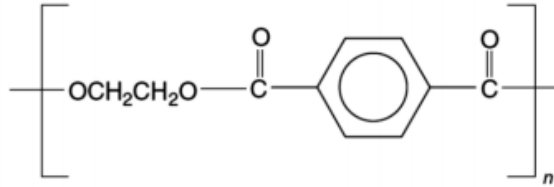
hızla Mylar adı verilen güçlü bir polyester film gibi çok çeşitli ticari markalı ürünlere yol açtı, ancak PET şişeler 1970'lerden sonra geldi (Barber, 2017).

Günümüzde poliester grubu arasında en yaygın olarak kullanılan polietilen tereftalat (PET)'dir.

Polietilen tereftalat (PET) polimeri üç farklı yöntem ile üretilebilir:

1. Dimetil tereftalat ve etilenglikol'ün polikondenzasyonu
2. Tereftalik asit ve etilenglikol'ün polikondenzasyonu
3. Tereftalik asit ve etilenoksit'in polikondenzasyonu (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007).

PET polimerinden lif elde edilebilmesi için uygulanan iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri polikondenzasyonu tamamlanmış, eriyik haldeki polimerin direk olarak düze pompasına gönderilmesi ve iplik elde edilmesidir. İkinci yöntem ise polikondenzasyonu tamamlanmış, eriyik haldeki polimerin cips denen polimer tanecikleri haline getirilip, bu cipslerden daha sonra eriyikten çekim yöntemi ile iplik eldesidir (Mangut ve Karahan, 2008).



Şekil 2.1. Polietilen tereftalat (PET)'in molekül yapısı (Reese, 2003)

PET, yüksek erime sıcaklığı (270°C) ve sert polimer zincirlerin bir sonucu olarak iyi mekanik özellikleri, tokluğu ve 150-170°C'ye kadar yorulma direncini korur. PET ayrıca, olağan uygulama sıcaklıkları altında solventlere, kimyasallara ve hidrolitik bozunmaya karşı bir direnç gösterir.

Günümüzde, çok çeşitli saf ve modifiye edilmiş PET dereceleri mevcuttur ve fiberler, otomotiv ve elektrik/elektronik endüstrilerindeki parçalar, mimari camlama ve pencere filmleri gibi birçok uygulamada bulunur (Fakirov, 2002). Mükemmel mekanik ve bariyer (karbondioksit geçirgenliği) nedeniyle, PET, metal veya cam gibi geleneksel

malzemelerin yerini alsalar bile, yiyecek ve içecek ambalajlama uygulamalarında kullanılır. PET ayrıca geri dönüştürülebilir bir polimer olarak kullanılmaktadır ve geri dönüştürülmüş PET (R-PET) pazarları yıldan yıla büyümektedir (Venkatachalam ve diğerleri, 2012; Awaja ve Pavel, 2005).

PET'in çok yönlülüğü göz önüne alındığında, en önemli faktörün kimyasal yapısının olduğu açıktır. Bu özellik, PET'in mucitlerinin öngörüsü nedeniyle, işleme davranışını ve ayrıca ondan elde edilen ürünleri etkileyen bazı dikkate değer özelliklere sahiptir. İlk olarak, daha önce bahsedildiği gibi PET, kristalleşebilen ancak yavaş kristalleşme kinetiği ile ayırt edilen bir polimerdir (Fakirov, 2002; Demirel ve diğerleri, 2011). Bu özelliklerin kombinasyonu nedeniyle, PET, amorf (saydam), "yönlendirilmiş mezomorfik" (saydam), sferulitik, kristallenmiş (opak) ve stres kaynaklı (stress induced) kristallenmiş (saydam) gibi çeşitli düzen durumlarında elde edilebilir (Thomas ve Visaks, 2011; Demirel ve vd., 2011). Mekanik özellikler, depolama stabilitesi, gaz bariyeri, boyanabilirlik ve şeffaflık, PET'ten yapılan bitmiş ürünlerde sipariş derecesinin doğası tarafından kontrol edilen özelliklerdir (Barber, 2017).

PET'in son yirmi yılda üretimi hızla arttı ve çeşitli uygulamalarda tercih edilen malzeme haline geldi (Fakirov, 2002). Şu anda, yıllık PET üretimi 60 milyon tona yakın olup, yıllık ortalama %7'nin üzerinde büyüme kaydedilmektedir (Pang ve Kotek, 2006). PET esas olarak tekstil uygulamalarında elyaf üretmek için kullanılır ve PET kullanımı dünya çapındaki sentetik elyaf tüketiminin %80'ini temsil eder. PET'in yiyecek ve içecek ambalajlarında yaygın olarak kullanılması, atmosferik ve biyolojik etkenlere karşı yüksek direnci ve atık akışında birikmesi çevre için ciddi endişe kaynağıdır. Bu çevre kirliliği sorunu, PET'in büyük avantajlarından bazılarını temsil eden mekanik geri dönüşüm, tahribatsız yöntemler veya kimyasal geri dönüşüm gibi geliştirilmiş birçok yöntemden bazılarının uygulanmasıyla üstesinden gelinebilir (Thomas ve Visaks, 2011; Fakirov, 2002; Sulyman ve diğerleri, 2016; Sinha ve diğerleri, 2010).

İşleme ve termal koşullara bağlı olarak, PET hem amorf hem de yarı kristal polimer olarak var olabilir. En saf haliyle PET, amorf cam benzeri bir malzemedir. Değiştirici katkı maddelerinin veya polimer eriyiğinin ısı işleminin etkisi altında PET,

kristallenebilir. Kristallik derecesi ve kalitesinin uzun zamandır PET'in özellikleri üzerinde baskın bir etkiye sahip olduğu kabul edilmiştir ve bunlar, işleme sıcaklığı, soğutma hızı, gerdirme işlemi vb. gibi işleme koşullarına oldukça bağlıdır. 72°C'lik cam geçiş sıcaklığında, yarı kristalli PET, sert cam benzeri bir durumdan kauçuksu elastik bir forma dönüşür. Kauçuksu haldeki polimer moleküler zincirler, lifler oluşturmak için bir yönde veya filmler ve şişeler oluşturmak için iki yönde gerilebilir ve hizalanabilir. Oldukça yüksek geçiş sıcaklığından dolayı PET'in enjeksiyonla kalıplanmasından sonra soğutma sırasında sadece sınırlı miktarda kristalleşme meydana gelebilir. Bununla birlikte, PET eriyiği hızlı bir şekilde soğutulduğunda, hala gerilmiş durumda tutulurken, zincirler donar ve oryantasyonları bozulmadan kalır (Barber, 2017).

PET'in kimyasal direnci, esas olarak sağlam kimyasal doğası ve aynı zamanda kristal yapısı nedeniyle genel olarak çok iyidir. PET alkollere, seyreltik asitlere, alifatik hidrokarbonlara, yağlara ve greslere karşı çok iyi direnç gösterir. PET'in seyreltik alkali, aromatik hidrokarbonlar ve halojenli hidrokarbonlara karşı direnci orta düzeydedir. Fenol, kresol, kloroetan ve nitrobenzen, yüksek sıcaklıklarda PET için iyi bir çözücüdür (Barber, 2017).

PET ayrıca, çok daha düşük nem emilimi nedeniyle poliamidlere göre bir avantaja sahiptir ve malzemenin aşırı sıcaklık ve yüksek nemde mükemmel boyutsal kararlılığını korumasına izin verir. Düşük maliyeti, üstün estetik görünümü ve daha iyi tutuşu nedeniyle PET, genellikle polikarbonatlara tercih edilir (Barber, 2017).

2.3. Recycle Polietilen Tereftalat (r-PET) Lifleri

Günümüzde yaşam standartları ve nüfus artışı ile birlikte ambalajlı ürünlerin (plastik, metal, cam, kağıt, karton vb.) üretimi ve tüketimi artmaktadır. Ambalaj sektörü, dünya polietilen tereftalat (PET) tüketiminin en büyük bölümünü %29'luk pay ile oluşturmaktadır. PET ürünler kullanıldıktan sonra çöpe atılır. PET ambalaj malzemeleri, çevresel atıkların %73'ü gibi büyük bir miktarı oluşturmaktadır. Metal, cam, kağıt ve kartonun yanı sıra PET atıklar da katı atık olarak sınıflandırılmaktadır. Ülkemizde katı atıkların en büyük payını kağıt/karton ve ardından PET atıklar oluşturmaktadır (TÜİK, 2011). Bu atıkların çoğu düzenli depolama tesislerinde depolanırken, kalan kısmı

yakma, toprağa gömme, dereye dökme gibi yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Toprağa gömülerek veya depolanarak bertaraf edilmeye çalışılan PET atıklar çok uzun süre (300 yıla kadar) bozulmadan kalabilmektedir. Atıkların birikmesi, yakılması veya gömülmesi sonucunda birçok ekolojik sorun ortaya çıkmaktadır. Atık bertarafı için uygun alanların azaltılması, artan çevre kirliliği ve yüksek bertaraf maliyetleri, kaynakların optimum kullanımı ve atıkların azaltılması veya kullanılması için yeni yöntemlerin bulunmasına yol açmıştır. Geri dönüşüm veya geri kazanım, atık bertarafı için en olası çözüm gibi görünmektedir. Bu nedenle atıkların ikincil hammaddeye dönüştürülmesi ve böylece yeniden üretim sürecine dâhil edilmesi için geri dönüşüm yapılmaktadır. PET artık mekanik ve kimyasal yöntemlerle ve modern tesislerde geri dönüştürülebilmektedir. Polyester lifler, PET atıklarının geri dönüştürülmesiyle elde edilebilir ve ortaya çıkan liflere geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat veya rPET denir. Bu nedenle günümüzde polyester eğrilmiş elyaf üretiminde PET ve rPET polimerleri kullanılmaktadır (Telli ve Özdil, 2015).

Geri dönüşüm, atık malzemeleri değerli malzemelere dönüştürme işlemidir. Bu aynı zamanda malzeme tasarrufu sağlayan ve sera gazı emisyonlarını düşürmeye yardımcı olan atık bertarafına alternatif bir yoldur. Ayrıca, potansiyel olarak yararlı malzemelerin israfını önlememize ve en aza indirmemize ve taze hammadde tüketimini azaltmamıza, böylece enerji kullanımını, hava kirliliğini ve su kirliliğini azaltmamıza yardımcı olur (Aslani ve diğerleri, 2021; Biermann ve diğerleri, 2021; Thachnatharen ve diğerleri, 2021).

PET'in insan sağlığına herhangi bir yan etkisi olmadığı için gıda endüstrisi için ambalaj imalatında çok önemli bir kullanımı vardır (Bartolome ve diğerleri, 2012; Paszun ve Spsychaj, 1997). PET geri dönüşümü için diğer itici güç, nispeten büyük moleküllerini tüketebilecek bilinen bir organizma olmadığı için PET ürünlerinin yavaş bir doğal bozunma hızına sahip olmaları veya normal koşullarda bozunamayan plastik olmalarıdır (Shen ve diğerleri, 2010).

PET'in geri dönüşümü birçok şekilde gerçekleştirilebilir. PET geri dönüşüm yöntemleri mekanik ve kimyasal yöntemler olarak sınıflandırılır (Chu ve diğerleri, 2021; Colnik ve

diğerleri, 2021; Cornago ve diğerleri, 2021). Mekanik geri dönüşüm yöntemi (MRM) durumunda, atık şişeler genellikle öğütme, temizleme, ayırma, kurutma, kurutma ve yeniden eritme yoluyla polimer besleme olarak doğrudan geri dönüştürülür. Bu tür geri dönüşüm yöntemlerinde, iyi kalitede geri dönüştürülmüş cipslere sahip olmak için kirleticilerin temizlenmesi ve nem içeriğinin (%0,8) kontrol edilmesi önemlidir (Wilson-García ve diğerleri, 2021; Kakoria ve diğerleri, 2021; Ubaidullah ve diğerleri, 2021). Oysa kimyasal geri dönüşüm durumunda PET polimerin depolimerizasyonu farklı tekniklerle gerçekleşir ve polimer monomere ve oligomere parçalanır. Kimyasal geri dönüşümün önemli avantajı, MRM ucuz ve basit bir süreç olmasına rağmen, ham PET kalitesi elde etme olasılığıdır (Telli ve Özdil, 2015).

Eriterek eğirme tekniği kullanılarak, her iki geri dönüşüm yönteminden de farklı numaralarda (PET cipsleri) çekilmiş tekstüre iplik üretilebilir (Wang ve diğerleri, 2009; Chan ve Zinchenko, 2021). PET şişeler, daha yüksek lif uygulaması gerektiren izoftalik asitle modifiye edilmiş PET gibi kopolyesterlere dayandığından, geri dönüştürülmüş PET cipsleri, işlenmemiş PET cipslerinden daha yüksek iç viskozite gösterir (Semyonov ve diğerleri, 2021; Duràn ve diğerleri, 2007).

Saf polimer ile karşılaştırıldığında, kompozit malzemeler mekanik, termal, optik ve fizikokimyasal özelliklerde gelişme gösterebilir. Bu geliştirmeler, birçok polimerin daha geniş bir şekilde uygulanmasına yol açtığı için birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Farklı polimer matrisler kullanılarak elde edilen kompozit malzemeler bildirilmiştir (Rai ve diğerleri, 2009).

Günümüzde, termal ve kristal özelliklerini geliştirmek veya elektriksel iletkenlik, antibakteriyel işlev ve alev artıklığı geciktirici gibi yeni işlevsel kumaş özelliklerini tanıtmak için birçok kompozit PET lifi araştırılmaktadır (He ve diğerleri, 2004).

2.4. Biodegradable Polietilen Tereftalat (BİO-PET) Lifleri

Biyobozunma, malzemelerin moleküler yapısının metabolik veya enzimatik işlemlerle parçalandığı bir süreçtir. Ayrışma işlemi, yalnızca biyolojik bozunma sürecinde değil, tek başına veya koloniler halinde çalışan ve ekosistemimizde hayati bir rol oynayan

anaerobik (oksijensiz) ve aerobik (oksijenli) ortamlarda doğal olarak bulunan mikroorganizmalar tarafından salgılanan enzimler aracılığıyla gerçekleşir (Anonim, 2021).

Biyokütle ve biyogaz (karbon dioksit ve metan), biyobozunma sürecinde üretilen ürünlerdir. Doğada ilk biyolojik bozunma aerobik iken, çöplüklerdeki ana biyoreaksiyon anaerobik biyolojik sindirimdir. Depolama alanı mikropları organik maddeleri parçalar ve hacmini veya kütesini azaltır (Anonim, 2021).

Nihai ürünün özelliklerine müdahale etmeyen organik bileşiklerin bir karışımı ile ayrıca genel tekstil proseslerinde depolama ve kullanım ile modifiye edilir. Başka bir deyişle, kullanım süresi ve performansı, herhangi bir polyester ipliğe kıyasla değişmeden kalır (Anonim, 2021).

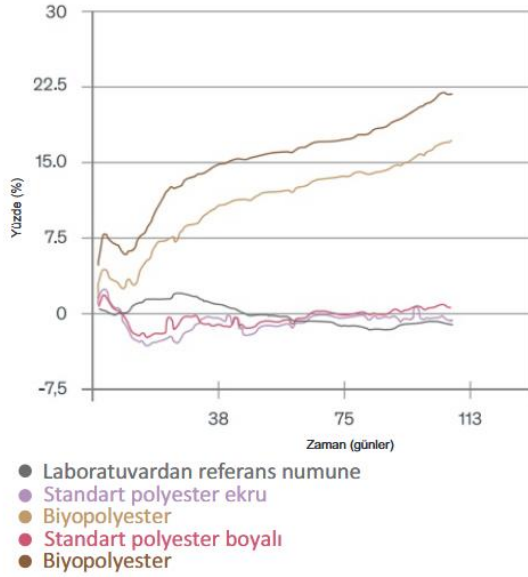
Anaerobik biyolojik bozunma için, ISO DIS15985'e (Uluslararası Standartlar) eşdeğer olan ASTM D5511 test yöntemi, yüksek katı içerikli koşullar altında biyolojik bozunmayı belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastik malzemelerin biyolojik bozunma derecesini belirler ve biyolojik olarak aktif depolama alanlarının koşullarını temsil eder (Anonim, 2021).

Tez kapsamında kullanılan biodegradable polietilen tereftalat iplikler analiz edildiği ASTM D5511 analiz yöntemi, ipliklerin anaerobik olarak biyolojik olarak parçalanabilir olduğunu göstermiştir. Standart test değerlendirmesinin 106 günü boyunca, tekstüre iplik örneklerinin yaklaşık %20'sinde biyolojik olarak parçalanabilirlik bulunurken, normal polyester test sonucunda değişmeden kaldı (Anonim, 2021).

Polyesterin çevrede ayrışmasının yaklaşık 300 yıl alacağı tahmin edilmektedir. Tez çalışması kapsamında kullanılan biodegradable polietilen tereftalat iplikler, ayrışma süresini önemli ölçüde 3 ila 5 yıllık tahmini bir süreye düşürür (Anonim, 2021).

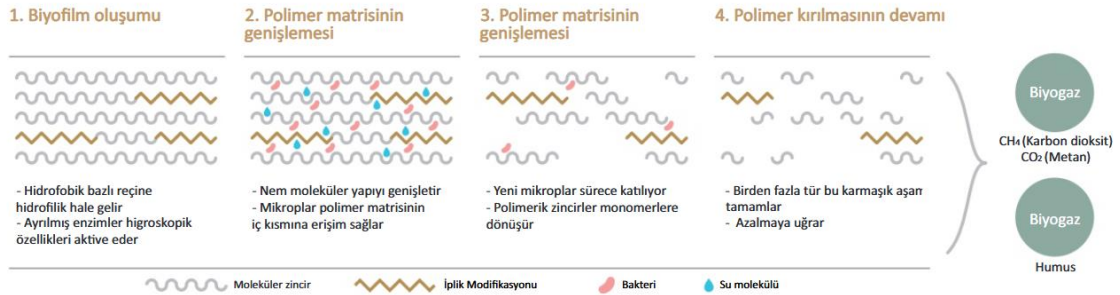
Biyolojik Bozunma

Yaklaşık. 106 gün sonra %20 biyolojik bozunma (ASTM D 5511-18)



Şekil 2.2. Ayrışma süreci (Anonim, 2021)

Şematik düzeyde, tez kapsamında kullanılan biodegradable polietilen tereftalat ipliklerin biyolojik bozunma süreci aşağıdaki gibi olacaktır.



Şekil 2.3. BIO-PET ipliklerin biyolojik bozunma süreci (Anonim, 2021)

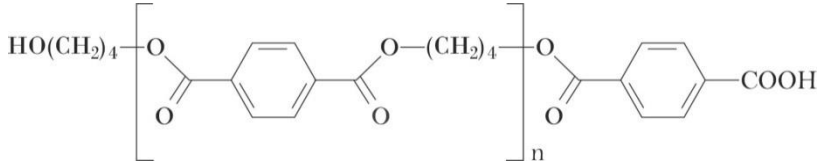
Biyoboşunma, çöplüklerde son bulan büyük miktarda plastik atıkla mücadele seçeneklerinden biridir. Tez kapsamında kullanılan biodegradable polietilen tereftalat iplikler, laboratuvar testleri ve bilimsel kanıtlara dayalı olarak biyolojik olarak aktif çöp depolama alanlarında biyolojik bozunmayı artırmak için benzersiz bir çözüm sunar (Anonim, 2021).

