

**KONVANSİYONEL VE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ
KUMAŞLARDA TERBİYE ETKİNLİĞİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Serdar Erdem GÜL



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONVANSİYONEL VE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ KUMAŞLARDA TERBİYE
ETKİNLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Serdar Erdem GÜL
0000-0002-2465-4098

Prof. Dr. Y. Dilek KUT
(Danışman)
0000-0002-9059-0838

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

KONVANSİYONEL VE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ KUMAŞLARDA TERBİYE ETKİNLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Serdar Erdem GÜL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Y. Dilek KUT

Bu tez çalışmasında; konvansiyonel ve geri dönüştürülmüş kumaşlara uygulanmış olan terbiye işlemlerinin kumaş performansına etkisinin incelenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla; geri dönüşüme uygun bir polimer olan polietilen tereftalat ile üretilen poliester kumaşlar seçilmiştir. Kullanım alanı farklı %100 konvansiyonel ve %100 geri dönüştürülmüş olarak üretilen kumaşlara kullanım alanlarına uygun olacak şekilde terbiye işlemleri uygulanmıştır. Uygulanmış olan terbiye işlemleri sonunda kumaşlara yırtılma mukavemeti testi, kopma mukavemeti testi, Martindale abrazyon testi, Martindale pilling testi, yıkama çekmesi ve haslık testleri (ışık haslığı, yıkama haslığı, su haslığı, asit-alkali ter haslığı, yaş-kuru sürtme haslığı) yapılmıştır. Ayrıca kumaşlara iç yapı ve mikroskobik analizler uygulanmıştır. Böylece üretimi yapılmış olan kumaşlar belirli test standartları ve analiz yöntemleri dahilinde karşılaştırılmıştır.

Çalışma ile, her iki üretim yöntemine ait kumaşların birbiri yerine kullanılıp kullanılmayacağı yapılan test sonuçlarına göre yorumlanmıştır. Ticari olarak kumaşların birbiri yerine belirli koşullar dahilinde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: boyama, geri dönüşüm, PET, r-PET, terbiye işlemleri

2021, x + 73 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

COMPARISON OF FINISHING EFFICIENCY IN CONVENTIONAL AND RECYCLED FABRIC

Serdar Erdem GÜL

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

Supervisor: Prof. Dr. Y. Dilek KUT

In this thesis study; it's aimed to examine the effect of finishing processes applied to conventional and recycled fabrics on fabric performance. For this purpose; Polyester fabrics produced with polyethylene terephthalate, a polymer suitable for recycling, were selected. Finishing processes were applied to the fabrics produced as 100% conventional and 100% recycled in different usage areas in accordance with their usage areas. At the end of finishing processes, tear strength test, tensile strength test, Martindale abrasion test, Martindale pilling test, washing shrinkage and fastness tests (light fastness, washing fastness, water fastness, acid-alkali sweat fastness, wet-dry rubbing fastness) were carried out. In addition, internal structure and microscopic analyzes were applied to the fabrics. Thus, the fabrics produced were compared within certain test standards and analysis methods.

With the study, it was interpreted according to the test results whether the fabrics of both production methods could be used interchangeably. It has been determined that commercially, fabrics can be used interchangeably under certain conditions.

Key words: dyeing, recycling, PET, r-PET, finishing processes

2021, x + 73 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana sabırla yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Y. Dilek KUT'a,

Yüksek lisans eğitimi ve çalışma hayatım boyunca beni destekleyen değerli yöneticim Tekstil Mühendisi Aysun YENİCE ve testlerin tamamlanmasında büyük katkısı olan Tekstil Mühendisi Ahmet Tamer ESENER'e,

Çalışmamın analiz aşamasındaki katkılarından dolayı Kimya Mühendisi Cem YILDIRIM'a

Kumaşların üretimi ve yapılan uygulama işlemlerinde yardımlarını esirgemeyen, bir parçası olmaktan gurur duyduğum Küçükçalık Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'deki yöneticilerim ve çalışma arkadaşlarıma,

Hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir desteğini benden esirgemeyen, her türlü koşulda yanımda olan en değerli varlığım kıymetli aileme ve sevgili eşime teşekkürlerimi sunarım.

Serdar Erdem GÜL
15/12/2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	2
2.1. Plastik.....	2
2.1.2. Plastik kullanım alanları	2
2.2. Plastik Geri Dönüşümü	2
2.3. Polietilen Tereftalatın Kimyasal Yapısı.....	3
2.3.1. PET kullanım alanları	4
2.3.2. PET şişe kullanım alanları	4
2.4. Poliester Lifinin Özellikleri	5
2.5. Poliester Lifinin Boyanması	5
2.6. Poliester Lifinin Alkalizasyonu	7
2.7. Poliester Lifinin Haşıllanması	8
2.8. PET Geri Dönüşümü.....	8
2.9. PET Geri Dönüşümün Sınıflandırılması.....	9
2.10.1. Mekanik geri dönüşüm	10
2.10.2. Kimyasal geri dönüşüm	13
2.10.3. Enerji geri kazanımı olarak geri dönüşüm	14
2.11. PET Geri Dönüşümü Değerlendirme İlkeleri	15
2.12. r-PET Özellikleri.....	15
2.13. r-PET'in Avantaj ve Dezavantajları	16
2.14. Çevresel Boyut.....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1. Materyal.....	20
3.1.1. Çalışmada kullanılan PET ve r-PET kumaşlara ait özellikler	20
3.1.2. Çalışmada kullanılan boyar madde ve kimyasal maddeler.....	21
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Çalışmada kullanılan makineler.....	23
3.2.2. Kumaşlara uygulanan terbiye işlemleri	23
3.3. Çalışmada Kullanılan Test Metotları	28
3.3.1. Gramaj tayini metodu	28
3.3.2. Kopma mukavemeti test metodu	29
3.3.3. Yırtılma mukavemeti test metodu.....	29
3.3.4. Aşınma testi metodu	30
3.3.5. Pilling tayini metodu.....	31
3.3.6. Işık haslığı test metodu	31
3.3.7. Yıkama haslığı test metodu.....	31
3.3.8. Sürtme haslığı test metodu.....	32
3.3.9. Su haslığı test metodu	32
3.3.10. Yıkama çekmesi test metodu	32
3.3.11. PVC haslığı test metodu	33

3.3.12. Asit ve alkali ter haslığı test metodu.....	33
3.4. Termal Karakterizasyon Analizleri, Renk Ölçümleri ve Mikroskop Görüntüleri ...	33
3.4.1. FT-IR analizi.....	34
3.4.2. DSC analizi.....	34
3.4.3. Renk ölçümleri.....	34
3.4.4. Mikroskop görüntüleri	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	35
4.1. Tip 1, Tip 2, Tip 3 ve Tip 4 Kumaşlarına Uygulanmış Olan Testler ve Analizler ..	35
4.2. Kumaşlara Uygulanmış Olan Test ve Analiz Sonuçları	35
4.2.1. Gramaj tayini sonuçları.....	35
4.2.2. Yırtılma mukavemeti test sonuçları.....	39
4.2.3. Kopma mukavemeti test sonuçları.....	43
4.2.4. Mamul kumaşlar üzerine uygulanmış olan testlerin sonuçları	47
4.2.5. FT-IR analizi sonuçları	48
4.2.6. DSC analizi sonuçları	50
4.2.7. Renk ölçüm sonuçları	56
4.2.8. Mikroskop görüntüleri	61
5. SONUÇ.....	66
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

cm	Santimetre
cm ²	Santimetrekare
dm ³	Desimetreküp
g	Gram
J	Jul
kg	Kilogram
kPa	Kilopaskal
l	Litre
m ²	Metrekare
ml	Mililitre
mm	Milimetre
N	Newton
°C	Santigrat derece
%	Yüzde

Açıklama

Kısaltmalar

Cp	Isı kapasitesi
DOP	Dioktil ftalat
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
HDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
KBS	Kritik boyama sıcaklığı
LDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil klorür
r-PET	Geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

Açıklama

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. PET'in molekül yapısı	4
Şekil 2.2. Poliester liflerinin boyanma mekanizması	6
Şekil 2.3. Boyama diyagramı adımları	7
Şekil 2.4. r-PET iplik eldesi iş-akış diyagramı	8
Şekil 2.5. Geri dönüşüm çeşitleri	10
Şekil 2.6. PET şişe atıklarının r-PET lifine dönüşüm süreçleri	11
Şekil 2.7. r-PET'e ait görseller A) Pul, B) Pelet, C) Filament.....	12
Şekil 2.8. r-PET'in kimyasal geri dönüşümüne ait iş-akış diyagramı	13
Şekil 3.1. Dispers boyar maddesi ile boyama diyagramı.....	24
Şekil 3.2. İndirgen yıkama diyagramı.....	25
Şekil 3.3. İndirgen yıkama sonrası durulama diyagramı	25
Şekil 3.4. İndirgen yıkama sonrası nötralizasyon diyagramı.....	26
Şekil 3.5. Alkalizasyon diyagramı	26
Şekil 3.6. Alkalizasyon sonrası durulama diyagramı	27
Şekil 3.7. Alkalizasyon sonrası nötralizasyon diyagramı	27
Şekil 3.8. Gramaj tayini metodunda kullanılan cihazlar A) Gramaj kesim aparatı B) Hassas terazi	29
Şekil 3.9. Kopma mukavemeti ve yırtılma mukavemeti test metodlarında kullanılan cihazlar A) Kopma mukavemeti test cihazı B) Yırtılma mukavemeti test cihazı	30
Şekil 3.10. Aşınma test cihazı.....	31
Şekil 4.1. Tip 1 kumaşın FT-IR analizi sonucu	48
Şekil 4.2. Tip 2 kumaşın FT-IR analizi sonucu	49
Şekil 4.3. Tip 3 kumaşın FT-IR analizi sonucu	49
Şekil 4.4. Tip 4 kumaşın FT-IR analizi sonucu	50
Şekil 4.5. Tip 1 kumaşın DSC analizi grafiği	51
Şekil 4.6. Tip 1 kumaşın DSC analizi pik değerleri	51
Şekil 4.7. Tip 2 kumaşın DSC analizi grafiği	52
Şekil 4.8. Tip 2 kumaşın DSC analizi pik değerleri	52
Şekil 4.9. Tip 3 kumaşın DSC analizi grafiği	53
Şekil 4.10. Tip 3 kumaşın DSC analizi pik değerleri	53
Şekil 4.11. Tip 4 kumaşın DSC analizi grafiği	54
Şekil 4.12. Tip 4 kumaşın DSC analizi pik değerleri	54
Şekil 4.13. Ham kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 1 kumaş B) Tip 2 kumaş	61
Şekil 4.14. Haşıl sökme işlemi yapılmış kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 1 kumaş B) Tip 2 kumaş	61
Şekil 4.15. Boyalı kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 1 kumaş B) Tip 2 kumaş.....	62
Şekil 4.16. Ham kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş	62
Şekil 4.17. Alkalizasyon işlemi uygulanmış kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş	63
Şekil 4.18. Ham kumaşlara ait SEM görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş.....	63
Şekil 4.19. Ham kumaşlara ait flamanların SEM görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş.....	63
Şekil 4.20. Alkalizasyon işlemi uygulanmış kumaşlara ait SEM görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş	64
Şekil 4.21. Boyalı kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş.....	64

Şekil 4.22. Apreli kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş 64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. İşlenmemiş materyal yerine geri dönüşüm materyali kullanımı sonucu sağlanan enerji tasarruf oranları	14
Çizelge 2.2. İşlenmemiş PET ve r-PET özellikleri	16
Çizelge 2.3. r-PET kullanımının avantaj ve dezavantajları	17
Çizelge 2.4. Geri dönüştürülmüş liflerin farklı parametrelere göre değerlendirilmesi...	19
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan kumaşlara ait bilgiler	21
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan boyar madde ve kimyasallara ait özellikler	22
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan kumaşlara uygulanan terbiye işlemleri	23
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan terbiye makineleri ve kullanım amaçları	23
Çizelge 3.5. Haşıl sökme işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları	24
Çizelge 3.6. Dispers boyama işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları	25
Çizelge 3.7. İndirgen yıkama ve nötralizasyon işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları	25
Çizelge 3.8. Alkalizasyon ve nötralizasyon işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları	27
Çizelge 3.9. Apre işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve kurutma sıcaklığı	28
Çizelge 3.10. Apre işlemi şartları	28
Çizelge 4.1. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarda gramaj tayini sonuçları	36
Çizelge 4.2. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar arası gramaj tayini sonuçlarının yüzdelik değişimi	36
Çizelge 4.3. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarda gramaj tayini sonuçları	37
Çizelge 4.4. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar arası gramaj tayini sonuçlarının yüzdelik değişimi	38
Çizelge 4.5. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarda yırtılma mukavemeti test sonuçları	39
Çizelge 4.6. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar arası yırtılma mukavemeti sonuçlarının yüzdelik değişimi	40
Çizelge 4.7. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarda yırtılma mukavemeti test sonuçları	41
Çizelge 4.8. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar arası yırtılma mukavemeti sonuçlarının yüzdelik değişimi	41
Çizelge 4.9. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarda kopma mukavemeti test sonuçları	43
Çizelge 4.10. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar arası kopma mukavemeti sonuçlarının yüzdelik değişimi	44
Çizelge 4.11. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarda kopma mukavemeti test sonuçları	45
Çizelge 4.12. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar arası kopma mukavemeti sonuçlarının yüzdelik değişimi	45
Çizelge 4.13. Tip 1 ve Tip 2 mamul kumaşlar üzerine uygulanmış olan testlerin sonuçları	47
Çizelge 4.14. Tip 3 ve Tip 4 mamul kumaşlar üzerine uygulanmış olan testlerin sonuçları	47
Çizelge 4.15. Tip 1 kumaşın DSC analiz sonuçları	55
Çizelge 4.16. Tip 2 kumaşın DSC analiz sonuçları	55
Çizelge 4.17. Tip 3 kumaşın DSC analiz sonuçları	55
Çizelge 4.18. Tip 4 kumaşın DSC analiz sonuçları	56