Tez kapsamında kullanılan biodegradable polietilen tereftalat iplikler, yeni tekstil veya plastik malzemelere dönüştürülebilir (Anonim, 2021).

2.5. Polibütilen Tereftalat (PBT) Lifleri

Polibütilen tereftalat (PBT) aromatik poliesterler sınıfına ait termoplastik bir polyesterdir. (Deopura ve diğerleri, 2008; Yolaçan, 2006). PBT, yüksek performanslı kimyasal ve fiziksel olarak modifiye edilmiş poliester lifidir ve bu sebeple rekabet güçleri ve avantajları standart liflerinkinden daha iyidir. (Yıldırım vd., 2012).

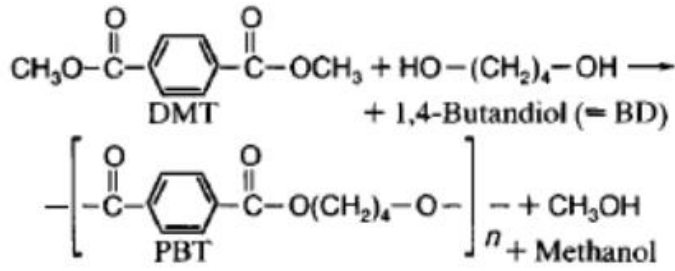
PBT hem esnek bir bağlantıdan (dört metilen grubundan oluşur) hem de sert bir segmentten (bir tereftalat grubu) oluşur. Bu polimer için tekrar birimi:



Şekil 2.4. PBT tekrar birimi (Miller, 1998)

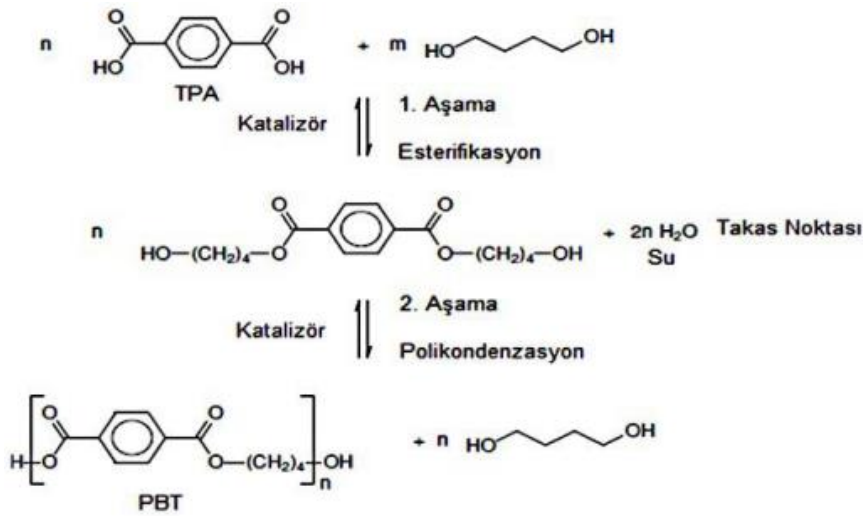
PBT, Whinfield ve Dickson tarafından 1941 yılında sentezlenmiştir (Rijavec ve Ostojic, 2005). PBT lifleri 1968'de piyasaya sürüldüğünden beri, üretimi her geçen yıl artmıştır. Bu lifler günümüzde Novaduran, Ultradur, Celanex, Valox Crastin, Raditer, gibi ticari isimlerle üretilmektedir (Faurne, 1999; Deopura vd., 2008).

4GT olarak adlandırılan PBT, 1,4-bütandiolün (BDO) TPA (veya) DMT ile polikondenzasyonu ile üretilir (Deopura vd., 2008; Rijavec ve Ostojic, 2005). Tekrar biriminin molekül ağırlığı 220'dir (Deopura vd., 2008). BDO hammaddesini farklı yöntemlerle sentezleyebilmek mümkündür. PBT polimerinin sentezlenmesi PET polimerinin sentezlenmesine benzemektedir (Deopura vd., 2008).



Şekil 2.5. PBT polimerinin DMT ile üretimi (Faurne, 1999)

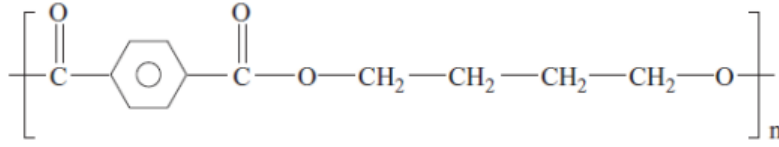
PBT lifinin DMT ile üretiminde, başlangıçta monomerler erimiş DMT ve BDO karışımının katalizör ile birlikte iki aşamalı polimerizasyon sürecinde tepkimeye girmektedir. Bu aşamada işlem sırasında genellikle katalizör olarak tetra-alkoksi titanlar kullanılmaktadır (Devroede, 2007). İlk aşamanın sonunda bihidroksilbütil tereftalat ile birlikte hidrosil terminal grubu taşıyan PBT oligomerleri oluşur. İkinci reaksiyon aşamasında polimer zincirlerinin moleküler ağırlıkları nedeniyle eriyiğin viskozitesi önemli derecede artmaktadır. Endüstride kullanılan bu yığın polimerizasyon süreçleri devamlı polimerizasyon süreçleri ile yer değiştirmektedir (Devroede, 2007).



Şekil 2.6. PBT polimerinin TPA ile üretimi (Devroede, 2007)

PBT en çok saflaştırılmış TPA kullanılarak üretilmektedir. PBT polimerinin üretilmesinde kullanılan her iki yol neticesinde de birçok yan ürün oluşmaktadır. Bu yan ürünler tetrahidrofuran (THF) ve 1,3-bütadien'dir (Deopura vd., 2008). PBT'nin sentezlenmesi aşamasında oluşan en büyük yan ürün THF'dir ve bu ürün toksiktir (Devroede 2007). THF oluşumu TPA ve BDO'ya su veya katalizatör eklenmesi,

TPA'nın yavaş eklenmesi, ilerleyen aşamalarında bir miktar BDO eklenmesi, TPA tükenmeden polikondenzasyonun gerçekleştirilmesi gibi yöntemlerle azaltılabilmektedir (Devroede, 2007; Deopura vd., 2008; Yıldırım vd., 2012).



Şekil 2.7. PBT polimerinin kimyasal formülü (Deopura vd., 2008)

Bu polimer, 1960'ların sonundan beri, benzersiz performans özellikleri kombinasyonlarını talep eden pazarlara ticari olarak satılmaktadır. Bu özellikler, hızlı kristalleşme kinetiği ve yarı kristal özellikleri ile birlikte termoplastik işleme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. PBT'nin kristalliği, çok çeşitli kimyasallara direnç, termal ve/veya elektriksel yalıtım direnci, sınırlı esneklik ve düşük sürtünme ve aşınma özellikleri gerektiren zorlu ortamlarda kullanılmasına izin verir. PBT'nin işlenmemiş PBT'nin darbe direncini artıran amorf reçinelerle karışımları ve kopolimerleri, otomotiv tamponlarından çim ekipmanına ve spor malzemelerine kadar dış kaplamalarda ve muhafazalarda geniş bir pazar yelpazesi açmıştır (Miller, 1998).

PBT başarısını PET'e kıyasla hızlı kristalleşme hızına borçludur (John-Scheirs, 2003). PBT'nin PET'e kıyasla daha düşük erime sıcaklığına sahiptir. Bu, hızlı işleme ve hızlı üretim döngülerine izin verir. Ancak, daha büyük üretim hacimleri ve daha düşük fiyatlar, PET'i birçok farklı uygulama için PBT'ye karşı ciddi bir rakip haline getirmiştir. Bu nedenle, daha yüksek bir kristalizasyon hızı gerekliyse PBT genellikle PET'in yerine kullanılır, ancak PBT için maksimum uygulama sıcaklığı 120-140°C'de PET'e kıyasla biraz daha düşüktür (Barber, 2017).

PBT son 29 yıldır başarılı bir şekilde pazarlanmasına rağmen, mühendislik termoplastik olarak mevcut rolü son 20 yılda önemli ölçüde değişmemiştir (Krisch ve Williams, 1994). Bunun yerine, son ürün tanımları, artımlı işleme iyileştirmelerinin kullanımını ve geri dönüşüm içerikleri için pazarlanan "yeşil ürünler"de kullanılmak üzere temiz

PBT parçalarının geri kazanımını içeren bir geri dönüşüm stratejisini vurgulamıştır. PBT'nin gelecekteki büyümesi, artan ürün iyileştirmelerine dayalı alanlara ürün yayma stratejilerine veya bu çalışmada önerildiği gibi, tamamen yeni uygulama alanlarına girişe izin veren kökten yeni işleme yeteneklerine bağlı olacaktır (Miller, 1998).

PBT, kristalliği %35 ila 45 aralığında olan yarı kristal bir polimerdir. Tavlama yoluyla, kristalin içerik biraz arttırılabilir, ancak PBT'de bildirilen en yüksek kristalinite %55 - 60 aralığındadır (Chang ve diğerleri, 1978). Kristalli olmayan fraksiyon için cam geçiş sıcaklığı 50° - 55°C'dir ve kristalli erime sıcaklığın genellikle 225°- 232° C (Smith ve diğerleri, 1966; Farrow ve diğerleri, 1960) aralığında olduğu bildirilmektedir. Wunderlich ve arkadaşları, denge erime sıcaklığının 245 C olduğunu tahmin etmiştir (Cheng ve diğerleri, 1988).

PBT oda sıcaklığında kimyasal olarak zayıf asitlere, bazlara, deterjanlara, alifatik hidrokarbonlara, yağlara, ester, alkol, keton ve glikollere oda sıcaklığında dayanıklıdır. Kuvvetli bazlara karşı iyi bir dayanım göstermemektedir. Aynı zamanda mükemmel derecede aşınma mukavemetine sahiptir. Yüksek sertlik ve darbe mukavemeti, iyi derecede sürünme özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte iyi derecede mukavemet özellikleri sergilemektedir. PBT'nin nem alma kabiliyeti ise düşüktür. Yüksek boyutsal kararlılık, iyi esneklik, iyi yaylanma ve iyi işlenebilirlik özellikleri vardır (Kurtuluş, 2010). PBT'nin amorf bölge yoğunluğu 1,265–1,268 g/cm³ aralığındadır ve kristalin bölge yoğunluğu ise 1.395g/cm³ 'dür (Deopura vd., 2008).

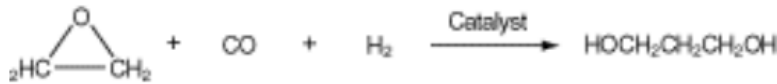
Yapısında –OH grupları bulunması nedeniyle bünyesine su almaz. PBT'nin kararlı kristal yapısı, sürekli genişlemesine yol açar. Yüksek sıcaklık stabilitesi ve kimyasal direnç gerektiren çeşitli uygulamalar için uygun, termoplastik bir olan PBT, günümüzün çevre bilincinin artmasıyla ve çevre dostu polimerlere olan ihtiyaç arttıkça, geri kazanım ve yeniden kullanım için uygun bir adaydır (Miller, 1998).

2.6. Politrimetilen Tereftalat (PTT) Lifleri

PTT, mısır şekeri gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen 1,3-propandiolden (PDO) sentezlenen yarı alifatik bir polyesterdir (Kurian, 2005). Glikol kısmında üç metilen

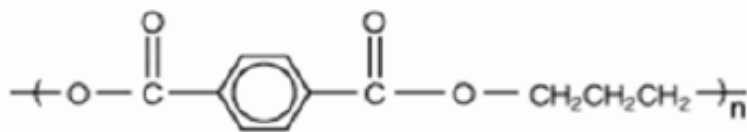
birimi bulunan PTT, tek sayılı polyester olarak adlandırılır (Szymczyk ve diğeri, 2008). PET ve PBT ile karşılaştırıldığında, PTT en yüksek elastik toparlanma gösterir (Ward ve diğeri, 2003). Ayrıca, PTT, üstün mukavemet, yüksek esneklik ve mükemmel boyanabilirlik dahil olmak üzere birçok avantajlı özellik sergiler (Chuah, 2001; Lyoo ve diğeri, 2001; Abe ve diğeri, 2002), bu da onu fiberler veya filmler olarak mühendislik termoplastik uygulamalarında kullanıma uygun hale getirir (Paszkiwicz ve diğeri, 2018).

Birim molekül ağırlığı 206 olan Poli(trimetilen tereftalat) (PTT), Dimetil Tereftalat (DMT) veya saflaştırılmış tereftalik asit (PTA) ile 1,3-propan diol (PDO)'un polikondenzasyon reaksiyonları sonucu üretilen yarı alifatik bir polyesterdir. (Deopura vd., 2008; Yıldırım vd., 2012, Chan ve Zinchenko 2021; Kurian, 2005). Poli(trimetilen tereftalat) (PTT) ilk olarak Caligo Printing Ink'ten Whinfield ve Dickson tarafından sentezlendi (Whinfield ve Dickson, 1941; Whinfield ve Dickson, 1949). Daha fazla ticarileştirme, PTT sentezi için başlangıç malzemelerinden biri olan, kolaylıkla temin edilebilen, pahalı olmayan 1,3-propandiol (PDO) eksikliği nedeniyle yavaşladı. Shell Chemicals, yakın zamanda, Şekil 2.8.'de gösterilen etilen oksidin hidroformilasyonuna dayalı bir yolu ticarileştirdi (Brown H. S. ve diğeri, 2011).



Şekil 2.8. PDO'nun sentezi (Brown H. S. ve ark. 2011)

Elde edilen PDO daha sonra tereftalik asit ile bir yoğunlaştırma reaksiyonunda polimerize edilerek PTT elde edilir. PTT'nin yapısı Şekil 2.9.'da gösterilmektedir (Brown H. S. vd., 2011).



Şekil 2.9. PTT'nin kimyasal formülü (Brown H. S. vd., 2011)

PTT, tekstil uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikleri üstün mukavemet ve mükemmel boyanabilirlik sergiler (Chuah, 2001; Abe vd., 2002). PTT hızla kristalleşir ve PTT'nin özel zikzak moleküler zincir yapısı (Zargar ve Shoushtari, 2019), bir tekstil lifi olarak iyi esneklik ve üstün elastik geri kazanım, yüksek hacimli, yumuşak tuşe ve boyama kolaylığı özelliklerine sahiptir (Frisk ve diğerleri, 2004; Szymczyk, 2009).

2.7. Polietilen Tereftalat (PET) – Politrimetilen Tereftalat (PTT) Bikomponent Lifleri

PTT (poli(trimetilen tereftalat)), PET (poli(etilen tereftalat) filament, bileşik eğirme ile PTT ve PET malzemelerinden yapılmış iki bileşenli bir elyaftır. İki bileşenin termal büzülme ve modülündeki farklılıklardan dolayı, filaman, kumaşlar için mükemmel kalıcı elastikiyet ve geri toparlanma sağlar. (Luo ve diğerleri, 2011; Meiwu, 2009). PTT/PET bikomponent yapısı kendiliğinden kıvrılan filamentin uzaması ve kıvrım uzamasını içerir. Filament tasarımı ve geliştirme aşamasında potansiyel elastik özelliklerin bilinmesinde fayda vardır. Yan yana iki bileşenli liflerin teorik kıvrım modellemesi, kıvrım eğriliğini ve elastik modülleri tahmin etmek için araştırılmıştır (Luo ve vd., 2011; Denton,1982).

PTT/PET yan yana iki bileşenli filament, mükemmel elastik özelliklere sahip yeni bir tür kendinden kıvrımlı konjuge polyester elyaftır. %20 gerilmede lif geri kazanımının %92 olduğu rapor edilmiştir ve bu liflerle yapılan dokuma kumaşların %25 kadar yüksek bir esneme oranına sahiptir (Huvıs Group Corporation, 2007). PTT/PET iki bileşenli liflerin kıvrılma geliştirmesinin iki nedeni vardır: birincisi, iki bileşenin elyaf kesitindeki asimetric dağılımı ve ikincisi, elyaflar ısıtıldığında PTT ve PET bileşenlerinin farklı çekim davranışı göstermeleri nedeniyledir. Bunlar, iki bileşenli liflerin, bir telefon kablosunun görünümüne benzer sarmal kıvrım geometrileri geliştirmesine neden olur. Bu kıvrımlar, olağanüstü iyi esneme gösterir, ipliklere ve kumaşlara hacim kazandırır. Son yıllarda, spor giyim, elastik süet, yüksek sıcaklık baskı kumaşı, kamgarn dokuma kumaş, gömlek kumaşı, vb.'de önemli ölçüde büyük miktarda PTT/PET iki bileşenli fiber elastik dokuma kumaşlar kullanılmıştır. Bu kumaşlar, iyi bir

kalıcı streç ve elastik geri kazanıma sahiptir ve ayrıca yüksek sıcaklığa ve asit veya alkali maruziyetlerine oldukça dayanıklıdırlar (Luo ve vd., 2011).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı tekstil sektöründe en çok kullanılan PET, PBT ve bikomponent PET/PTT iplikleri ile çevreci bir yaklaşım sunan rPET ve BiyoPET ipliklerin performans kıyaslamasını yapmak ve sektöre daha çevreci öneriler yapmaktır. Bu nedenle bu çalışmada, iplik numaraları aynı olan beş farklı iplik ikili kombinasyonlar halinde katlama ve büküm yöntemleri uygulanarak kompozit iplik haline getirilmiştir. Beş farklı iplik, kıyaslama sonucu ortaya çıkan verilerin daha doğru değerlendirilebilmesi için tüm ikili kombinasyonlar bir araya gelecek şekilde on beş farklı kompozit iplik elde edilmiştir. Elde edilen kompozit ipliklerden dokuma kumaşlar oluşturulmuş ve dokuma kumaşlara bitim işlemi uygulanmıştır. Bu bölümde kullanılan materyaller, uygulanan yöntemler ve yapılan testler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Tez çalışması sürdürülebilir ve çevre dostu üretimi desteklemek, üretim ve tüketim alanında kullanılabilirliğini artırmak amacıyla yapılmış ve bu doğrultuda kompozit iplik üretimi ve üretilen kompozit ipliklerden kumaş oluşturulması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kompozit iplik elde etmek için, polietilen tereftalat (PET), recycle polietilen tereftalat (RPET), biodegradable polietilen tereftalat (BİO-PET), polibütillen tereftalat (PBT), bicomponent polietilen tereftalat- politrimetilen tereftalat (BİCO-PET-PTT) iplikleri kullanılmıştır ve bu iplikler ticari olarak temin edilmiştir. Çizelge 3.1.'de kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin özellikleri

İPLİK İSMİ	DENYE	FİLAMAN SAYISI	İPLİK CİNSİ
POLİETİLEN TEREFTALAT (PET)	150	48	Yarı Mat Tekstüre İplik
RECYCLE POLİETİLENTEREFTALAT (rPET)	150	48	Yarı Mat Tekstüre İplik
BİODEGRADABLE POLİETİLEN TEREFTALAT (BİO-PET)	150	136	Yarı Mat Tekstüre İplik
POLİBÜTİLEN TEREFTALAT (PBT)	150	48	Parlak Tekstüre İplik
BİCOMPONENT (POLİETİLEN TEREFTALAT- POLİTRİMETİLEN TEREFTALAT) (BİCO-PET/PTT)	150	144	Yarı Mat Tekstüre İplik

Tez çalışmasının bir sonraki aşamasında elde edilen kompozit ipliklerden kumaşlar üretilmiştir. Üretim parametreleri piyasada yaygın olarak kullanılan kumaş yapıları incelenmiş ve buna göre belirlenmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kompozit iplik üretimi

Kompozit iplik üretimi için hammadde ve bileşen konumunda kullanılacak iplikler tez çalışmasının amacına uygun olarak doğada çözünebilir, geri dönüştürülmüş ya da geri dönüştürülmesi mümkün olan, sürdürülebilir ve aynı zamanda yaygın olarak kullanılan polyester ailesine mensup sentetik ipliklerden seçilmiştir. Bu iplikler ve genel özellikleri materyal başlığında yer alan Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

Kompozit iplik üretimi için seçilmiş olan beş farklı sentetik ipliğin ikili kombinasyonları sonucunda on beş farklı kompozit iplik elde edilmiştir. Üretim yöntemi belirlenirken teknik tekstilden, konvansiyonel tekstile kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılan, kolay ulaşılabilir bir iplik üretim yöntemi olan büküm yöntemi tercih edilmiştir. Üretim parametreleri ise, hammadde ve bileşen konumunda olan ipliklerin numaraları göz önünde bulundurularak, büküm yöntemini kullanarak üretim yapan firmaların sıkça kullandıkları ve üretim tesislerinde hali hazırda iplik üretimi

yaptıkları parametreler araştırılarak seçilmiştir. Kompozit iplik üretimi katlama, büküm ve fikseleme olmak üzere üç aşamadan oluşmuştur.