Çizelge 4.19. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarının renk ölçümlerine ait sonuçlar.....	57
Çizelge 4.20. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarının renk ölçümlerine ait sonuçlar.....	59
Çizelge 4.21. Tip 3 ve Tip 4 ham kumaşların boyanmasına ait renk ölçüm sonuçları...	60

1. GİRİŞ

Çağımızın en önemli sorunlarının başında çevre kirliliği gelmekte ve yaşanabilir bir dünya için çevre temizliği büyük önem taşımaktadır. Bu kirliliği azaltmak amacıyla yapılması gereken en doğru hamle geri dönüştürülebilir ürünlerin kullanılması olacaktır. Geri dönüşüm ile hem atık oranı azalmakta hem de çevreye verilen zarar minimum seviyeye inmektedir. Ayrıca bu sayede birçok atık, üretim hatlarına hammadde olarak giriş yapmakta ve nihai kullanıcıya (tüketiciye) ulaşmaktadır.

1900'lü yılların sonlarından itibaren başlayan çevre koruma hareketi ile ortaya çıkan geri dönüşüm kavramı aslında binlerce yıllık bir geçmişe dayanmaktadır. 2000'li yılların başından itibaren dünya devi olan birçok tekstil firması çevreye daha duyarlı hale gelmiştir. Bu bağlamda pek çok firma tüketici talepleri ve kalite parametrelerini dikkate alarak üretim hatlarında geri dönüştürülmüş hammaddeleri tercih etmektedir (Türemen, Demir ve Özdoğan, 2019).

Günümüzde poliester lifleri, doğal liflere alternatif olarak kullanılabilir. Artan tüketim talebi doğrultusunda poliester lifi üretimi yıllar içerisinde giderek artmış ve sentetik lif üretiminde üst sıralara çıkmıştır. Poliester lifleri ev tekstili, hazır giyim gibi birçok farklı alanda kullanılabilir.

Plastik su şişelerinin geri kazanımı ile plastik malzeme tekrar işlenerek poliester lifine dönüştürülebilmektedir.

Geri dönüştürülmüş poliester lifleri ise kadın ve erkek alt-üst giyim, perdelik ve döşemelik tarzı kumaşların üretiminde aktif olarak kullanılmaktadır.

Yapmış olduğumuz çalışmada kullanım alanları farklı olan %100 poliester ve %100 geri dönüştürülmüş poliester kumaşların uygulanan terbiye işlemleri sonrası fiziksel ve konfor özelliklerinde meydana gelen değişimlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Bu bağlamda geri dönüştürülmüş tekstil liflerinin, poliester liflerinin yerine ticari olarak kullanımı hakkında bilgi sahibi olunacak ve böylece çevre kirliliğinin önlenmesi yolunda önemli bir adım atılması sağlanacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Plastik

Polietilen tereftalat (PET) şişeler, geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan plastik türevli malzemelerdir. Plastikler sentetik ve yarı sentetik olarak ikiye ayrılmaktadır.

Sentetik ve yarı sentetik plastikler ise termoplastik ve termoset olarak ikiye ayrılmaktadır. Özellikle termoplastikler farklı işlemler sonrası soğutulduğunda yeni formlara veya yeni plastik ürünlere dönüştürülebilir. Termoplastik grubu; PET, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP) ve polistireni (PS) içerir (Ingrao ve diğerleri, 2014). Termoplastik grubu, biyolojik olarak parçalanmayan plastik olarak kabul edilir (Al-Sabagh, Yehia, Eshaq, Rabie ve ElMetwally, 2016). Termosetler ise polimerizasyon sonrasında tekrar eritilemez ve şekil değiştirmezler.

Plastik üretimi her geçen gün büyümekte ve dakikada 1 milyon plastik şişe talebi olmaktadır. Bunun yanında dünya çapında her yıl 5 trilyona kadar tek kullanımlık plastik poşet satın alınmaktadır (Ion ve diğerleri, 2021).

2017 yılında ise 348 milyon tona ulaşan plastik materyalin %29,4'ü Çin tarafından üretilmiştir (R. Zhang ve diğerleri, 2020). 1950 yılında yılda 0,5 milyon ton üretilen plastik, 2018 yılında 400 milyon tonun üzerine çıkmıştır (Schmidt, Krauth ve Wagner, 2017).

2.1.2. Plastik kullanım alanları

Plastikler günlük hayatımızın her alanında kendisine yer bulmaktadır. Ambalaj, inşaat, elektronik, otomotiv malzemeleri ve ev aletleri gibi geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Son yıllarda hali hazırda kullanılmakta olan ahşap, taş, deri, kâğıt, metal, cam ve seramik gibi geleneksel malzemelerin de yerine kullanılmaya başlanmıştır (Jin, Gonzalez-Gutierrez, Oblak, Zupančič ve Emri, 2012).

2.2. Plastik Geri Dönüşümü

Küresel olarak 7 grup plastiğin geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Geri dönüştürülebilen bu plastikler;

- 1- Polipropilen
- 2- Polivinil klorür (PVC)
- 3- Polistiren
- 4- Yüksek yoğunluklu polietilen
- 5- Düşük yoğunluklu polietilen
- 6- Polietilen tereftalat
- 7- Diğer gruplar; özellikle polikarbonat (PC) (Mikula ve diğerleri, 2021).

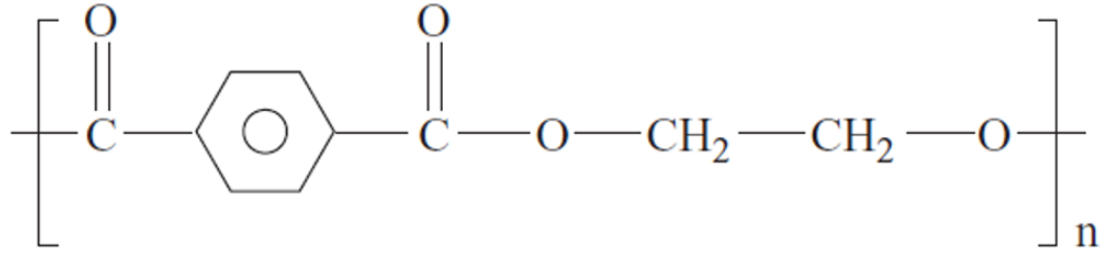
Plastik geri kazanımı için başlıca üç seçenek bulunmaktadır. Bunlar mekanik geri dönüşüm, hammadde geri dönüşümü (kimyasal geri dönüşüm) ve enerji geri kazanımıdır. Mekanik geri dönüşüm, fiziksel geri dönüşüm olarak da bilinir. Bu yöntemde plastikler öğütülür ve daha sonra kimyasal bir işlemde ziyade fiziksel bir işlemle yeniden kullanılabilir bir malzemeye dönüştürülür. Kimyasal geri dönüşüm olarak da adlandırılan hammadde geri dönüşümü, polimer zincirini, yeni polimerlerin inşası için kaynak olarak kullanılacak bir hidrokarbon bileşenine dönüştürür. Enerji geri kazanımı, doğal enerjiyi geri kazanmak için atık malzemelerin yakılması anlamına gelir. Mekanik geri dönüşüm, nispeten kolay ve ekonomik olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bununla birlikte, mekanik olarak geri dönüştürülmüş polimerler, yeniden işleme sırasında uygulanan ısı, oksidasyon ve mekanik stres etkisi sebebiyle işlenmemiş malzemenin özelliklerini tam anlamı ile gösterememektedir (La Mantia , 1996).

Tüm bunlarla birlikte plastiklerin geri dönüştürülmesinin fizibilitesini değerlendirmek için belirli ekonomik ve teknik faktörler dikkate alınmalıdır (Alzerreca ve diğerleri, 2015).

Atık geri dönüşüm programları yerel yönetim birimleri tarafından iyi bir şekilde koordine edilmeli, sosyo-kültürel ve ekonomik faktörler de göz önüne alınarak bir plan dahilinde hareket edilmelidir (Suttibak ve Nitivattananon, 2008).

2.3. Polietilen Tereftalatın Kimyasal Yapısı

Polietilen tereftalat ticari olarak kullanılan en önemli polimerlerden biridir. Kısaca 'PET' şeklinde ifade edilmektedir. PET'in birim molekül ağırlığı 192'dir. PET'in kimyasal yapısı Şekil 2.1'de verilmiştir (Deopura, Alagirusamy, Joshi ve Gupta, 2008).



Şekil 2.1. PET'in molekül yapısı (Deopura ve diğerleri, 2008)

PET düşük üretim maliyeti ile birlikte iyi mekanik özelliklere ve iyi derecede kimyasal dirence sahip olan bir polimerdir. Bunların yanında geri dönüştürülebilmekte ve tekrar işlenebilmektedir (Y. Zhang, Guo, Zhang ve Wu, 2009).

Dünya genelinde üretilen termoplastiklerin %80'ini PET, PP ve polietilen (PE) oluşturmaktadır. Bu oranın %18'lik kısmı ise PET üretimine aittir. Böylece PET, PP ve PE'den sonra küresel anlamda en çok üretimi yapılan üçüncü sıradaki polimerdir (Leng, Padhan ve Sreeram, 2018).

Küresel düzeyde böylesine yüksek bir üretim oranına sahip olan PET ayrıca dünya genelindeki katı atığın ağırlıkça %8'ini, hacimce %12'sini oluşturmaktadır (Siddiqui, Redhwi ve Achilias, 2012).

2.3.1. PET kullanım alanları

İşlenmemiş PET yaygın olarak kullanılan önemli bir polimerdir. Ambalaj malzemeleri, elektronik ekipmanlar ve otomotiv ürünleri başta olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır. PET mükemmel işlenebilirliği sayesinde bariyer, nanolif, tabaka ve film olarak kullanılabilir. Bu yönden PET, yapay kalp kapağı ve yapay kan damarı gibi tıbbi uygulamalarda dahi kullanılabilir (Wang ve diğerleri, 2004). PET'in en önemli uygulamalarından biri ise su şişeleri ve meşrubat şişeleridir (Welle, 2011).

2.3.2. PET şişe kullanım alanları

Son yıllarda PET şişe kullanımı, cam şişeye oranla büyük ölçüde artmıştır. Bunda PET şişelerin cam şişelerden daha ekonomik, kırılmaz ve hafif bir malzeme olması etkilidir (Shen, Worrell ve Patel, 2010).

Son dönemde yapılan çalışmalarda gittikçe yaygınlaşan PET şişe kullanımı ile birlikte dünya genelinde PET şişe tüketiminin dakikada 1 milyon adet olduğu bildirilmiştir (Zander, Gillan ve Lambeth, 2018).

Gelişen teknoloji ile birlikte yeni bir sistemsel dönüşüm başlatılmıştır. Bu şişeden şişeye geri dönüşümdür (Welle, 2011).

Bununla beraber günümüzde, atık PET şişelerin inşaat malzemelerine dönüştürülmesinde üç ana yol belirlenmiştir. Birincisi, atık PET şişeler, polimer harcı ve polimer beton üretmek için doymamış poliestere reçineye depolimerize edilebilir (Yao ve diğerleri, 2014). İkinci yöntem, betonu güçlendirmek için PET elyaf kullanılmasıdır. PET elyaf kullanımı ile yarı kırılabilir betonun sünekliğini artırılarak çatlak oluşumu azaltılmaktadır (Silva ve diğerleri, 2005). Üçüncü geri dönüşüm yöntemi, hafif beton veya asfalt beton üretiminde kullanılan agreganın bir kısmında PET atığının kullanılmasıdır (Frigione, 2010).