Kompozit iplik üretiminin ilk aşaması olan katlama işlemi, Mira İplik Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan Lezzeni marka katlama makinasında (Şekil 3.1.) farklı kombinasyonlarda iki iplik kullanılarak gerçekleştirilmiş, ardından ikinci aşama olan büküm aşaması yine aynı firmaya ait RPR büküm makinasında (Şekil 3.2.) 436 tur S yönünde yapılmıştır. Son aşama olan, iplik bükümünün kalıcılığını sağlamak amacıyla gerçekleştirilen fikseleme adımında iplikler 100°C'de 60 dakika boyunca işleme tabi tutulmuştur.



Şekil 3.1. Katlama Makinası



Şekil 3.2. Büküm Makinası

3.2.2. Kompozit ipliklerden kumaş üretimi

Tez çalışması kapsamında elde edilen kompozit ipliklerin farklı kullanım alanlarındaki davranışlarını inceleyebilmek için kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Kumaşlar, daha fazla üretim ve tüketim alanı bulabilmesi adına tekstilin alt dalları arasında en büyük paya sahip olan giyim ve ev tekstili sektörlerine yönelik üretilmiştir. Üretim yöntemi olarak en yaygın kullanılan, müşteri zevkine uygun konstrüksiyon, desenlendirme ve renklendirme yelpazesinin geniş olduğu, maliyeti diğer kumaş oluşum yöntemlerine göre daha ucuz olan, hızlı ve istenilen metrajlarda üretim yapılabilecek bir yöntem olan armür dokuma yöntemi tercih edilmiştir. Dokuma kumaş üretim parametreleri ise, kompozit iplik numaraları göz önüne alınarak, bu sektöre yönelik üretim yapan firmaların üretim parametreleri incelenerek, hali hazırda üretimi mevcut olan parametrelerle gerçekleştirilmiştir.

Dokuma kumaşlar Ustaoğlu Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan Picanol marka armürlü tezgâhta dokunmuştur (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Dokuma Makinası

Dokuma kumaşlar, 3,20 metre makine eni olan tezgâhta, çözgü sıklığı 20 tel/cm, atkı sıklığı 15 tel/cm olacak şekilde bezayağı dokuma örgü yapısı ile dokunmuştur. Atkı ipliği değişken olup, tez kapsamında üretilen kompozit iplikler sırasıyla kullanılmıştır. Çözgü ipliği olarak, ev tekstili ve giyim sektöründe sıklıkla tercih edilen, görsel açıdan tüketiciye hitap eden ve aynı zamanda tez kapsamında elde edilen kompozit ipliklerin numaraları göz önüne alınarak, 300 denye 192 filaman polyester efektli iplik kullanılmıştır. Kumaşlara dokuma işlemi sonrası Ustaoglu Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan Sun Super II marka, 15 m/dak hızdaki ramöz makinasında 160°C sıcaklıkta işlem uygulanmıştır (Şekil 3.4).



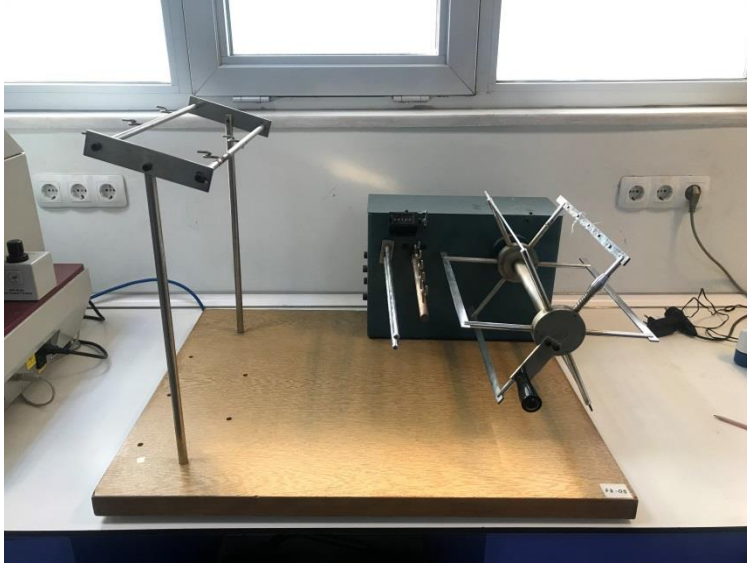
Şekil 3.4. Ramöz makinası

3.2.3. İpliklere uygulanan test ve deneyler

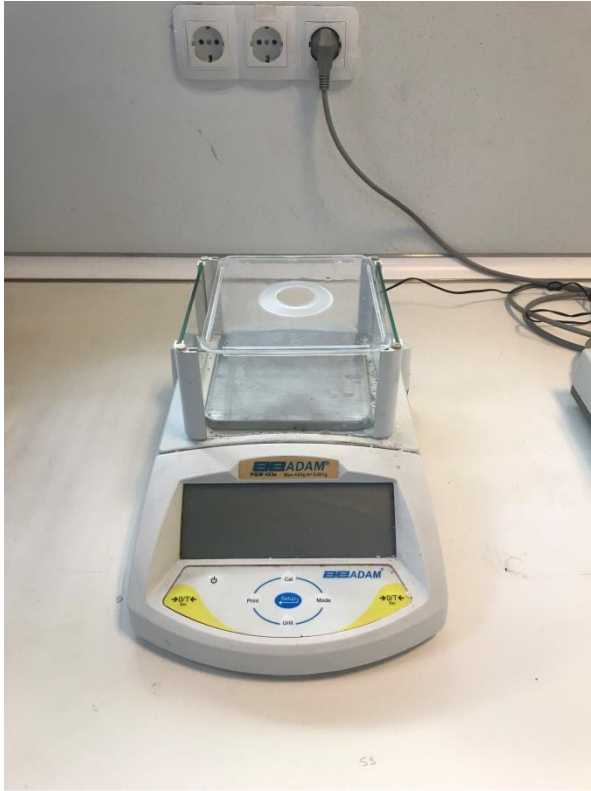
Tez çalışması kapsamında hammadde ve bileşen konumunda kullanılan iplikler ve üretilen kompozit iplikler test ölçümlerine ve deneylere tabi tutulmadan önce Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve 65 ± 4 bağıl nem koşullarında 24 saat kondüsyonlanmıştır.

3.2.3.1. İplik numara tayini

İplik numara tayini Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda bulunan çıkırık (Şekil 3.5.) ve hassas terazi ile yapılmıştır (Şekil 3.6.). İplik numara ölçümleri TS 244 EN ISO 2060 standardında çile metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numara ölçümleri her numune için beş kez olacak şekilde tekrarlanmış ve sonuçların ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 3.5. Çıkrık



Şekil 3.6. Hassas terazi

3.2.3.2. İpliklerin mikroskop görüntüsü

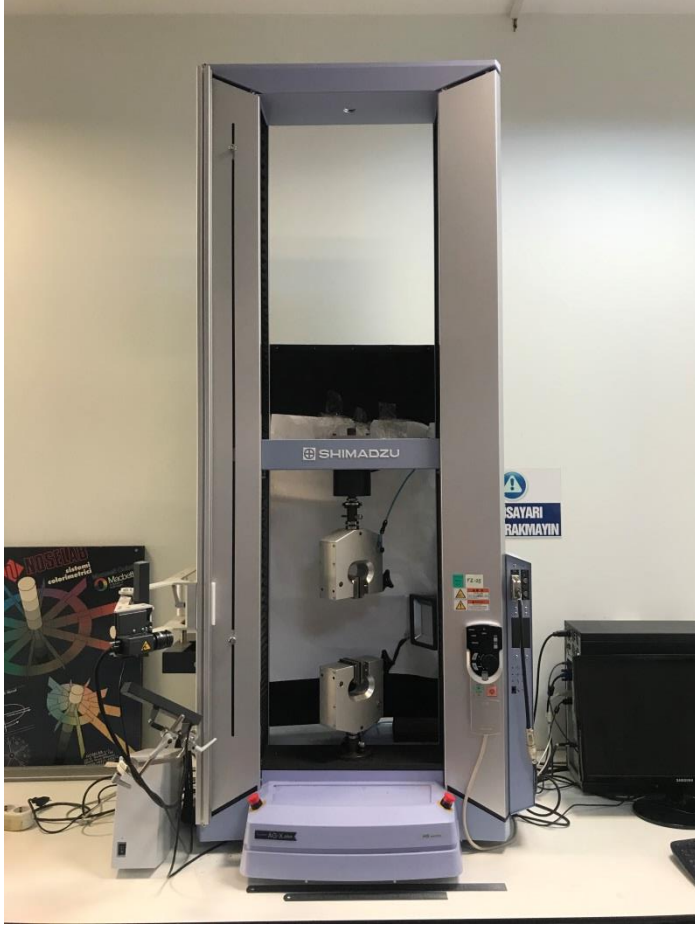
Tez çalışması kapsamındaki tüm ipliklerin görüntüleri Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda bulunan mikroskopta $4,5*10$ büyütme oranı ile alınmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Mikroskop

3.2.3.3. İplik çekme deneyleri

Tez çalışması kapsamındaki tüm ipliklerin mekanik özelliklerini incelemek için çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyi Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda bulunan Shimadzu Ag-X Plus marka çekme cihazında TS EN ISO 2062 standardında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8.).

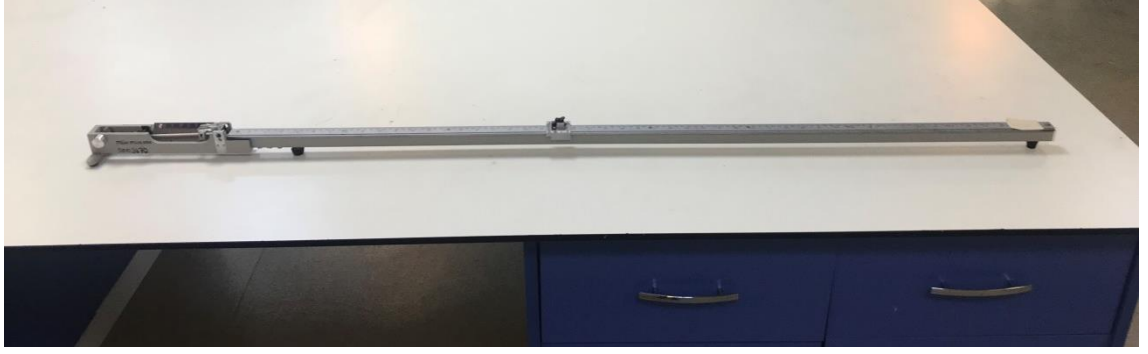


Şekil 3.8. Shimadzu Ag-X Plus çekme cihazı

Çekme deneyi için parametreler 500 mm çeneler arası mesafe ve 500 mm/dk test hızı olarak uygulanmıştır. Deney ölçümleri her numune için yirmişer kez tekrar edilmiştir ve tekrar sonuçlarının ortalaması alınmıştır.

3.2.3.4. Kumaştan çıkarılan ipliğin kıvrım oranı tayini

Tez çalışması kapsamında elde edilen kompozit ipliklerin kumaş oluşumu sonrasındaki davranışlarını inceleyebilmek için, Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan Shirley kıvrım tespit cihazında iplik kıvrım testi yapılmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Shirley kıvrım tespit cihazı

Her kumaş için, hem atkı yönü hem çözgü yönü olacak şekilde her iki yönden de beşer kez ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri hesaplanmıştır.

3.2.4. Tez kapsamında üretilen kumaşlara uygulanan test ve deneyler

Tez çalışması kapsamında üretilen kumaşlar test ölçümlerine ve deneylere tabi tutulmadan önce Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda ve Ustaoglu Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. Laboratuvarı'nda $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve 65 ± 4 bağıl nem koşullarında 24 saat kondüsyonlanmıştır.

3.2.4.1. Gramaj Ölçümü

Tez kapsamında üretilen kompozit ipliklerden elde edilen kumaşların özelliklerini incelemek için öncelikle gramaj ölçümü yapılmıştır. Ustaoglu Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan gramaj aleti (Şekil 3.10.) ve hassas terazi ile TS 251 standardında ölçüm gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11.).



Şekil 3.10. Gramaj ölçüm aleti



Şekil 3.11. Hassas terazi

Gramaj ölçümü için her kumaş numunesinden iki kez ölçüm alınmıştır ve ortalama değerleri hesaplanmıştır.

3.2.4.2. Kalınlık Ölçümü

Kumaşların kalınlık ölçümleri Ustaoglu Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan TF121 C cihazında TS 7128 EN ISO 5084 test standardına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 3.12.). Cihaz parametreleri baskı ayağı alanı/çapı 2000 mm², baskı ağırlığı 200 cN, baskı süresi 30 sn, kalınlık değeri mm olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.12. Kalınlık ölçüm cihazı

Kalınlık ölçümü için numuneden beşer kez ölçüm alınmıştır ve ortalama değerleri hesaplanmıştır.

3.2.4.3. Kumaş Çekme Deneyi

Tez kapsamında elde edilen kumaşların mekanik özelliklerini incelemek amacıyla Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'ndaki Shimadzu Ag-X

Plus marka çekme cihazı kullanılmıştır (Bknz. Şekil 3.8.). Deney, TS EN ISO 13934-1 standardına uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çekme deneyi için parametreler 2N öngerilme, 200 mm çeneler arası mesafe, 100 mm/dk test hızı olarak uygulanmıştır. Deney ölçümleri her numune için beş kez atkı yönü beş kez çözgü yönü olacak şekilde tekrar edilmiştir ve iki yön içinde tekrar sonuçlarının ortalaması alınmıştır.

3.2.4.4. Kumaş aşınma dayanımı testi

Kumaşların aşınma dayanımı ölçümü, Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda bulunan Nu-Martindale aşınma ve boncuklanma test cihazında TS EN ISO 12947-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Nu-Martindale aşınma ve boncuklanma test cihazı

Test parametreleri oluşturulurken devir sayıları, test merkezlerinin ve ev tekstili ve giyim sektöründe yer alan firmaların uyguladıkları devir sayıları dikkate alınarak 30000 devir olarak belirlenmiştir. Kumaş özelliğine uygun olarak basıncı sağlayacak olan ağırlık ise, 9 kPa olarak kullanılmıştır. Ölçümler her kumaş numunesi için üçer kez

tekrarlanmıştır. Her numune ve her tekrar için 10000, 15000, 20000, 25000 ve 30000 devir için aşınma sonrası test görselleri alınmıştır.

4. BULGULAR (BULGULAR ve TARTIŞMA)

Bu tez çalışmasında amaçlanan, sürdürülebilir, çevre dostu ipliklerle fonksiyonel özelliği arttırılmış sentetik kompozit iplikler elde etmekle birlikte, bu iplikleri tekstil sektöründe daha sık kullanılan konvansiyonel sentetik iplikler ile birçok farklı açıdan karşılaştırarak sürdürülebilir, çevre dostu ürünlerin performansını ortaya koymak ve üretimde de tüketimde de yaygınlaşmasını sağlamaktır.

Bu bölümde materyal ve yöntem kısmında belirtilen deney ve testlerin ayrıntılı sonuçları verilmiş ve sonuçların karşılaştırılmalı tartışması yapılmıştır.

4.1. İpliklere uygulanan test ve deney sonuçları

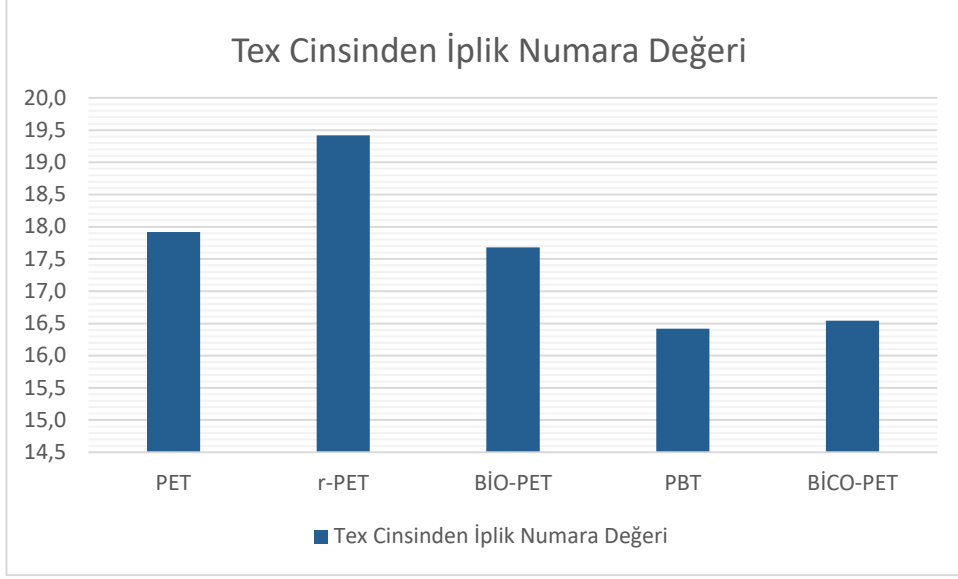
4.1.1. İplik numara tayini sonuçları

Kompozit iplik oluşturmak için hammadde ve bileşen olarak kullanılan ipliklerin iplik numara tayini için yapılan tüm ölçümlerinin ortalama değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kompozit iplik oluşturmak için kullanılan ipliklerin ortalama iplik numara ölçüm değerleri

KOMPOZİT İPLİK OLUŞTURMAK İÇİN KULLANILAN İPLİKLERİN ORTALAMA NUMARA ÖLÇÜM DEĞERLERİ					
Sıra No	Test Edilen Numune Adı	Çıkrık Sonucu Ölçülen Değer (gr)	Çıkrık Sonucu Ölçülen Değer (m)	Tex Cinsinden İplik Numara Değeri	%CV
1	150 D 48 F- PET	1,638	91,44	17,9	0,2
2	150 D 48 F- r-PET	1,774	91,44	19,4	0,4
3	150 D 136 F- BİO-PET	1,613	91,44	17,7	0,2
4	150 D 48 F- PBT	1,501	91,44	16,4	1,8
5	150 D 144 F- BİCO-PET-PTT	1,511	91,44	16,5	0,5

Numara tayini ölçümleri sonuçlarının daha net gözlemlenebilmesi için ortalama değerlere bağlı olarak grafik elde edilmiştir ve Şekil 4.1.’de belirtilmiştir.



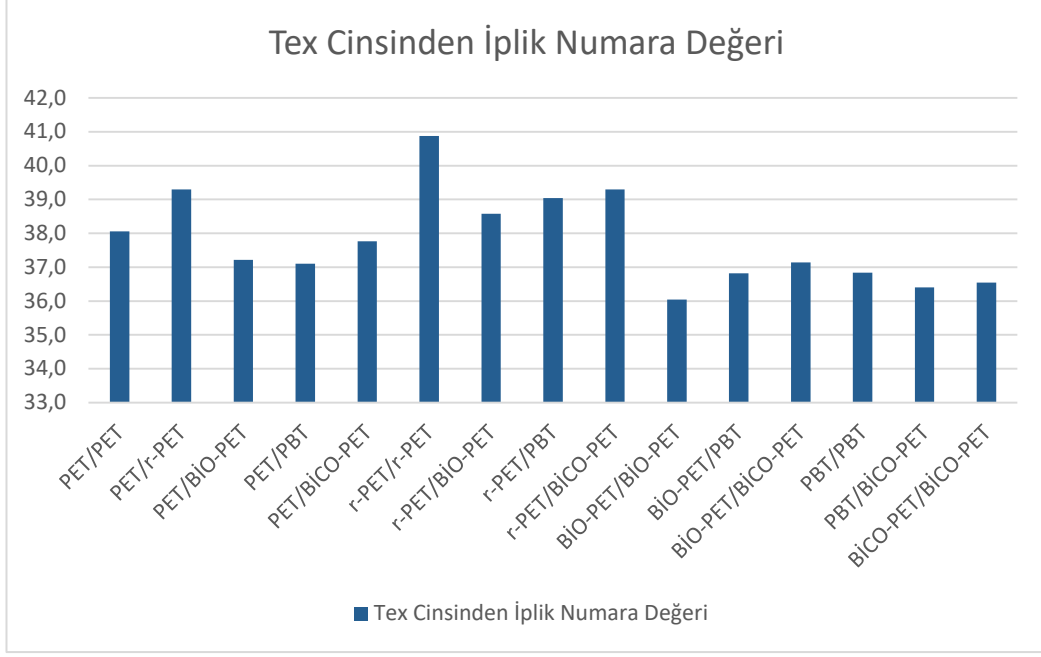
Şekil 4.1. Kompozit iplik bileşenlerinin Tex cinsinden iplik numara değer grafiği

Kompozit ipliklerin iplik numara tayini için yapılan tüm ölçümlerinin ortalama değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kompozit ipliklerin ortalama iplik numara ölçüm değerleri

KOMPOZİT İPLİKLERİN ORTALAMA İPLİK NUMARA ÖLÇÜM DEĞERLERİ					
Sıra No	Test Edilen Numune Adı	Çıkrık Sonucu Ölçülen Değer (gr)	Çıkrık Sonucu Ölçülen Değer (m)	Tex Cinsinden İplik Numara Değeri	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	3,481	91,44	38,1	0,8
2	300 D 96 F- PET/r-PET	3,589	91,44	39,3	0,6
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	3,405	91,44	37,2	0,7
4	300 D 96 F- PET/PBT	3,390	91,44	37,1	0,3
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	3,451	91,44	37,8	0,3
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	3,732	91,44	40,9	0,5
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	3,529	91,44	38,6	0,4
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	3,568	91,44	39,0	1,1
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	3,590	91,44	39,3	0,3
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	3,294	91,44	36,0	0,1
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	3,369	91,44	36,8	0,7
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	3,398	91,44	37,1	0,3
13	300 D 96 F- PBT/PBT	3,369	91,44	36,8	0,1
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	3,330	91,44	36,4	0,3
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	3,341	91,44	36,5	0,1

Numara tayini ölçümleri sonuçlarının daha net gözlemlenebilmesi için ortalama değerlere bağlı olarak grafik elde edilmiştir ve Şekil 4.2.'de belirtilmiştir.

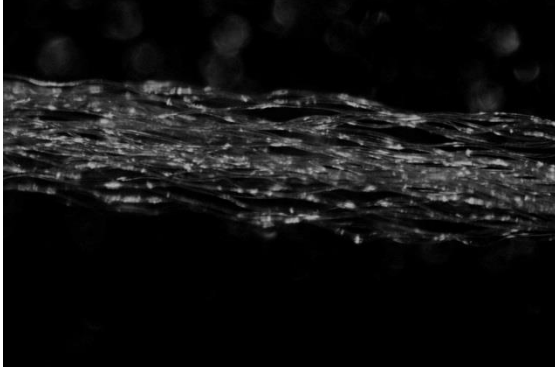


Şekil 4.2. Kompozit ipliklerin Tex cinsinden iplik numara değeri grafiği

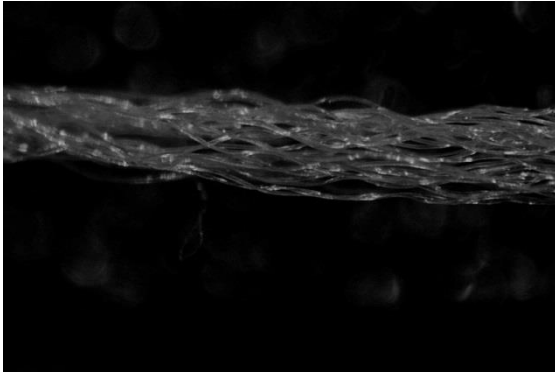
Yukarıda verilen Çizelge 4.1., ve Çizelge 4.2.’nin sonuçları incelendiğinde, kompozit iplik oluşumundan sonra beklenen şekilde kompozit iplik bileşeni olan ipliklerin gramaj oranlarına bağlı olarak kompozit iplik gramajlarında artış gerçekleşmiştir.

4.1.2. İpliklerin mikroskop görüntüleri

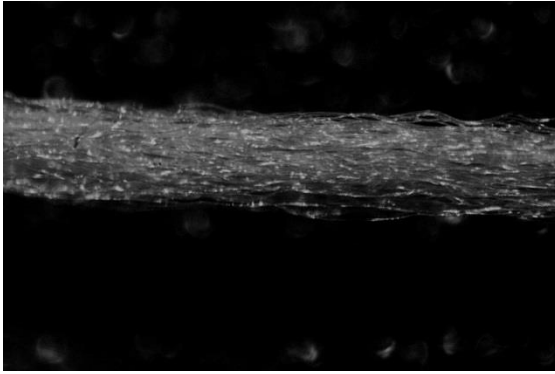
Tez çalışması kapsamında ticari olarak temin edilen ve hammadde ve bileşen olarak kullanılan ipliklerin ve bu ipliklerden elde edilen kompozit ipliklerin değerlendirilmesinin ve kompozit iplik oluşturulduktan sonraki davranış analizini daha doğru değerlendirebilmek için mikroskop görüntüleri alınmıştır. Görüntüler Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6., Şekil 4.7., Şekil 4.8., Şekil 4.9., Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12., Şekil 4.13., Şekil 4.14., Şekil 4.15., Şekil 4.16., Şekil 4.17., Şekil 4.18., Şekil 4.19., Şekil 4.20., Şekil 4.21., Şekil 4.22.’de belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Polietilen tereftalat (PET) ipliğın mikroskop görüntüsü



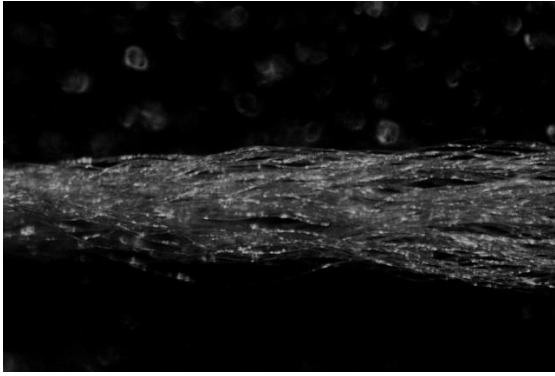
Şekil 4.4. Recycle polietilen tereftalat (r-PET) ipliğın mikroskop görüntüsü



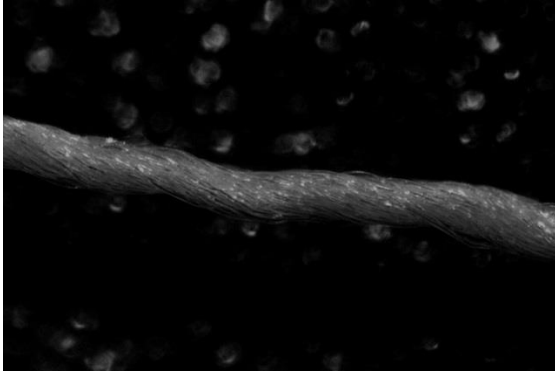
Şekil 4.5. Biodegradable polietilen tereftalat (BİO-PET) ipliğın mikroskop görüntüsü



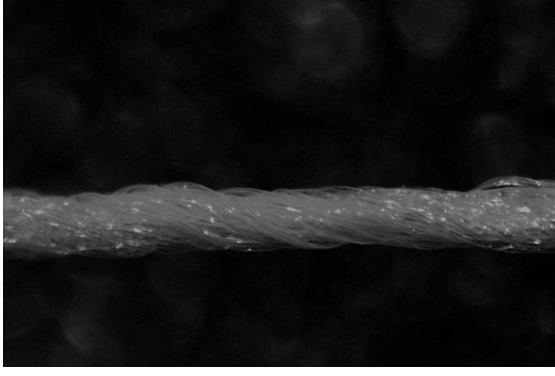
Şekil 4.6. Polibütülen tereftalat (PBT) ipliğın mikroskop görüntüsü



Şekil 4.7. Bikomponent polietilen tereftalat-politrimetilen tereftalat (BICO-PET) ipliğın mikroskop görüntüsü



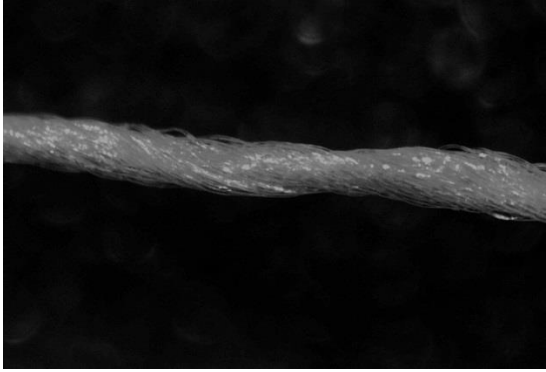
Şekil 4.8. PET/PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



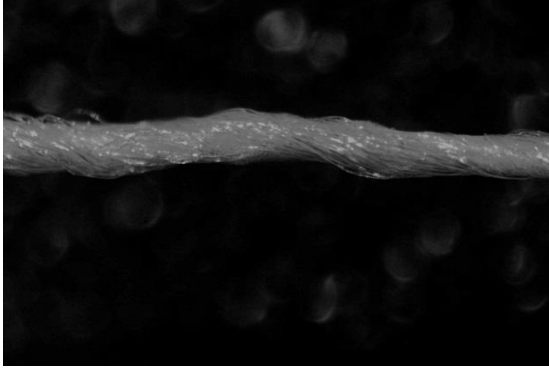
Şekil 4.9. PET/r-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



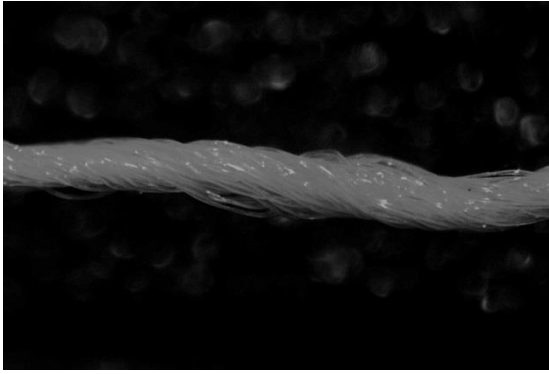
Şekil 4.10. PET/BİO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



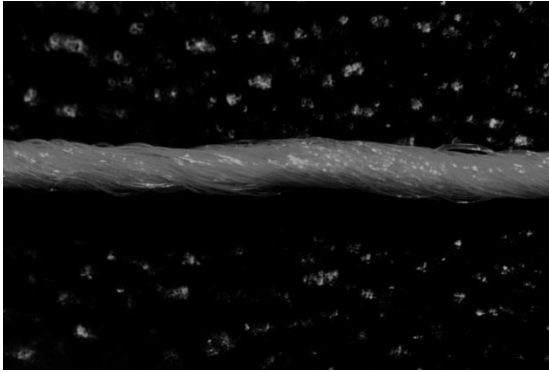
Şekil 4.11. PET/PBT kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



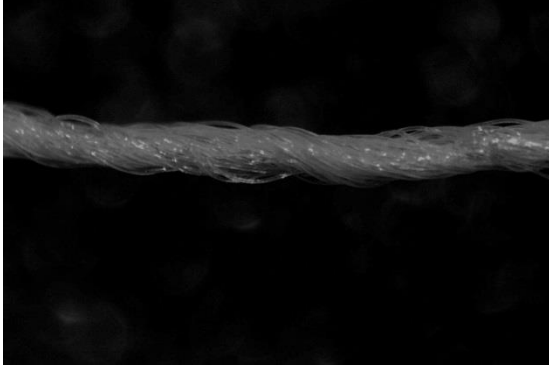
Şekil 4.12. PET/BİCO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



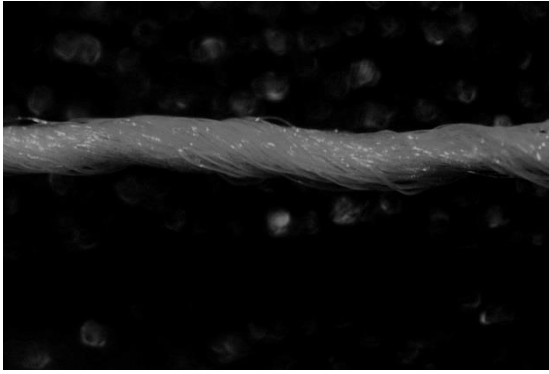
Şekil 4.13. r-PET/r-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



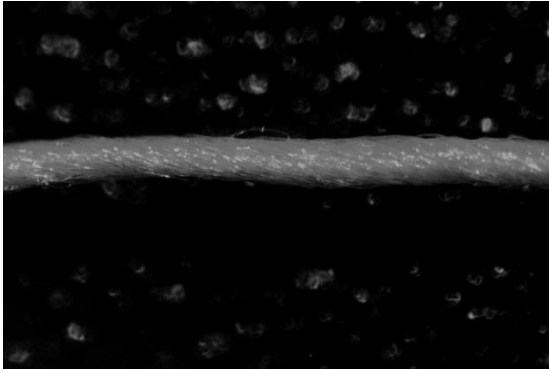
Şekil 4.14. r-PET/BİO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



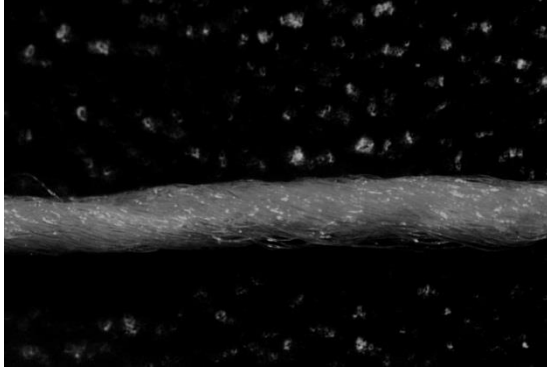
Şekil 4.15. r-PET/PBT kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



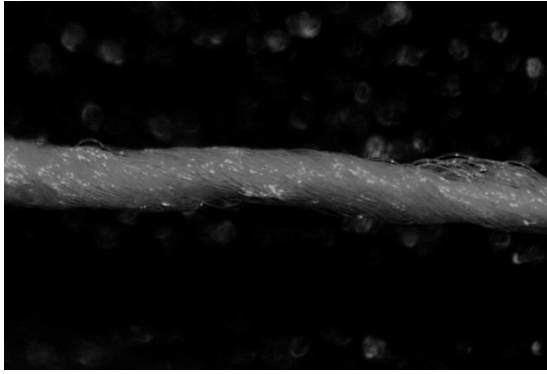
Şekil 4.16. r-PET/BİCO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



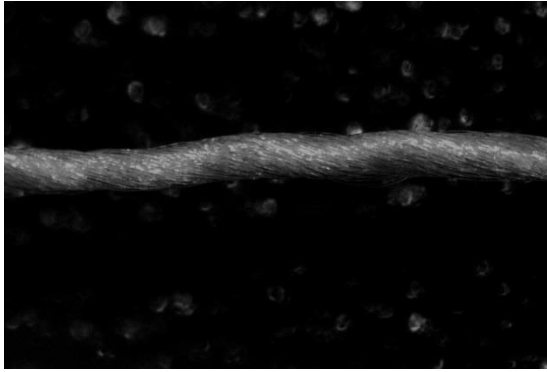
Şekil 4.17. BİO-PET/BİO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



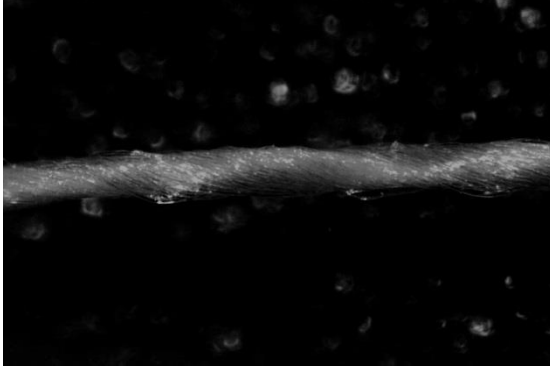
Şekil 4.18. BiO-PET/PBT kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



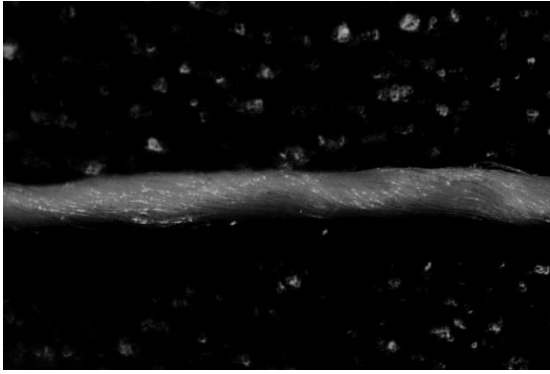
Şekil 4.19. BiO-PET/BICO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.20. PBT/PBT kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.21. PBT/BICO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.22. BICO-PET/BICO-PET kombinasyonu kompozit iplik mikroskop görüntüsü

4.1.3. İplik çekme deney sonuçları

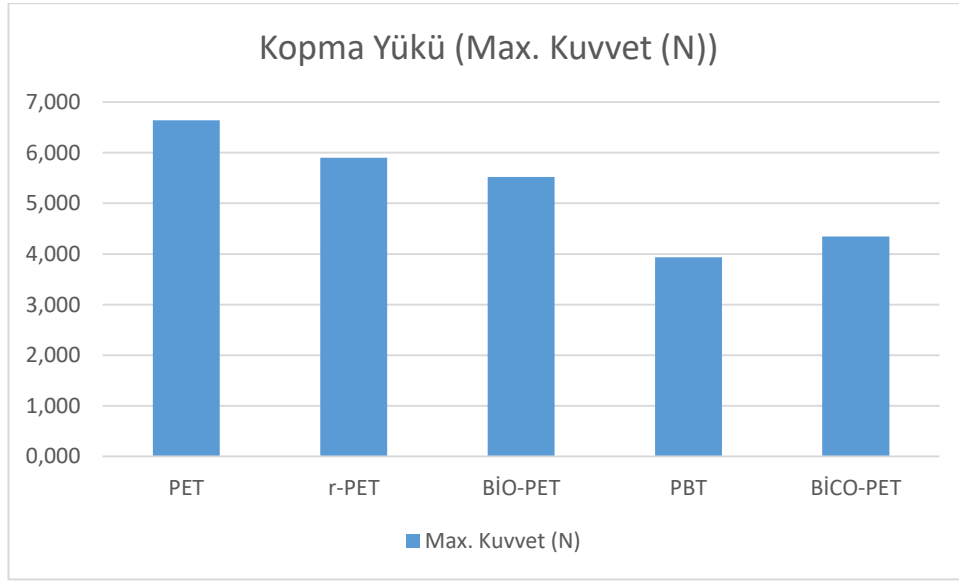
Üretim aşaması, nihai kullanım gibi alanına göre istenilen değerler farklılık göstermekle birlikte tekstil sektöründe kullanılan ipliklerin mekanik değerlerinin belirli bir değer aralığında olması şarttır. Bu değerler istenen değer aralıklarında olmadığına üretim süreçlerinde de, nihai ürünün kullanımı açısından da çok önemli sorunlar doğurur ve beklenen performans alınamaz.