PET şişelerin bir başka kullanım alanı da Eco Bricks duvar sistemidir. Duvar inşası sırasında toprak, ambalaj ve PET şişe atıkları kullanılmaktadır. Tek bir evin sütunları güçlendirilmek isteniyorsa 1000 adet PET şişeye ihtiyaç duyulmakta, eğer bu uygulama zemin kat seviyesi için uygulanacak ise 19,5 milyar adet PET şişeye ihtiyaç duyulmaktadır (Mancini, Schwartzman, Nogueira, Kagohara, ve Zanin, 2010).

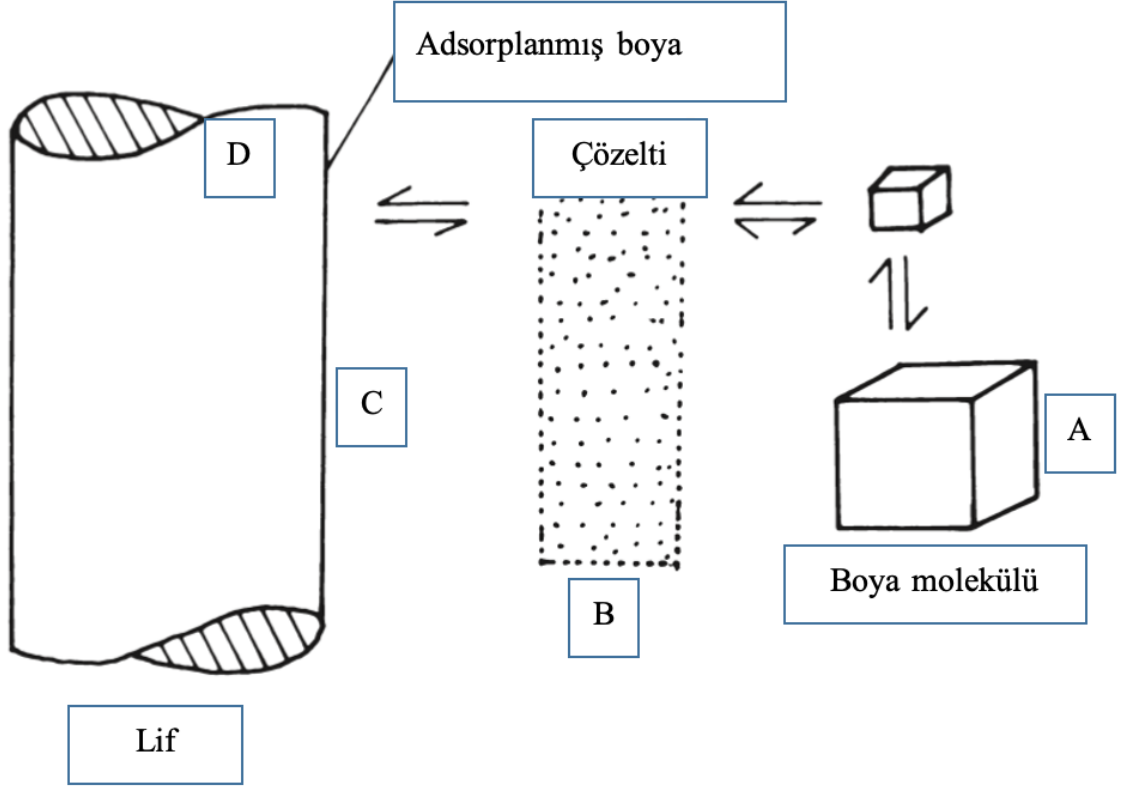
2.4. Poliester Lifinin Özellikleri

PET'ten elde edilen poliester lifi, 27-81 gram/tex (g/tex) kopma değeri ile oldukça güçlü bir lifdir. Kopma uzaması değeri lif içindeki kristal yapı ile orantılı olarak %15 ile %50 arasında değişmektedir. Lifin geri toplama elastikliği %2 ile %10 aralığındadır. Yoğunluğu 1,38 gram/desimetreküp (g/dm³)'tür. Lif oldukça hidrofobik bir yapıdadır. Standart kondisyonlanmış şartlar altında içerdiği nem oranı %0,1 ile %0,4 aralığındadır.

2.5. Poliester Lifinin Boyanması

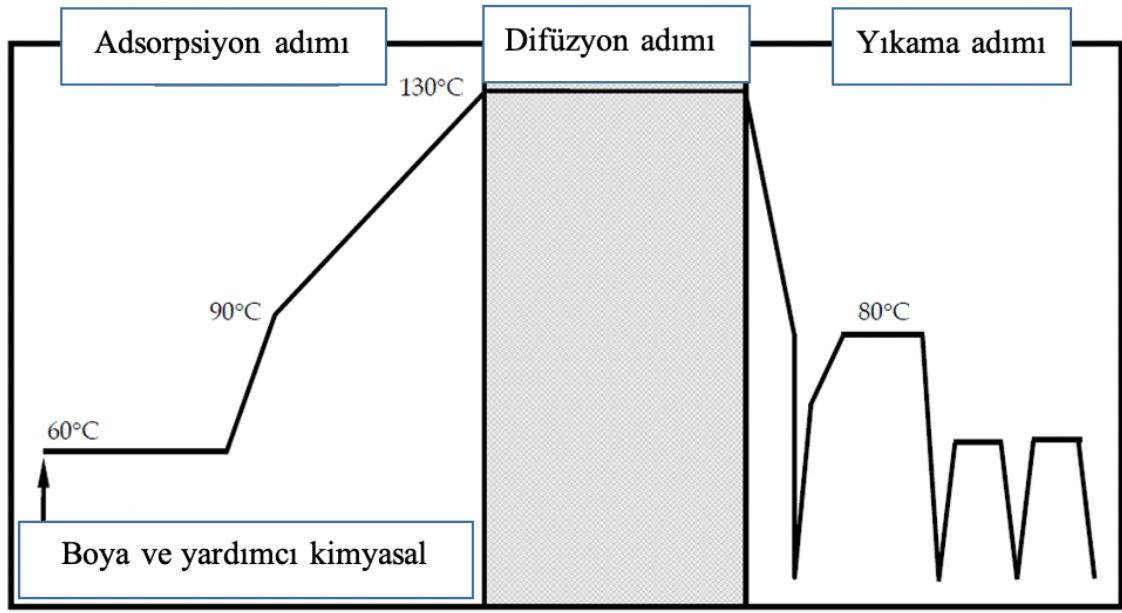
Poliester lifi dispersiyon boyar maddeleri ile boyanmaktadır. Dispersiyon boyar maddelerin boyama mekanizması dört aşamada oluşmaktadır. Şekil 2.2'de gösterilen bu aşamalar şu şekildedir;

- A- Boyar maddenin bir kısmı su içinde çözünür,
- B- Boya molekülleri çözülden elyafın iç yüzeyine aktarılır,
- C- Boya banyosundaki çözelti katı haldeki boyar maddenin dispers hale geçmesi ile tekrar yenilenir,
- D- Adsorplanan boya molekülleri life difüze olur (Koh, 2011).