Bu sebeplerle birlikte, kompozit iplik oluşumu öncesi ve sonrasındaki ipliklerin mekanik özellikleri arasındaki değişimi ve farkı gözlemlemek amacıyla çekme deneyi yapılmıştır. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma yükü sonuçları aşağıda verilen Çizelge 4.3.'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma yükü ölçüm sonuçları

KOMPOZİT İPLİK OLUŞUMU İÇİN KULLANILAN İPLİKLERİN ORTALAMA KOPMA YÜKÜ SONUÇLARI			
Sıra No	Test Edilen Numune Adı	Kopma Yükü (Max. Kuvvet (N))	%CV
1	150 D 48 F- PET	6,637	2,9
2	150 D 48 F- r-PET	5,901	2,7
3	150 D 136 F- BİO-PET	5,519	4,9
4	150 D 48 F- PBT	3,936	2,2
5	150 D 144 F- BİCO-PET-PTT	4,348	1,1

Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma yükü grafiği Şekil 4.23.'te belirtilmiştir.



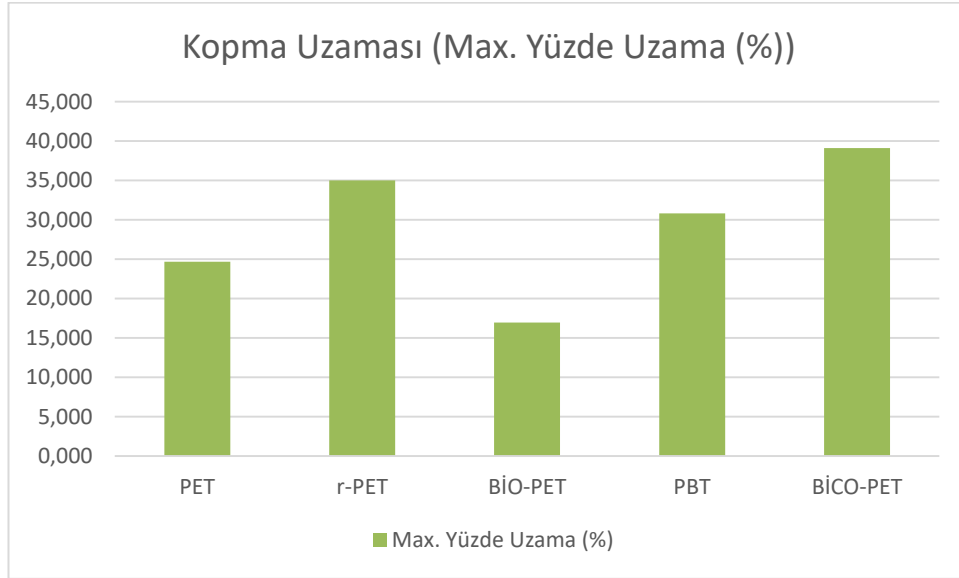
Şekil 4.23. Kompozit iplik bileşenlerinin ortalama kopma yükü grafiği

Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma uzaması sonuçları aşağıda verilen Çizelge 4.4.'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma uzaması ölçüm sonuçları

KOMPOZİT İPLİK OLUŞUMU İÇİN KULLANILAN İPLİKLERİN ORTALAMA KOPMA UZAMASI SONUÇLARI			
Sıra No	Test Edilen Numune Adı	Kopma Uzaması (Max. Yüzde Uzama %)	%CV
1	150 D 48 F- PET	24,667	8,1
2	150 D 48 F- r-PET	35,022	5,8
3	150 D 136 F- BİO-PET	16,968	8,0
4	150 D 48 F- PBT	30,822	8,5
5	150 D 144 F- BİCO-PET-PTT	39,109	8,9

Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma uzaması grafiği Şekil 4.24.'te belirtilmiştir.



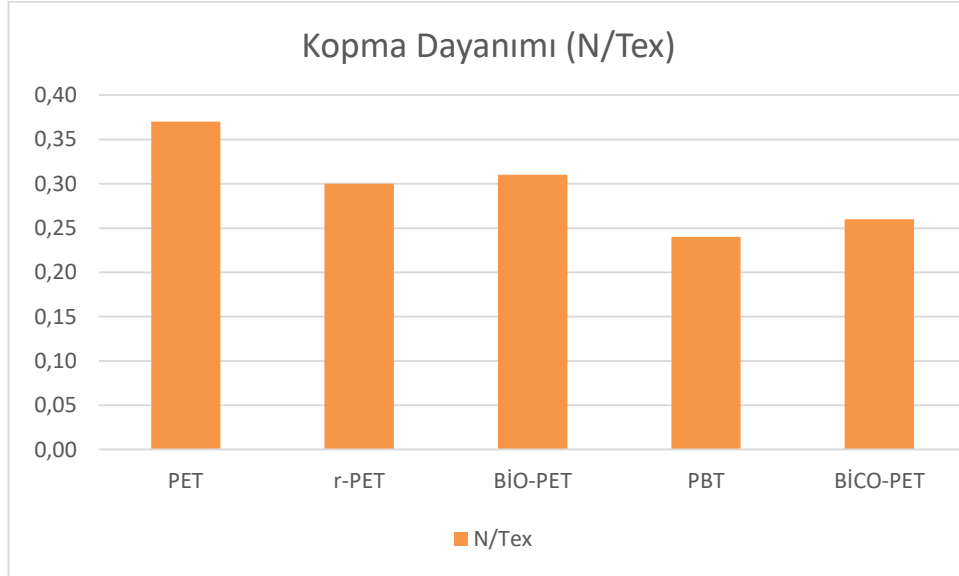
Şekil 4.24. Kompozit iplik bileşenlerinin ortalama kopma uzaması grafiği

Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma dayanımı sonuçları aşağıda verilen Çizelge 4.5.'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.5. Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma dayanımı ölçüm sonuçları

KOMPOZİT İPLİK OLUŞUMU İÇİN KULLANILAN İPLİKLERİN KOPMA DAYANIMI ORTALAMA SONUÇLARI			
Sıra No	Test Edilen Numune Adı	Kopma Dayanımı (N/Tex)	%CV
1	150 D 48 F- PET	0,37	2,9
2	150 D 48 F- r-PET	0,30	2,7
3	150 D 136 F- BİO-PET	0,31	4,9
4	150 D 48 F- PBT	0,24	2,2
5	150 D 144 F- BİCO-PET-PTT	0,26	1,1

Kompozit iplik elde etmek için kullanılan ipliklerin ortalama kopma dayanımı grafiği Şekil 4.25.'te belirtilmiştir.



Şekil 4.25. Kompozit iplik bileşenlerinin ortalama kopma dayanımı grafiği

PET iplikler, beklenildiği gibi diğer polyester ipliklerden daha mukavemetli bir sonuç vermiştir. En düşük mukavemet PBT ipliklerde görülmüştür. Bunun sebebi, PBT ipliğinin molekül yapısı sebebiyle daha düşük kristallenme davranışı göstermesidir.

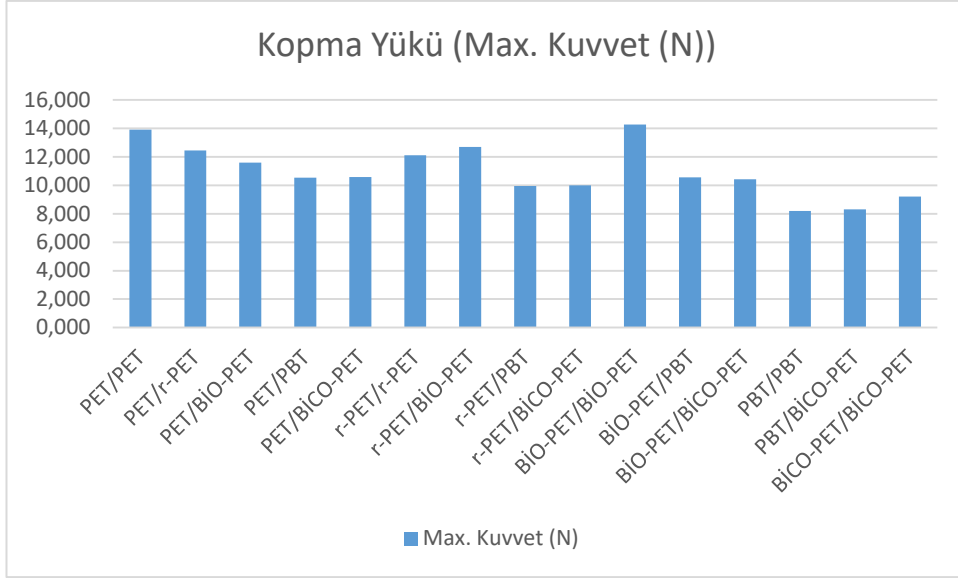
BİO-PET'in kopma mukavemeti ise, r-PET'e yakındır. Bu durum BİO-PET'in kullanımını açısından ümit vericidir.

Elde edilen kompozit ipliklerin ortalama kopma yükü sonuçları aşağıda verilen Çizelge 4.6.'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. Kompozit ipliklerin ortalama kopma yükü ölçüm sonuçları

KOMPOZİT İPLİKLERİN ORTALAMA KOPMA YÜKÜ SONUÇLARI			
Sıra No	Test Edilen Numune Adı	Kopma Yükü (Max. Kuvvet (N))	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	13,910	1,4
2	300 D 96 F- PET/r-PET	12,457	4,3
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	11,589	16
4	300 D 96 F- PET/PBT	10,527	2,3
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	10,577	3,0
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	12,116	1,4
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	12,706	1,1
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	9,943	1,6
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	9,991	2,8
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	14,264	1,2
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	10,559	2,4
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	10,430	1,4
13	300 D 96 F- PBT/PBT	8,207	2,5
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	8,298	1,8
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	9,210	1,2

Elde edilen kompozit ipliklerin ortalama kopma yükü grafiği Şekil 4.26.'da belirtilmiştir.



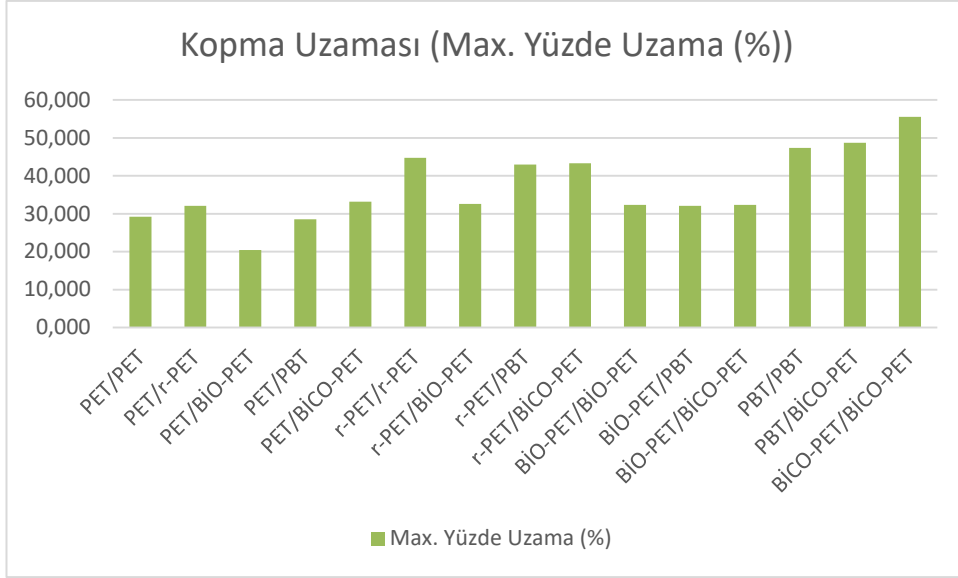
Şekil 4.26. Kompozit ipliklerin kopma yükü grafiğı

Elde edilen kompozit ipliklerin ortalama kopma uzaması sonuçları aşağıda verilen Çizelge 4.7.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7. Kompozit ipliklerin ortalama kopma uzaması ölçüm sonuçları

KOMPOZİT İPLİKLERİN ORTALAMA KOPMA UZAMASI SONUÇLARI			
Sıra No	Test Edilen Numune Adı	Kopma Uzaması (Max. Yüzde Uzama (%))	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	29,260	4,9
2	300 D 96 F- PET/r-PET	32,126	10,0
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	20,414	27,3
4	300 D 96 F- PET/PBT	28,539	6,4
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	33,148	5,8
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	44,752	4,3
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	32,567	4,1
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	42,943	5,6
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	43,303	7,1
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	32,305	6,4
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	32,078	7,2
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	32,313	4,3
13	300 D 96 F- PBT/PBT	47,370	9,8
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	48,688	6,0
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	55,544	4,4

Elde edilen kompozit ipliklerin ortalama kopma uzaması grafiği Şekil 4.27.'de belirtilmiştir.



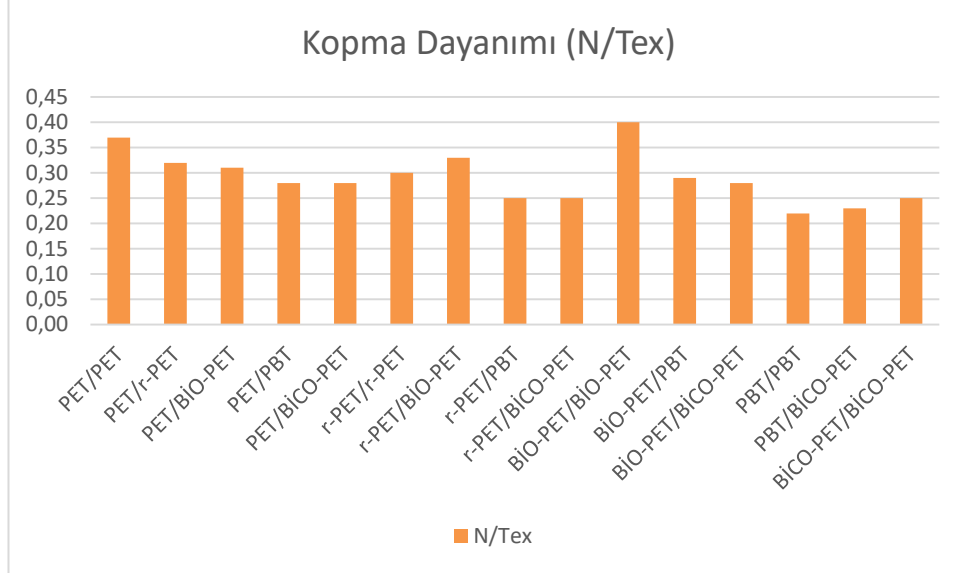
Şekil 4. 27. Kompozit ipliklerin ortalama kopma uzaması grafiği

Elde edilen kompozit ipliklerin ortalama kopma dayanımı sonuçları aşağıda verilen Çizelge 4.8.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Kompozit iplik ortalama kopma dayanımı ölçüm sonuçları

KOMPOZİT İPLİKLERİN ORTALAMA KOPMA DAYANIMI SONUÇLARI			
Sıra No	Test Edilen Numune Adı	Kopma Dayanımı (N/Tex)	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	0,37	1,4
2	300 D 96 F- PET/r-PET	0,32	4,3
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	0,31	16,0
4	300 D 96 F- PET/PBT	0,28	2,3
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	0,28	3,0
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	0,30	1,4
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	0,33	1,1
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	0,25	1,6
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	0,25	2,8
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	0,40	1,2
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	0,29	2,4
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	0,28	1,4
13	300 D 96 F- PBT/PBT	0,22	2,5
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	0,23	1,8
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	0,25	1,2

Elde edilen kompozit ipliklerin ortalama kopma uzaması grafiği Şekil 4.28.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.28. Kompozit ipliklerin kopma dayanımı grafiği

Saf PET ipliklerin diğer ipliklerle, elde edilen kompozit ipliklerin mekaniksel davranıŐlarına bakıldığında PET/PET kompozit iplik en iyi mukavemet değerine sahiptir. PET'in r-PET, BİO-PET, BİCO-PET ipliklerle kompozit yapılmasıyla bir miktar mukavemet kaybı olmuŐtur. Ancak hem çevresel hem de kazandırılan fonksiyonel özellikler düşünöldüğünde bu azalma göz ardı edilebilir. PBT iplik, kompozit iplikte bir bileşen olduğu zaman mukavemet kaybı oluşmaktadır.

İki aynı iplikten kompozit yapıldığında kompozit iplik mukavemeti tek bileşen ile inceliğe bölündüğu için aynı durumdadır. Ancak uzama değerleri artış göstermiştir.

4.1.4. Kumaştan çıkarılan ipliklerin kıvrım ölçümü sonuçları

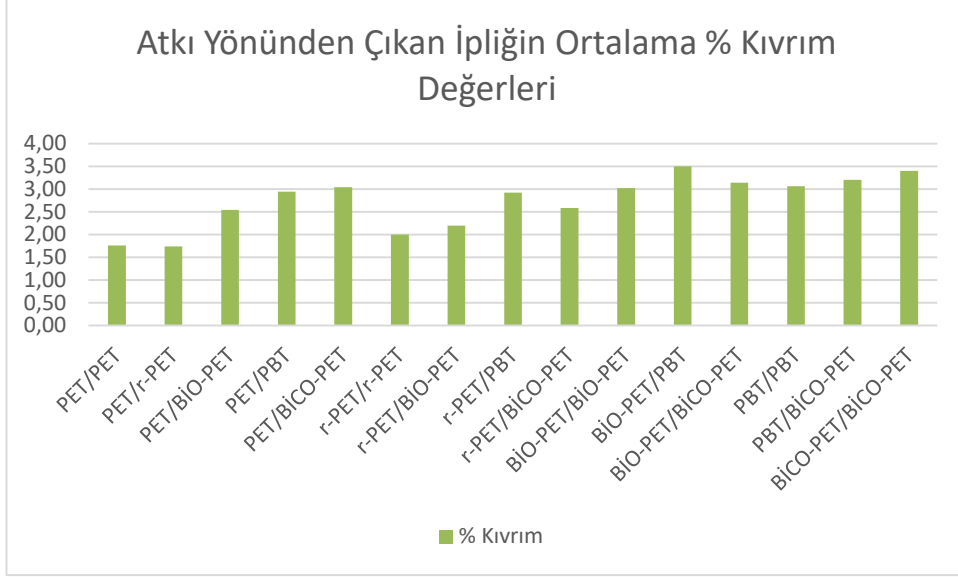
Dokuma işlemi gerçekteŐirildikten sonra yapının içinde yer alan ipliklerin kıvrım özelliklerini ve farklı liflere sahip ipliklerin dokuma yapısı içindeki gösterdiği davranışı incelemek amacıyla ölçüm yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan PBT ve bikomponent PET/PTT iplikleri kumaŐa hacim vermek için kıvrımlı yapısı sebebiyle tercih edilmiştir.

Kıvrım testlerinin uygulanma sebebi budur. Atkı yönündeki ortalama kıvrım ölçüm sonuçları Çizelge 4.9.'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.9. Kumaşlardan çıkarılan ipliğin atkı yönündeki ortalama kıvrım testi sonuçları

DOKUMA KUMAŞLARDAN ÇIKARILAN İPLİĞİN ATKI YÖNÜNDEKİ ORTALAMA KIVRIM TEST SONUÇLARI					
Sıra No	Atkı İpliği	Atkı Yönü			
		Kumaşt an Alnan İplik Ölçümü (cm)	İpliğin Test Uygulandıktan Sonraki Ölçümü (cm)	% Kıvrım	% CV
1	300 D 96 F- PET/PET	100	101,76	1,76	0,13
2	300 D 96 F- PET/r-PET	100	101,74	1,74	0,05
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	100	102,54	2,54	0,12
4	300 D 96 F- PET/PBT	100	102,94	2,94	0,10
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	100	103,04	3,04	0,08
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	100	102,00	2,00	0,06
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	100	102,20	2,20	0,09
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	100	102,92	2,92	0,14
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	100	102,58	2,58	0,21
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	100	103,02	3,02	0,07
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	100	103,50	3,50	0,11
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	100	103,14	3,14	0,15
13	300 D 96 F- PBT/PBT	100	103,06	3,06	0,16
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	100	103,20	3,20	0,14
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	100	103,40	3,40	0,10

Kumaşların atkı yönünden çıkarılan ipliklerin % kıvrım değerleri grafiği Şekil 4.29.'da verilmiştir.



Şekil 4.29. Kumaşların atkı yönünden çıkarılan ipliklerin % kıvrım değerleri grafiği

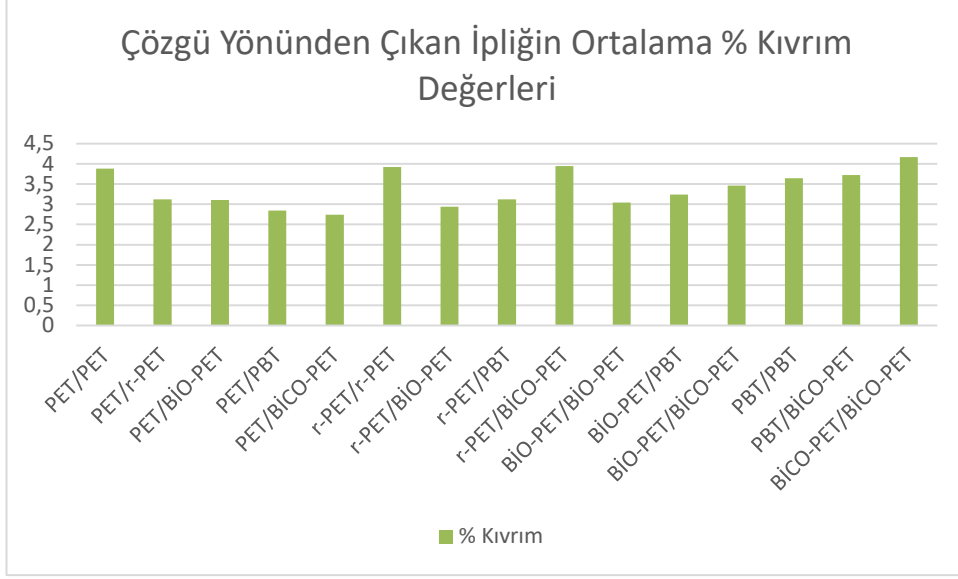
Bikomponent iplik kompozit iplikte bileşen olarak yer aldığı zaman kıvrım değerleri artmıştır. Bikomponent iplik yapılma amacı, ipliğe kıvrım kazandırmak olduğu için bu beklenen bir durumdur.

Çözü yönündeki ortalama kıvrım ölçüm sonuçları Çizelge 4.10.'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.10. Kumaşlardan çıkarılan ipliğin çözgü yönündeki ortalama kıvrım testi sonuçları

DOKUMA KUMAŞLARDAN ÇIKARILAN İPLİĞİN ÇÖZGÜ YÖNÜNDEKİ ORTALAMA KIVRIM TEST SONUÇLARI					
Sıra No	Atkı İpliği	Çözgü Yönü			
		Kumaş an Alınan İplik Ölçümü (cm)	İpliğin Test Uygulandıktan Sonraki Ölçümü (cm)	% Kıvrım	% CV
1	300 D 96 F- PET/PET	100	103,88	3,88	0,34
2	300 D 96 F- PET/r-PET	100	103,12	3,12	0,14
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	100	103,10	3,10	0,32
4	300 D 96 F- PET/PBT	100	102,84	2,84	0,39
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	100	102,74	2,74	0,22
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	100	103,92	3,92	0,55
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	100	102,94	2,94	0,44
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	100	103,12	3,12	0,46
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	100	103,94	3,94	0,45
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	100	103,04	3,04	0,22
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	100	103,24	3,24	0,40
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	100	103,46	3,46	0,18
13	300 D 96 F- PBT/PBT	100	103,64	3,64	0,23
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	100	103,72	3,72	0,15
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	100	104,16	4,16	0,33

Kumaşların çözgü yönünden çıkarılan ipliklerin % kıvrım değerleri grafiği Şekil 4.30.'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Kumaşların çözgü yönünden çıkarılan ipliklerin % kıvrım değerleri grafiği

4.2. Tez kapsamında üretilen kumaşlara uygulanan test ve deney sonuçları

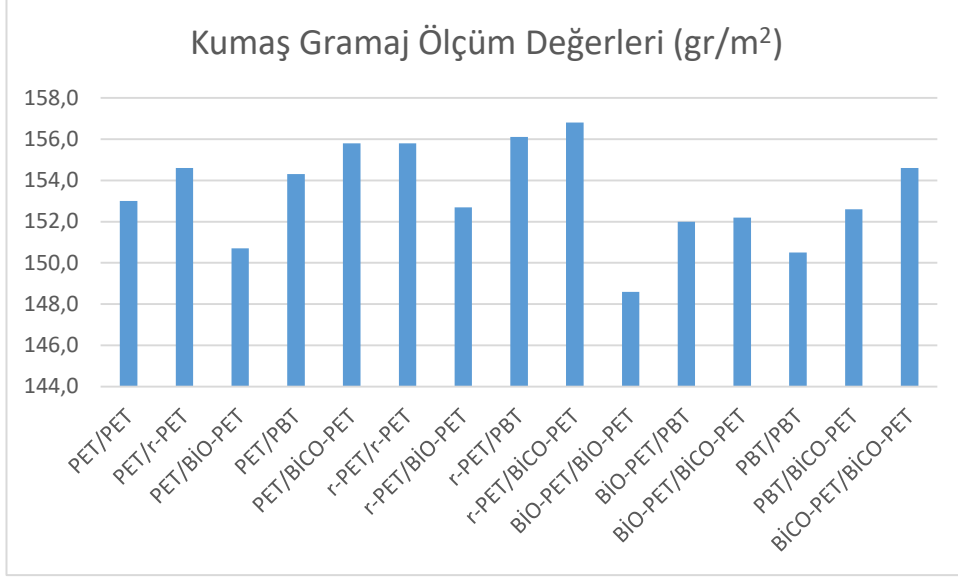
4.2.1. Gramaj ölçümü sonuçları

Tez çalışması kapsamında elde edilen kompozit ipliklerden üretilmiş dokuma kumaşların yapısal özelliklerini anlayabilmek için yapılan ölçümlerden biri gramaj ölçümdür. Kumaşın yapısı ve kullanım alanına yönelik fikir sahibi olunabilmesi için gramaj tayini yapmak çok önemlidir. Çizelge 4.11.'de gramaj ölçüm sonuçları ve ortalama değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların ortalama gramaj ölçüm sonuçları

DOKUMA KUMAŞIN ORTALAMA GRAMAJ ÖLÇÜM DEĞERLERİ			
Sıra No	Atkı İpliği	Gramaj (gr/m²)	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	153,0	0,16
2	300 D 96 F- PET/r-PET	154,6	0,03
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	150,7	0,10
4	300 D 96 F- PET/PBT	154,3	0,45
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	155,8	0,16
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	155,8	0,13
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	152,7	0,36
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	156,1	0,35
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	156,8	0,03
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	148,6	0,27
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	152,0	0,00
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	150,2	0,03
13	300 D 96 F- PBT/PBT	150,5	0,40
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	152,6	0,13
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	154,6	0,06

Kompozit ipliklerle üretilen dokuma kumaşın ortalama gramaj ölçüm grafiği Şekil 4.31’de belirtilmiştir.



Şekil 4.31. Ortalama kumaş gramaj ölçüm değerleri grafiği

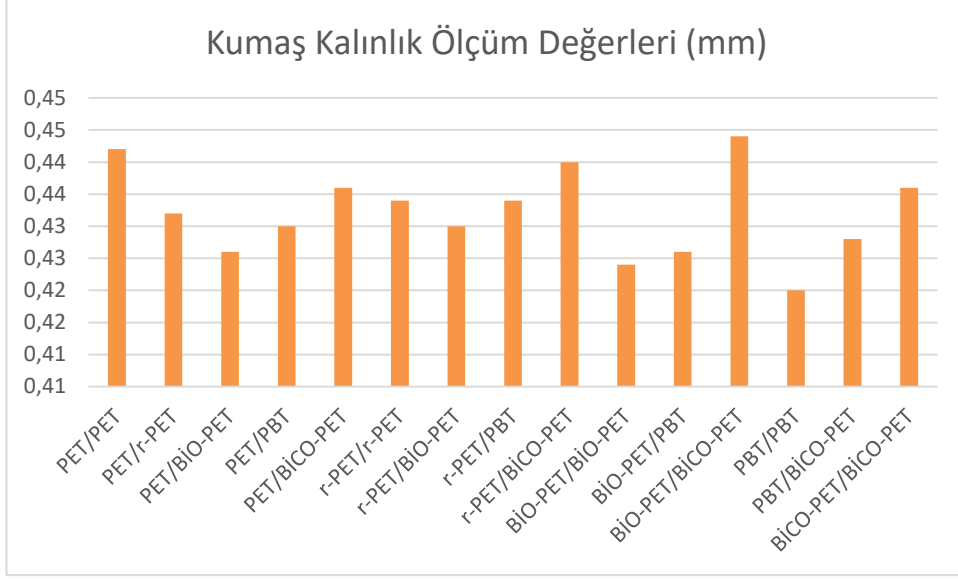
4.2.2. Kalınlık ölçümü sonuçları

Elde edilen kompozit ipliklerin kumaş içindeki davranışlarını ve etkilerini anlamak için yapılan testler arasında kalınlık ölçümü yer almıştır. Test ölçüm sonuçları ortalama değerleri Çizelge 4.12.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.12. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların ortalama kalınlık ölçüm sonuçları

DOKUMA KUMAŞIN ORTALAMA KALINLIK ÖLÇÜM DEĞERLERİ			
Sıra No	Atkı İpliği	Kalınlık (mm)	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	0,44	1,69
2	300 D 96 F- PET/r-PET	0,43	0,93
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	0,43	1,15
4	300 D 96 F- PET/PBT	0,43	1,47
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	0,44	1,83
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	0,43	1,13
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	0,43	2,08
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	0,43	1,13
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	0,44	1,44
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	0,42	1,16
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	0,43	1,15
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	0,44	2,30
13	300 D 96 F- PBT/PBT	0,42	1,51
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	0,43	0,93
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	0,44	2,34

Kompozit ipliklerle üretilen dokuma kumaşın ortalama kalınlık ölçüm grafiği Şekil 4.32’de belirtilmiştir.



Şekil 4.32. Ortalama kumaş kalınlık ölçüm değerleri grafiği

Kompozit ipliklerden yapılan kumaş kalınlıkları ve gramaj değerleri birbirlerine yakındır.

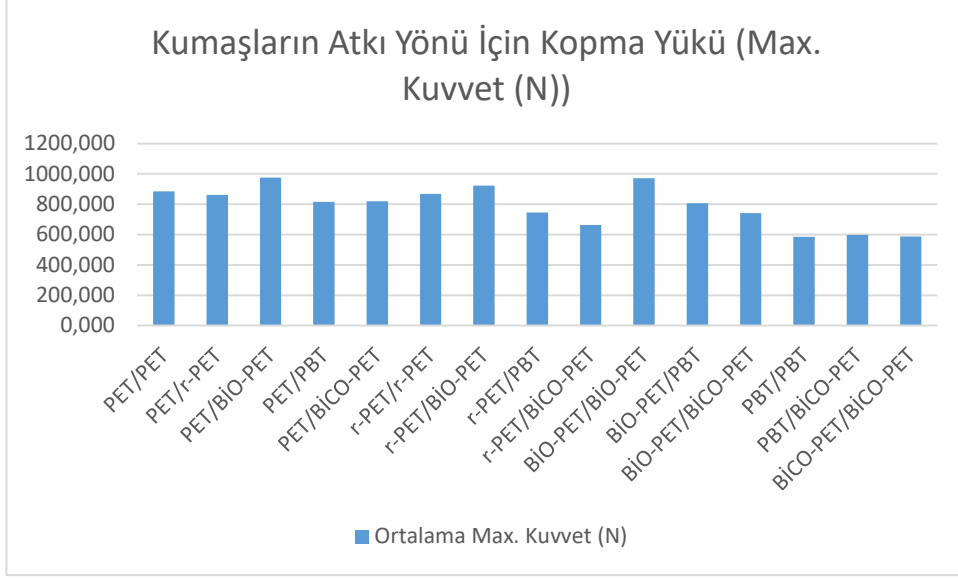
4.2.3. Kumaş çekme deneyi sonuçları

Kumaş içinde bulunan ipliklerin kumaş oluşumu sonrasında yapı içinde gösterdikleri davranışları ve mekanik özellikleri incelemek için çekme deneyi uygulanmıştır. Kumaşların atkı yönü için ortalama kopma yükü değerleri, Çizelge 4.13’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.13. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların atkı yönündeki ortalama kopma yükü deney sonuçları

DOKUMA KUMAŞLARIN ATKI YÖNÜNDEKİ ORTALAMA KOPMA YÜKÜ SONUÇLARI			
Sıra No	Atkı İpliği	Kopma Yüklü (Max. Kuvvet (N))	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	885,239	20,9
2	300 D 96 F- PET/r-PET	885,239	11,5
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	975,382	5,0
4	300 D 96 F- PET/PBT	814,854	1,2
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	818,982	2,0
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	868,664	1,7
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	922,300	1,6
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	745,811	1,3
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	662,834	5,1
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	971,576	5,0
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	805,557	1,1
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	741,400	9,1
13	300 D 96 F- PBT/PBT	585,544	4,9
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	597,314	2,3
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	587,617	8,0

Kumaşların atkı yönü için ortalama kopma yükü değerlerinin grafiği Şekil 4.33'de belirtilmiştir.



Şekil 4.33. Kumaşların atkı yönü için ortalama kopma yükü grafiğı

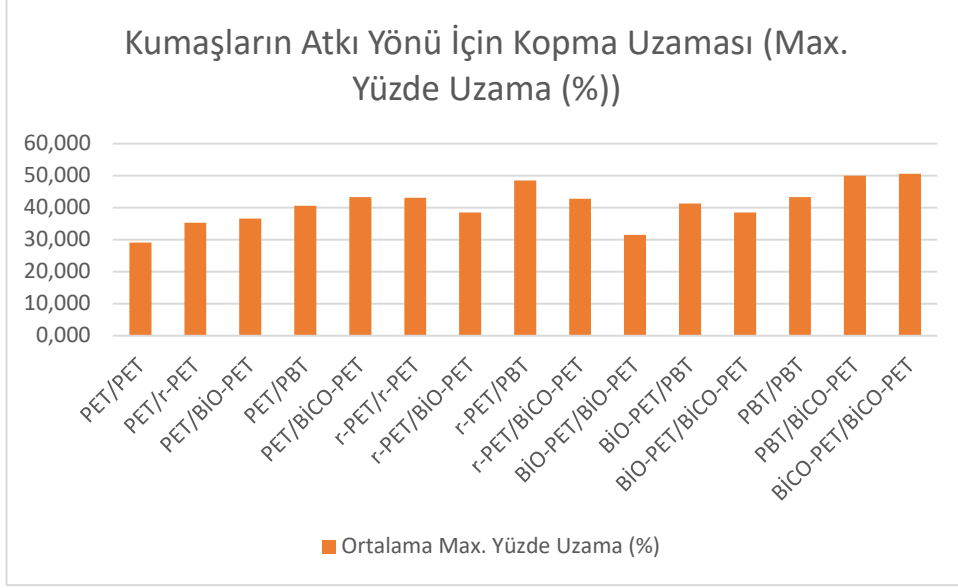
r-PET VE BİO-PET kompozit ipliğın atkı ipliğı olarak kullanıldığı kumaşlar en yüksek mukavemet değerini vermiştir. Bu durum çevresel açıdan dūřınılduđında BİO-PET'in kullanımını için bir avantaj olarak değerlendirilmiştir.