Şekil 2.2. Poliester liflerinin boyanma mekanizması (Deopura ve diğerleri, 2008)

Şekil 2.3'te gösterilen poliester lifi boyama metodu üç adımda gerçekleşmektedir. Bunlar adsorpsiyon, difüzyon ve yıkama (temizleme) adımlarıdır.



Şekil 2.3. Boyama diyagramı adımları (Koh, 2011)

Adsorpsiyon (yüzeye tutunma) adımı boyama işleminin en önemli adımıdır, burada ısıtma hızı aralığına çok dikkat edilmesi gerekir. Hızlı yükselme uygulanan boyama işlemlerinde, düzgün bir boyama sağlanması giderek zorlaşmaktadır. Adsorpsiyon adımını etkileyen bazı parametreler; boyar madde konsantrasyonu, sıcaklık artış aralığı, elyaf tipi ve kullanılan yardımcı kimyasal maddelerdir. 80 ile 120 santigrat derece (°C) arasında bulunan bölgede boyama hızı maksimum seviyeye çıkmaktadır. Boyama hızının maksimum seviyede olduğu bu bölgeye 'kritik boyama sıcaklığı' (KBS) denilmektedir. Lifin 2. camsı geçiş sıcaklığı olan 120-130 °C'de boyar maddenin lif içerisine difüzyonu gerçekleşir. Difüzyon adımı için gerekli olan süre açık tonlar için 10-20 dakika, orta tonlar için 20-30 dakika, koyu tonlar için 30-45 dakikadır. Yıkama adımı ise kumaş yüzeyinde gözenek içine girmeden kalmış olan boyar maddenin temizlendiği aşamadır. Yüzeyde kalan boyar madde yıkama ile uzaklaştırılmadığında renk tonunda farklılıklar olabileceği gibi sürtme ve yıkama haslıklarında da olumsuz yönde farklılıklar yaratabilir (Koh, 2011).

2.6. Poliester Lifinin Alkalizasyonu

Alkalizasyon (yüzey soyma) işlemi, PET kumaşlara uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde amaç kumaşı ağırlık kaybına uğratarak daha yumuşak, kaygan ve doğal lifleri andıran bir tutum elde etmektir.

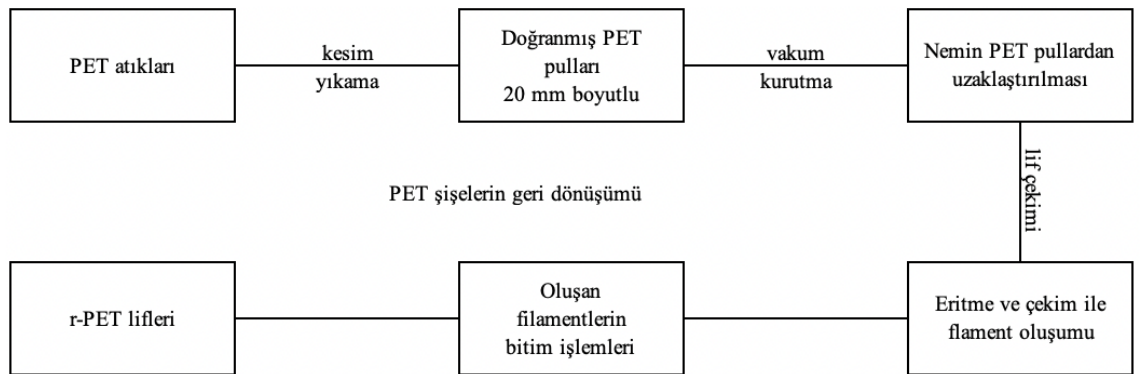
2.7. Poliester Lifinin Haşıllanması

Haşılama işlemi, dokuma esnasında çözümlenmiş ipliklerinin yüzey sürtünmelerini en aza indirgeyerek olası kopuşu engellemek amacıyla uygulanan kimyasal bir işlemdir. Haşıl işlemi için lif yapısına uygun haşıl maddesi seçilmelidir. Poliester lifleri için genellikle poliester haşıl maddesi kullanılmaktadır.

2.8. PET Geri Dönüşümü

Çevre kirliliğinin azaltılması ve daha iyi atık idaresi programlarının belirlenmesi amacıyla yönetimler üzerinde oluşturulan toplumsal baskının bir sonucu olarak PET geri dönüşüm süreci büyük önem kazanmıştır. Doğada ayrışma hızı çok yavaş olan PET atığını azaltmanın en iyi yolunun PET geri dönüşüm olduğu düşünülmektedir (Awaja ve Pavel, 2005).

Avrupa’da PET şişelerin yaklaşık %56’sı (1,64 milyon ton) geri toplanmakta ve geri dönüştürülmektedir. Tüm Avrupa’da PET şişeler için geri dönüşüm süreçleri oluşturulmuştur. İlk adımda, geri toplanan PET şişeler yıkanır ve PET pulu denilen şekilde öğütülür. Yıkama aşaması sırasında ayrıca etiketler, poliolefin kapaklar, etiketlerdeki yapıştırıcılar ve PET olmayan diğer malzemeler çıkarılır (Welle, 2011). Plastik atıklardan geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat (r-PET) iplik eldesi iş-akış diyagramı Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. r-PET iplik eldesi iş-akış diyagramı (Majumdar, Shukla, Singh ve Arora, 2020)

PET şişe toplama ve atık ayırmada yüksek verimlilik için dört adım söz konusudur. Bunlar;

- 1- Kapak çıkartma,
- 2- Etiket çıkartma (yırtma),
- 3- Şişe yıkama,
- 4- Şişe sıkıştırma işlemidir.