Kumaşların atkı yönü için ortalama kopma uzaması değerleri, izelge 4.14'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.14. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların atkı yönündeki ortalama kopma uzaması deney sonuçları

DOKUMA KUMAŞLARIN ATKI YÖNÜNDEKİ ORTALAMA KOPMA UZAMASI SONUÇLARI			
Sıra No	Atkı İpliği	Kopma Uzaması (Max. Yüzde Uzama (%))	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	29,033	21,4
2	300 D 96 F- PET/r-PET	35,250	17,3
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	36,537	10,5
4	300 D 96 F- PET/PBT	40,573	6,6
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	43,278	5,3
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	43,073	7,1
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	38,480	3,9
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	48,418	1,9
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	42,712	8,1
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	31,463	8,3
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	41,277	2,9
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	38,488	11,8
13	300 D 96 F- PBT/PBT	43,228	11,6
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	49,988	6,4
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	50,562	10,7

Kumaşların atkı yönü için ortalama kopma uzaması değerlerinin grafiği Şekil 4.34'de belirtilmiştir.



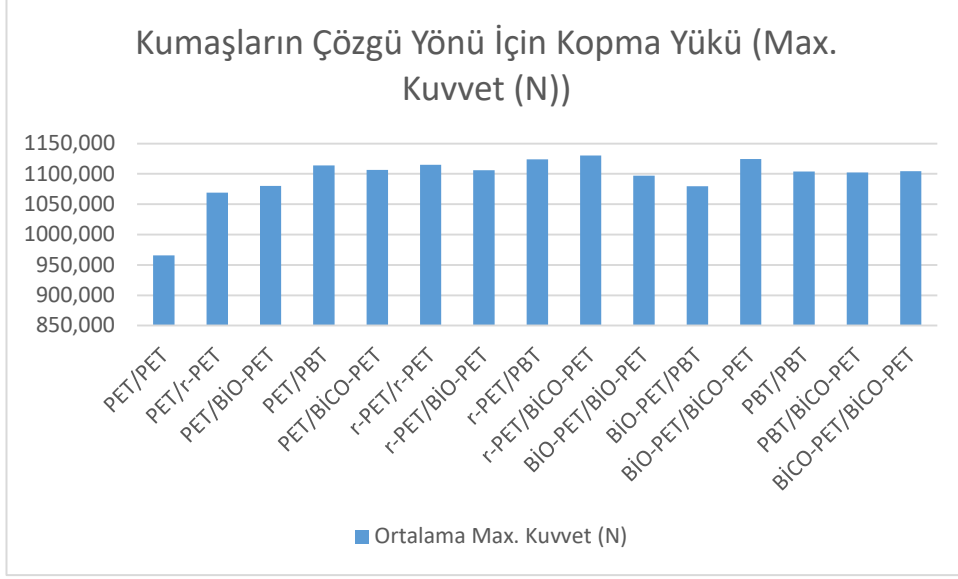
Şekil 4.34. Kumaşların atkı yönü için ortalama kopma uzaması grafiği

Kumaşların çözgü yönü için ortalama kopma yükü değerleri, Çizelge 4.15’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.15. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşların çözgü yönündeki ortalama kopma yükü sonuçları

DOKUMA KUMAŞLARIN ÇÖZGÜ YÖNÜNDEKİ ORTALAMA KOPMA YÜKÜ SONUÇLARI			
Sıra No	Atkı İpliği	Kopma Yüğü (Max. Kuvvet (N))	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	965,805	17,3
2	300 D 96 F- PET/r-PET	1068,860	3,1
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	1080,230	2,6
4	300 D 96 F- PET/PBT	1113,876	2,1
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	1106,316	2,1
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	1114,774	1,8
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	1106,188	2,1
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	1123,860	1,3
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	1130,108	2,0
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	1097,232	2,0
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	1079,488	3,1
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	1124,292	1,2
13	300 D 96 F- PBT/PBT	1103,714	2,3
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	1102,538	1,0
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	1104,474	0,7

Kumaşların çözgü yönü için ortalama kopma yükü değerlerinin grafiğı Şekil 4.35’de belirtilmiştir.



Şekil 4.35. Kumaşların çözü yönu için ortalama kopma yüku grafiği

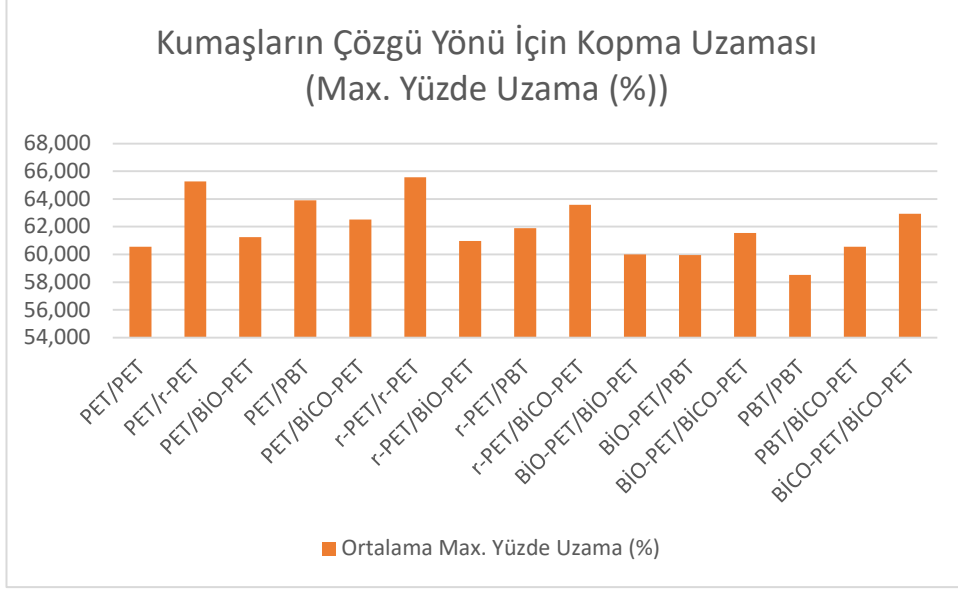
Çözü yönuindeki kopma mukavemeti değerleri çok yakındır. Çözü ipliği tüm kumaşlarda aynı olması nedeniyle bu beklenen bir durumdur.

Kumaşların çözü yönu için ortalama kopma uzaması değerleri, Çizelge 4.16'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.16. Kompozit iplikle üretilen dokuma kumaşın çözgü yönündeki ortalama kopma uzaması sonuçları

DOKUMA KUMAŞIN ÇÖZGÜ YÖNÜNDEKİ ORTALAMA KOPMA UZAMASI SONUÇLARI			
Sıra No	Atkı İpliği	Kopma Uzaması (Max. Yüzde Uzama (%))	%CV
1	300 D 96 F- PET/PET	60,550	15,9
2	300 D 96 F- PET/r-PET	65,273	7,9
3	300 D 184 F- PET/BİO-PET	61,250	4,2
4	300 D 96 F- PET/PBT	63,913	6,1
5	300 D 192 F- PET/BİCO-PET-PTT	62,525	2,7
6	300 D 96 F- r-PET/r-PET	65,563	2,7
7	300 D 184 F- r-PET/BİO-PET	60,975	1,9
8	300 D 96 F- r-PET/PBT	61,900	2,4
9	300 D 192 F- r-PET/BİCO-PET-PTT	63,580	2,8
10	300 D 272 F- BİO-PET/BİO-PET	59,992	3,1
11	300 D 184 F- BİO-PET/PBT	59,948	4,4
12	300 D 280 F- BİO-PET/BİCO-PET-PTT	61,542	2,2
13	300 D 96 F- PBT/PBT	58,523	1,4
14	300 D 192 F- PBT/BİCO-PET-PTT	60,543	2,6
15	300 D 288 F- BİCO-PET-PTT/BİCO-PET-PTT	62,927	3,3

Kumaşların çözgü yönü için ortalama kopma yükü değerlerinin grafiği Şekil 4.36'da belirtilmiştir.



Şekil 4.36. Kumaşların atkı yönü için kopma uzaması grafiği

4.2.4. Kumaş aşındırma dayanımı test sonuçları



Şekil 4.37. 1.,2.,3.,4.,5. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (1.Deneme)

1. DENEME



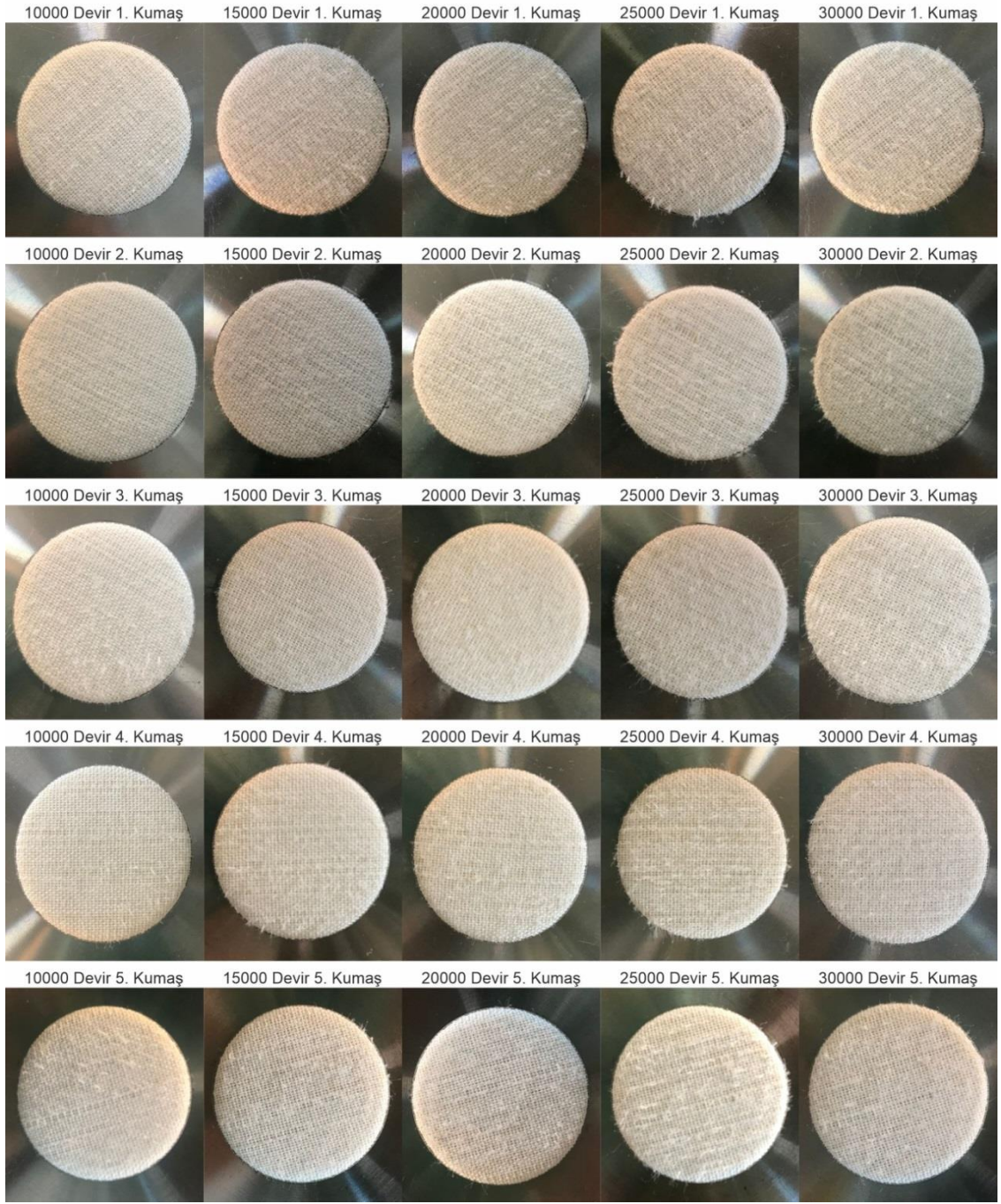
Şekil 4.38. 6.,7.,8.,9.,10. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (1.Deneme)

1. DENEME



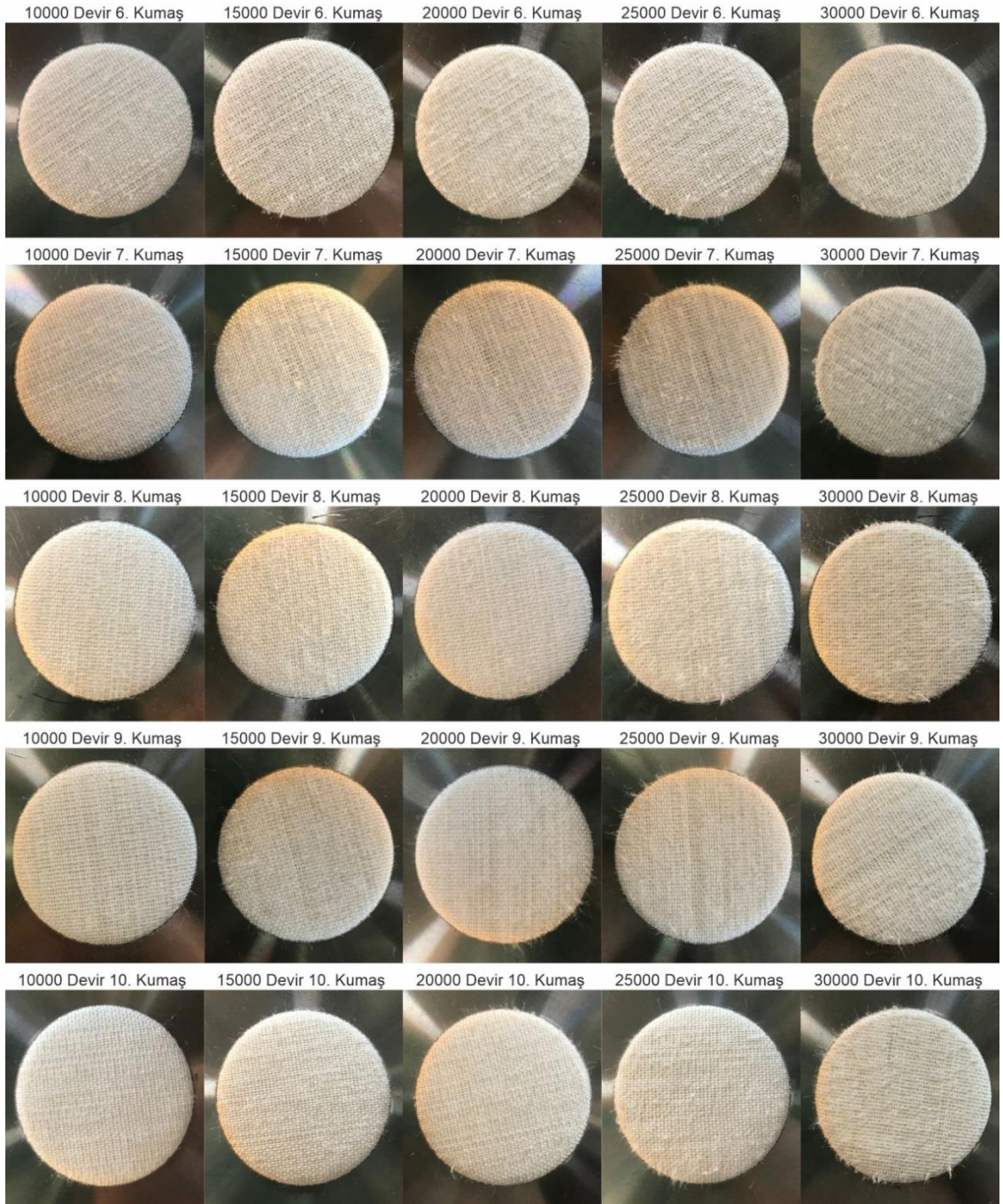
Şekil 4.39. 11.,12.,13.,14.,15. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (1.Deneme)

2. DENEME



Şekil 4.40. 1.,2.,3.,4.,5. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (2.Deneme)

2. DENEME



Şekil 4.41. 6.,7.,8.,9.,10. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (2.Deneme)

2. DENEME



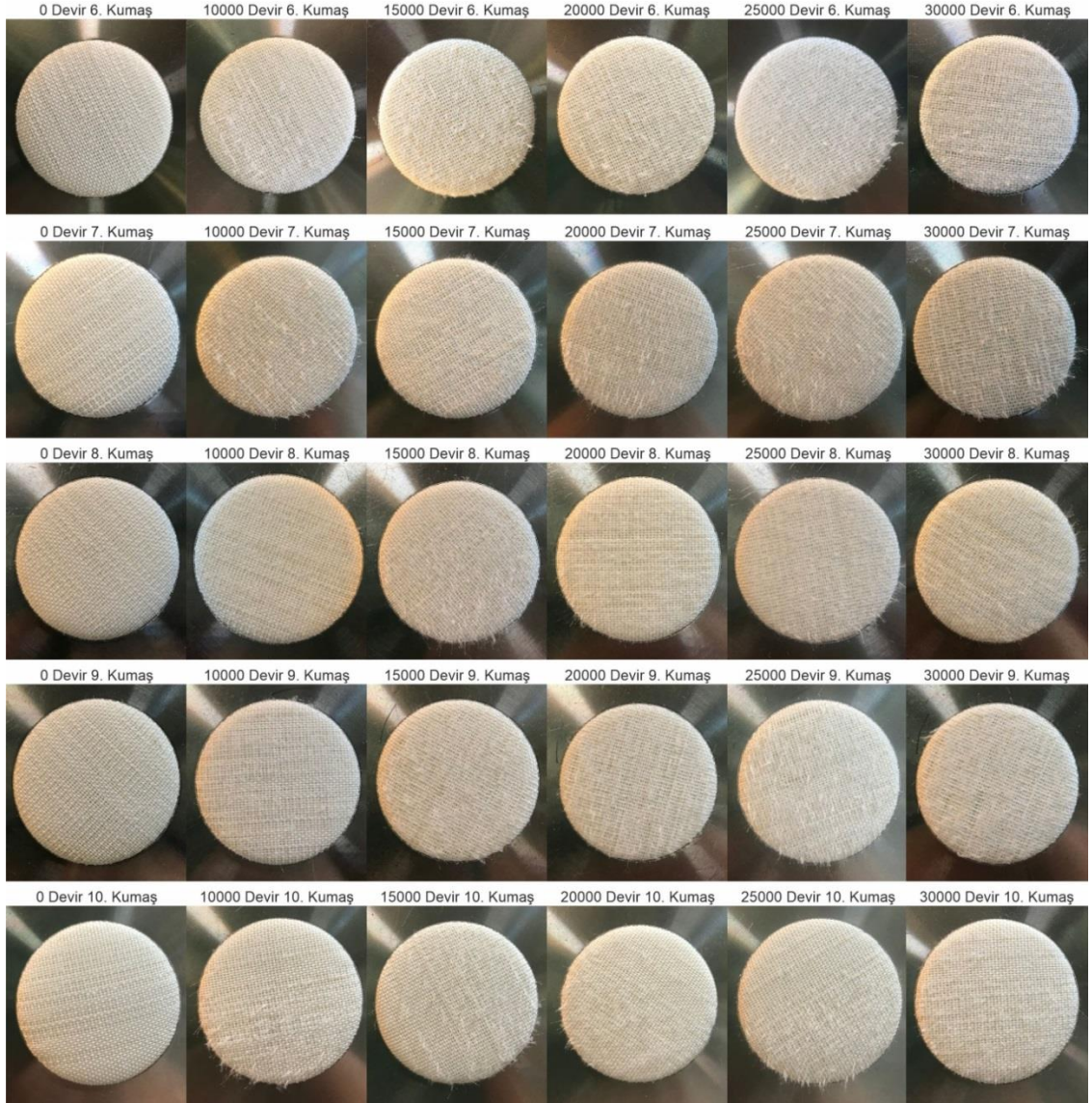
Şekil 4.42. 11.,12.,13.,14.,15. kumaşların 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (2.Deneme)

3. DENEME



Şekil 4.43. 1.,2.,3.,4.,5. Kumaşların test öncesi, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (3.Deneme)

3. DENEME



Şekil 4.44. 6.,7.,8.,9.,10. kumaşların test öncesi, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (3.Deneme)

3. DENEME



Şekil 4.45. 11.,12.,13.,14.,15. kumaşların test öncesi, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000 devir sonrası görselleri (3.Deneme)

5. SONUÇ (TARTIŞMA ve SONUÇ)

Tez çalışması için genel bir değerlendirme yapılacak olursa:

Kompozit iplik elde etmek için seçilen ipliklerin iplik numaraları ve üretim yöntemleri aynı olduğundan kompozit iplik oluşumundan sonra numaralandırmada önemli farklılıklar olmamıştır.