Toplanılan PET şişelerin kalitesinin genellikle kötü olmasının sebebi plastik şişeler, teneke kutular ve bardaklar gibi yabancı maddelerin PET şişeler ile karışmasıdır. Ek olarak bazı PET şişeler, toplandıklarında hala kapalıdır. Bu durum sıkıştırmayı zorlaştırmakta ve PET şişelerin toplanma ve taşınma verimliliğini düşürmektedir. PET şişe geri dönüşüm için kapak çıkartma ve yabancı atıklardan arındırma büyük önem taşımaktadır (Özkal ve Cengiz Çallıoğlu, 2020). Örneğin, ayırma, yıkama ve yeniden işleme aşamaları sırasında polimer bozunması ve kirletici maddelerin ortama girişi, düşük kaliteli bitmiş ürünler oluşmasına neden olmaktadır (Alzerreca ve diğerleri, 2015).

PET'in başlıca kullanımı meşrubat kaplarının üretimidir. Ancak r-PET, meşrubat kaplarının üretimi için kullanılamaz, çünkü işleme dahil olan sıcaklıklar ürünün sterilizasyonunu sağlayacak kadar yüksek değildir (Dutt ve Soni, 2013).

2.9. PET Geri Dönüşümün Sınıflandırılması

Tüketim sonrası geri dönüşüme yönelik dört farklı yaklaşım vardır;

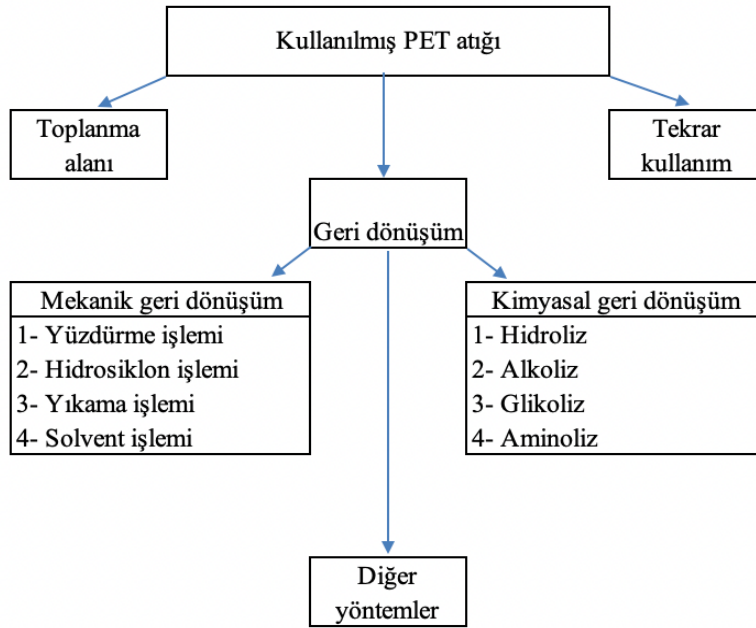
- 1- Birincil geri dönüşüm, tüketim öncesi endüstriyel hurda ve kullanımını içermektedir.
- 2- İkincil geri dönüşüm, öğütme, eritme ve yeniden biçimlendirme gibi fiziksel yeniden işlemeyi içermektedir.
- 3- Üçüncül geri dönüşüm, atık PET'in kimyasal işleme tabi tutulmasını içerir, bu sayede bileşenlerinden ayrıştırılması sağlanır ve üretimde kullanılmak üzere yeniden işlenir.
- 4- Dördüncül geri dönüşüm, plastik atıkların enerji içeriğinin yakma yoluyla geri kazanılabileceği yaklaşımdır (Sinha, Patel ve Patel, 2010).

2.10. Pet Geri Dönüşüm Çeşitleri

PET'in geri dönüşümü,

- 1- Mekanik geri dönüşüm,
- 2- Kimyasal geri dönüşüm,
- 3- Enerji geri kazanımı gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilir (Ling, Shi, Hou, ve Yan, 2019).

Geri dönüşüm çeşitleri Şekil 2.5'te verilmiştir.