Çekme deneyi sonucu kopma yükü, kopma uzaması ve kopma dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Kopma yükü sonuçları için PET/PET (13,9100 N) kompozit iplik ile RPET-RPET (12,1157 N) ve BİO-RPET/BİO-RPET (14,2636 N) karşılaştırıldığında; günümüzde en çok kullanılan sentetik iplik olan PET'e karşı geri dönüştürülmüş ve sürdürülebilir ipliklerle arasında belirgin bir farklılığın olmadığı hatta BİO-RPET'in daha avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.

Kopma uzaması sonuçları için PBT/PBT (% 47,3699) kompozit iplik ile RPET-RPET (% 44,7516) ve BİO-RPET/BİO-RPET (% 32,3050) karşılaştırıldığında; kimyasal yapısı sebebiyle uzama özelliği iyi olan PBT'ye karşı, kimyasal yapısı sebebiyle dezavantajlı konumda olmalarına rağmen RPET ile aralarında çok az bir farklılığın bulunduğu ve BİO-RPET'in de birçok çalışma alanına yönelik beklenen değerleri karşılayabilir olduğu açıktır.

Kopma dayanımı sonuçları için PET/PET (0,37 N/Tex) kompozit iplik ile RPET-RPET (0,3 N/Tex) ve BİO-RPET/BİO-RPET (0,4 N/Tex) karşılaştırıldığında; kopma yükü sonuçlarıyla aynı değerlendirilmelerin yapılması mümkündür.

Kıvrım (%) sonuçları için BİCO-PET/BİCO-PET (3,40 %) kompozit iplik ile RPET-RPET (2 %) ve BİO-RPET/BİO-RPET (3,02 %) karşılaştırıldığında; RPET'in kıvrım değeri düşük çıkmış ancak, BİO-RPET ile aralarında önemli bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Bu ipliklerden üretilmiş kumaşların kopma yükü ve kopma uzaması sonuçları iplik sonuçlarına paralel değerler göstermiştir. Gramaj ve kalınlık değerleri tüm kumaşlar için

belirgin derecede değişken sonuçlar vermemiştir. Aşındırma test sonuçları standartları karşılamış ve belirli kumaşlarda boncuklanma gözlemlenmesine rağmen iplik kopması ve aşınma gerçekleşmemiştir.

Sonuç olarak; geri dönüşü olmayan doğa tahribatının ve canlı ölümlerinin her geçen gün hayatımızı daha fazla etkilediği ve geleceğimizi daha fazla tehlikeye soktuğu gerçeğiyle yüz yüzeyiz. Bu koşullar altında sürdürülebilir, çevre dostu, geri dönüştürölmüş ya da dönüştürölebilen hammadde ve ürünlerin geliştirilmesi ve üretilmesi için de, bu ürünlerin kullanımının yaygınlaştırılmasında da gerekli çalışmaların yapılması adına bu ipliklerin kullanılabilir olduğu tez çalışması kapsamında ispatlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abe, T., Azuma, Y., & Matsuo, T. 2002. Poly(trimethylene terephthalate) fiber. U.S. Patent 6, 495, 254.
- Anonim, 2021. Accelerating the biodegradation process with sustainable yarns. https://antex.net/wpcontent/uploads/2020/03/Antex_Yarnaway_Brochure_Ed092020_digital.pdf (Erişim Tarihi: 09.06.2021).
- Aslani, H., Pashmtab, P., Shaghaghi, A., Mohammadpoorasl, A., Taghipour, H., & Zarei, M. 2021. Tendencies towards bottled drinking water consumption: challenges ahead of polyethylene terephthalate (PET) waste management, *Health Promotion Perspectives*, vol. 11, no. 1, pp. 60–68.
- Awaja, F., & Pavel, D. 2005. *Eur Polym J*, 41, 1453-1477.
- Barber, N. A., 2017. *Polyethylene Terephthalate : Uses, Properties, and Degradation*. Nova Science Publishers, Inc. Editör: Naomi, A. ISBN: 978-1-53612-014-1 (eBook), New York, 4-6.
- Bartolome, L., Imran, M., Gyoo Cho, B., Al-Masry, W. A., & Do Hyun Kim. 2012. “Recent developments in chemical recycling of PET,” *Material Recycling - Trends and Perspectives*, Books on Demand, Norderstedt, Germany.
- Biermann, L., Brepohl, E., Eichert, C., Paschetag, M., Watts, M., & Scholl, S. 2021. Development of a continuous PET depolymerization process as a basis for a back-to-monomer recycling method, *Green Processing and Synthesis*, vol. 10, no. 1, pp. 361–373.
- Brown, H.S., Casey, P.K., & Donahue, J. M. 2011. Poly(Trimethylene Terephthalate) polymer for fibers., <http://www.technica.net/NF/NF1/eptt.htm> (Erişim Tarihi: 10.12.2021).
- Carothers, W. H. 1929. *J Am Chem Soc*, 51, 2548-2559.
- Carothers, W. H., & Hill, J. W. 1932. *J Am Chem Soc* 1932,54, 1559-1566.
- Carothers, W. H. 1931. *Chem Rev*,8, 353-426.
- Carothers, W. H. 1936. *T Faraday Soc*,32, 39-49.
- Carothers, W. H. 1937. *Synthetic fiber*, patent 2, 130, 948.
- Chan, K., & Zinchenko, A. 2021. Conversion of waste bottles’ PET to a hydrogel adsorbent via PET aminolysis, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no. 5, Article ID 106129.
- Chang, E., Kirsten, R., & Slagowski, E. 1978. *ACS Polymer Preprints*, 19, 578.

- Cheng, Z., Pan, R., & Wunderlich, B. 1988. Makromol. Chem., 189, 2443-2458. 5.
- Chu, J., Cai, Y., Li, C., Wang, X., Liu, Q., & He, M. 2021. Dynamic flows of polyethylene terephthalate (PET) plastic in China, Waste Management, vol. 124, pp. 273–282.
- Colnik, M., Knez, Z., & Skerget, M. 2021. Sub-and supercritical water for chemical recycling of polyethylene terephthalate waste, Chemical Engineering Science, vol. 233, Article ID 116389.
- Cornago S., Rovelli, D., & Brondi, C. 2021. Stochastic consequential Life Cycle Assessment of technology substitution in the case of a novel PET chemical recycling technology, Journal of Cleaner Production, vol. 311, Article ID 127406.
- Chuah, H.H. 2001. Orientation and structure development in poly(trimethylene terephthalate) tensile drawing. Macromolecules, 34:6985-6993.
- Dayıoğlu, H., & Karakaş H. 2007. Elyaf Bilgisi. No. 1, ISBN: 978 975 01610 1 8, Ajans Plaza, İstanbul, 81-138 s.
- Denton, M. J. 1982. The crimp curvature of bicomponent fibers. Journal of Textile Institute, 73(6):253-263.
- Demirel, B., Yaraş, A., & Elçiçek, H. 2011. PET Malzemelerin Kristalizasyon Davranışı *BAÜ Fen Bil Enstitüsü Dergisi Cilt*, 13, 26-35.
- Deopura, B.L., Alagirusamy, R., Joshi, M., & Gupta, B. 2008. Polyesters: Polyesters and Polyamides, Editörler: Krishnan, P.S.G. and Kulkarni, S.T., CRC Press, England, 314-318.
- Devroede, J. 2007. Study of the THF formation during the TPA-based synthesis of PBT. Ph.D. Thesis, Research Programme of the Dutch Polymer Institute, Eindhoven University, Eindhoven.
- Duràn, N., Marcato, P. D., De Souza, G., Alves, O. L., & Esposito, E. 2007. Antibacterial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on textile fabrics and their effluent treatment, Journal of Biomedical Nanotechnology, vol. 3, pp. 203–208, 2007.
- East, J. 2009. The Structure of Polyester Fibers. In: Eichhorn, S.J., Hearle, J.W.S., Jaffe, M., Kikutani, T., editors. Handbook of Textile Fibre Structure, UK: Woodhead Publishing, pp. 181-231.
- Erdem, M.B., & Doğan, N.Ö. 2020. Tekstil Sektöründe Sürdürülebilirliğin Analizi: Kahramanmaraş'a Faaliyet Gösteren Bir Tekstil İşletmesinde Dematel Uygulaması. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(36): 571-598.

Fakirov, S. 2002. Handbook of Thermoplastic Polymers: Homopolymers, Copolymers, Blends, and Composites; WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, pp. 1-1377.

Fakirov, S. 2005. Handbook of Condensation Thermoplastic Elastomers; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Farrow, G., McIntosh, J., & Ward, I. 1960. Makromol. Chem., 38, 147.

Faurne, F. 1999. Synthetic Textiles, Hanser/Gardner Publications, Germany, pp: 111-116.

Felsing, S. 2018 “Microplastics in freshwater systems: origin, fate and impact: a methodological research work”, Doctoral dissertation, Rostock Universität, Rostock, pp. 1-53.

Frisk, S., Ikeda, R. M., Chase, D. B., Kennedy, A., & Rabolt, J. F. 2004. Macromolecules, 37, 6027.

Hepbaşlı, A. 2010. Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi, Yaklaşımlar ve Uygulamalar, Esen Ofset Matbaacılık, İstanbul, Türkiye.

He, S., Wei, M., Liu, M., & Xue, W. 2004. Characterization of virgin and recycled poly (ethylene terephthalate) (PET) fibers, Textile Institute, vol. 106, no. 8, pp. 800–806

Hsieh, Y. 2001. Surface Characteristics of Polyester Fibers: Surface Characteristics of Fibers and Textiles, Editörler: Pastore, M. and Kiekens, P., In: C., Markel Dekker Inc.

Huvis Group Corporation 2007. Produce technical literature of ESS PTT/PET bi-component fibers., Korea.

John-Scheirs, T. E. L. 2003. Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters; John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, pp. 1-750.

Kakoria, A., Chandel, S. S., & Sinha-Ray, S. 2021. Novel supersonically solution blown of nanofibers from waste PET bottle for PM0.1-2 filtration: from waste to pollution mitigation, Polymer, vol. 234, Article ID 124260

Krisch, M., & Williams, D 1994. Chemtech, April, 40-47.

Krishnan, P.S.G., & Kulkarni, S.T. 2008. Polyester Resins. In: Deopura, B.L., Alagirusamy, M.J., Gupta, B., editors. Polyesters and Polyamides, England: Woodhead Publishing, pp. 3-40.

Kurian, J.V.A. 2005. New polymer platform for the future-Sorona® from corn derived 1,3-propanediol. J Polym Environ., 13: 159-167.

Kurtuluş, E. 2010. Bazı termoplastik kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.

Luo, J., Wang, F., Xu, G., & Hin-Chuah, H. 2011. Effects of Fiber Crimp Configurations on the Face Texture of Knitted Fabrics Made with PTT/PET Bicomponent Fibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* Volume 6, Issue 1.

Luo, J., Wang, F., & Xu B. 2011. Elasticity of woven fabrics made of PTT/PET bicomponent filaments. *Textile Research Journal*. Vol.81 (8): 865-870, 2011.

Luo, J., Wang, F., & Xu B. 2011. Factors affecting crimp configuration of PTT/PET bicomponent filaments. *Textile Research Journal*, Vol. 81(5): 538-544, 2011.

Lyoo, W. S., Lee, H. S., Ji, B. C., Han, S. S., Koo, K., Kim, S. S., Kim, J. H., Lee, J.-S., Son, T. W., & Yoon, W. S. J. 2001. *Appl. Polym. Sci.*, 81, 3471.

Mangut, M., & Karahan, N., 2008. *Tekstil Lifleri*. Ekin Yayınevi, Bursa, 256-261 s.

Meiwu, S. 2009. Crystal orientation structure and crimping properties of PET/PTT twocomponent elastic filament, *Polymer Bulletin*, 1: 37-44.

Miller, S. 1998. Macrocyclic polymers from cyclic oligomers of poly(butylene terephthalate). *Doctoral Dissertation*, University of Massachusetts Amherst, United States of America.

Pang, K., & Kotek, R., 2006. Tonelli, A. *Prog Polym Sci*, 31, 1009-1037.

Paszkiwicz, S., Szymczyk, A., Irska, I., Pawlikowska, D., & Piesowicz, E. 2018. Synthesis Structure, and physical properties of poly(trimethylene terephthalate)-block-poly(caprolactone) copolymers. *Journal of applied polymer science*.

Paszun, D., & Szychaj, T. 1997. Chemical recycling of poly (ethylene terephthalate), *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 36, no. 4, pp. 1373–1383, 1997.

Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials, *Biotechnology Advances*, vol. 27, no. 1, pp. 76–83.

Reese, G. 2003. Polyester Fibers: Fiber Formation and End-Use Applications. In: J. Scheirs, T. E. Long (Editors), *Modern Polyesters Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters*, John Wiley and Sons Ltd., England, p. 401-433.

Rieckmann, T.H., & Volker, S. 2003. Poly(ethylene Terephthalate) Polymerization, Mechanism, Transfer and Reactor Design. In: John Scheirs and Timotyh E. Long, editors. *Modern Polyesters- Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters*, England: John Wiley & Sons; pp. 31-17.

- Rijavec, T., & Ostojic, D. 2005. Latent Elasticity of New Polyester PBT Filament Yarns, 4th Central European Conference, Liberec, Czech Republic, September, pp. 7-9.
- Sandin, G., & Peters, G. M. 2018. Environmental impact of textile reuse and recycling - A review. *Journal of Cleaner Production*, 184: 353-365.
- Schlack, P. 1955. Verfahren zur Herstellung von hochschmelzenden polykondensationprodukten, patent German Patent 922 255. German.
- Semyonov, O., Chaemchuen, S., Ivanov A., & et al. 2021. Smart recycling of PET to sorbents for insecticides through in situ MOF growth,” *Applied Materials Today*, vol. 22, Article ID 100910.
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. 2010. Open-loop recycling: a LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, no. 1, pp. 34–52.
- Sinha, V., Patel, M. R., & Patel, J. V. 2010. *J Polym Environ*,18, 8-25.
- Smith, J., Kibler, C., & Sublett, B. 1966. *Journal of Polymer Science: Part A-1* 4 1851-1859.
- Sulyman, M., Haponiuk, J., & Formela, K. 2016. *Int J Environ Sci Develop*,7, 100-108.
- Szymczyk A., 2009. *Eur. Polym. J.*, 45, 2653.
- Szymczyk, A., Senderek, E., Nastalczyk, J., & Roslaniec, Z. 2008. *Eur. Polym. J.* 44, 436.
- Telli, A., & Özdil, N. 2015. Effect of recycled PET fibers on the performance properties of knitted fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(2), 47-60.
- Teli, M. D., & Kale, R. D. 2011. Polyester nanocomposite fibers with antibacterial properties, *Advances in Applied Science Research*, vol. 2, no. 4, pp. 491–502.
- Thachnatharen, N., Shahabuddin, S., & Sridewi, N. 2021. The waste management of Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste: a review, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1127, no. 1, Paper presented at the, Article ID 012002.
- Thomas, S., & Visakh, P.M. 2011. *V. Handbook of Engineering and Specialty Thermoplastics: Polyethers and Polyesters*; John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scrivener Publishing LLC, Salem, Massachusetts, Vol. 3, pp. 1-538.
- TÜİK 2011, Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisleri İstatistikleri, <https://data.tuik.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 05.05.2018).

Ubaidullah, M., Al-Enizi, A. M., & Ahamad, T. 2021. Fabrication of highly porous N-doped mesoporous carbon using waste polyethylene terephthalate bottle-based MOF-5 for high performance supercapacitor,” *Journal of Energy Storage*, vol. 33, Article ID 102125.

United Nations, 1987. Report of the World Commission on Environment and Development Our Common Future, <http://www.ask-force.org/web/Sustainability/Brundtland-Our-Common-Future-1987-2008.pdf>; (Erişim tarihi: 23.06.2021).

Vadicherla, T., & Saravanan, D. 2014. Textiles and Apparel Development Using Recycled and Reclaimed Fibers, in *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing Ecofriendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods*, Editör: Muthu S.S., Springer Science-Business Media, Singapore.

Venkatachalam, S., Nayak, S. G., Labde, J. V., Gharal, P. R., Rao, K., & Kelkar, A. K. 2012. In *Degradation and Recyclability of Poly (Ethylene Terephthalate)*;Ed.; Polyester; InTech, Vol. 4, pp. 75-98.

Wang, S., Hou, W., Wei L., & et al. 2009. Structure and properties of composite antibacterial PET fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 112, pp. 1927–1932.

Ward, I. M., Wilding, A. M., & Brody, H. J. 2003. *Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.*, 14, 263.

Webb, H. K., Arnott, J., Crawford, R. J., & Ivanova, E. P. 2013. *Polymers*, 5, 1-18.

Whinfield, J. R. 1946. *Nature (London)*,158, 930-931.

Whinfield, J. R., & Dickson, J. T. 1941. Improvements Relating to the Manufacture of Highly Polymeric Substances, 578,079.

Whinfield, J. R., & Dickson, J. T. 1949. Polymeric linear terephthalic esters patent US patent 2,465,319.

Wilson-Garcia, N. A., Almaral S´anchez, J. L., & Vargas-Ortiz, R. A. 2021. Physical and mechanical properties of unsaturated polyester resin matrix from recycled PET (based PG).

Yıldırım, F.F., Yavaş, A., & Avinç, O.O. 2012. Polibütülen Tereftalat Liflerine Genel Bakış. *Tekstil ve Mühendis*, 19(87): 29-42.

Yolaçan G, 2006. PBT ve Karışımlarının Boyanması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zafer Kalkınma Ajansı, 2019. Uşak İli Tekstil Geri Dönüşüm Sektör Raporu 7-8, Uşak.

Zargar, M. R. H., & Shoushtari, A. M. 2019. J. Macromol. Sci., Part B, 58, 141 with corn straw fiber, Journal of Applied Polymer Science, vol. 138, no. 44, Article ID 51305.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gamze SAKALLI
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 29/10/1991
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Gelibolu Lisesi (ÇANAKKALE) (2005-2009)
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği (2011-2018)
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2018-2021)
Çalıştığı Kurum/Kurumlar : RB Karesi Tekstil A.Ş.
Ustaoglu Tekstil San ve Tic. Ltd. Şti.
İletişim (e-posta) : gamze.sakalli.91@gmail.com