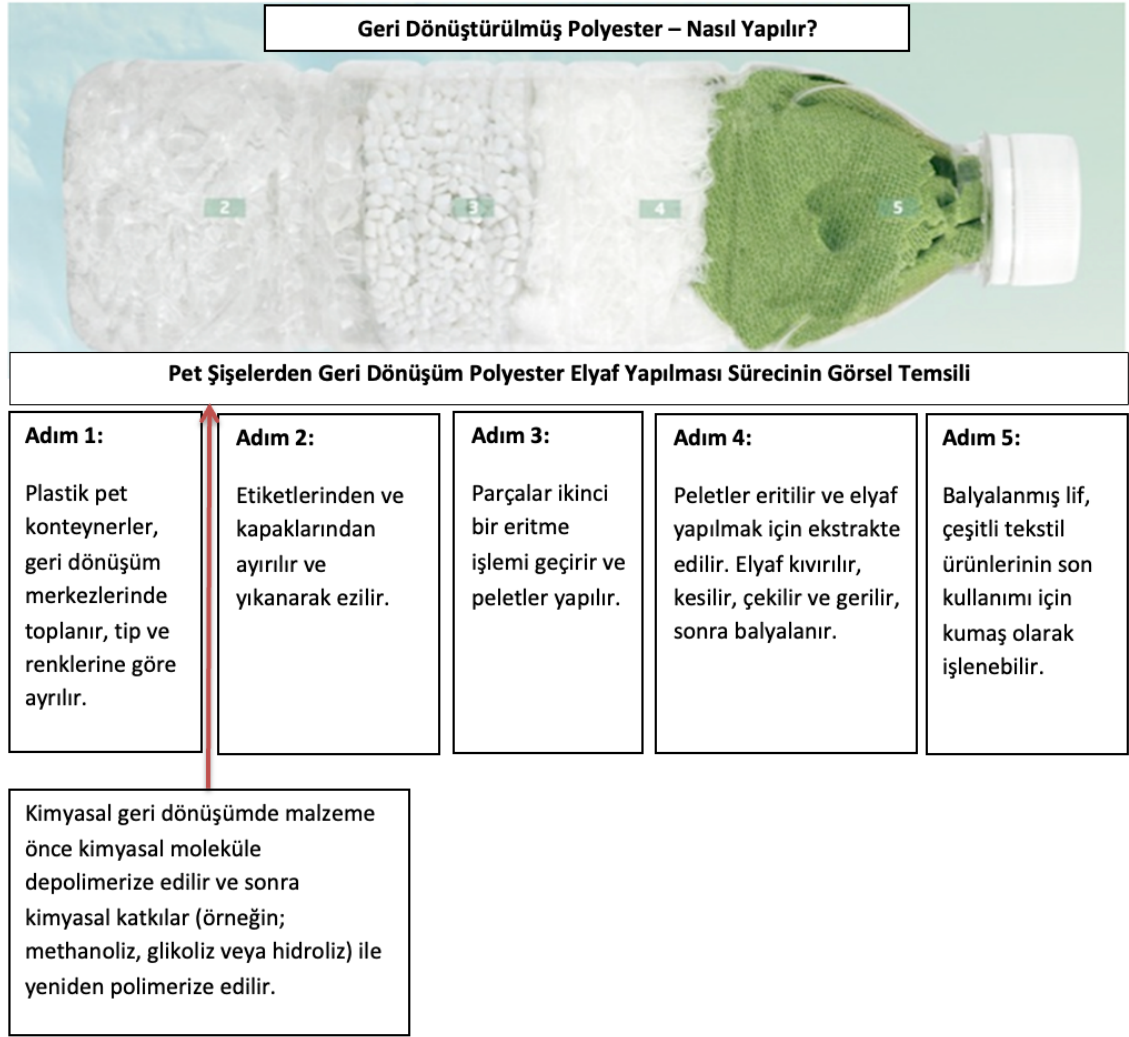


Şekil 2.5. Geri dönüşüm çeşitleri (Dutt ve Soni, 2013)

2.10.1. Mekanik geri dönüşüm

Mekanik geri dönüşümde ilk olarak PET şişeler öğütülür, ardından su kullanılarak yıkanır. Materyal daha sonra kurutulur. Granülasyon adımında (eritme ve ekstrüzyon) materyal eritilir ve özel ekipmanlar (örneğin; ekstrüderler ve enjektörler) kullanılarak yeni ürünlere dönüşümü sağlanır (örneğin; lifler ve filmler gibi yeni ürünlere) (Mancini ve diğerleri, 2010).

PET şişe atıklarının r-PET lifine dönüşüm süreçleri Şekil 2.6'da gösterilmektedir.

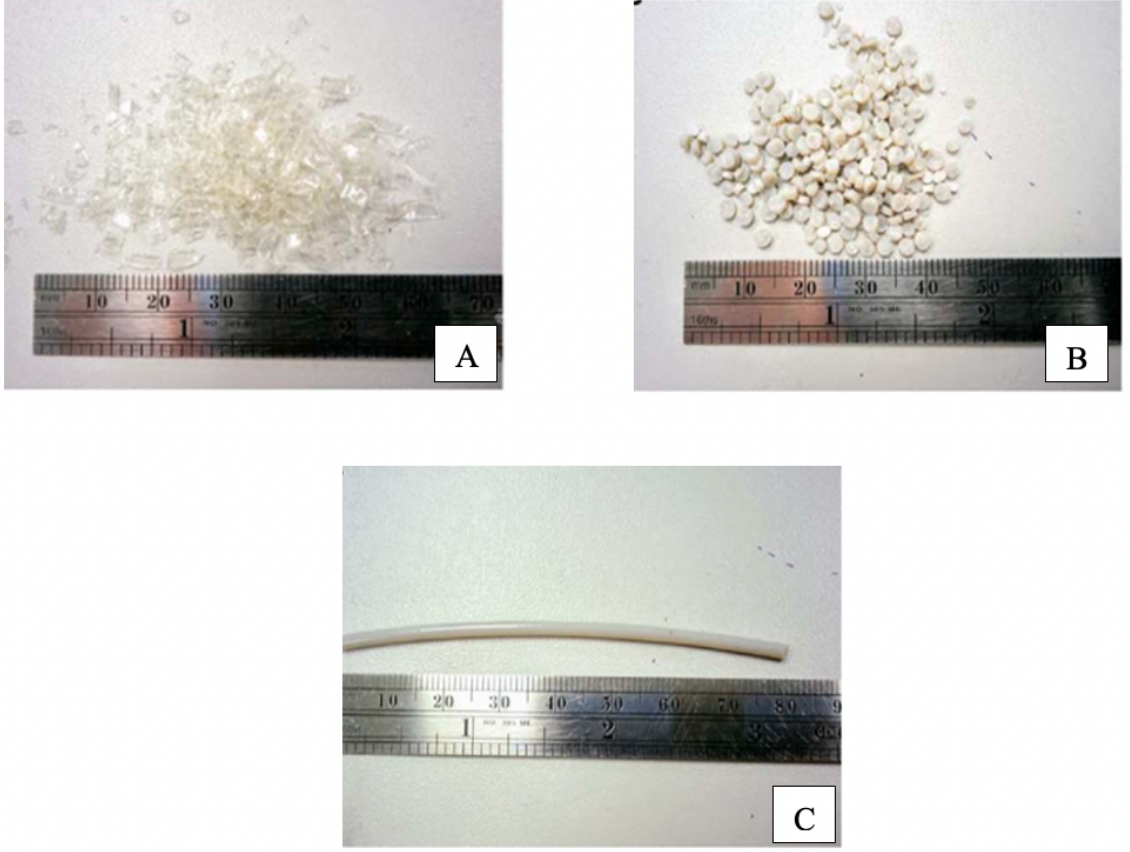


Şekil 2.6. PET Şişe atıklarının r-PET lifine dönüşüm süreçleri (Recycled Textile Fibres and Textile Recycling, 2017)

Mekanik gerideönüőümde, herhangi bir PET'in eriyik halde yeniden işlenmesi sırasında polimer mekanik, termal ve oksidatif bozunmaya uğramaktadır. Bu bozunma polimerin molar kütleini, viskozitesini, erime mukavemetini ve mekanik özelliklerini azaltmaktadır. Bu durum üretimi yapılmış olan gerideönüőüm uygulaması ürünün kullanım alanını sınırlandırmaktadır (Badia, Strömberg, Karlsson ve Ribes-Greus, 2012).

r-PET pul üretiminde; ilk olarak PET Şişe balyaları yıkanmak üzere açılır ardından pullar halinde öğütölür. PET; yüzdürme ile artıklardan, kapaklardan ve etiketlerden ayrılır daha sonra pullar kurutulur. Bu şekilde üretilen r-PET pulları, çoğunlukla Őapel elyaflar ve tabakalar olmak üzere gıda dışı uygulamalar için kullanılabilir. r-PET pelet üretiminde; r-PET pulları peletler halinde yeniden ekstrüde edilir. Elde edilen r-PET peletleri gıda

uygulamaları (yemek tepsisi vb.) için kullanılabileceği gibi gıda dışı PET kaplar için de kullanılabilir (Komly, Azzaro-Pantel, Hubert, Pibouleau ve Archambault, 2012).



Şekil 2.7. r-PET'e ait görseller A) Pul, B) Pelet, C) Filament (Zander ve diğerleri, 2018)

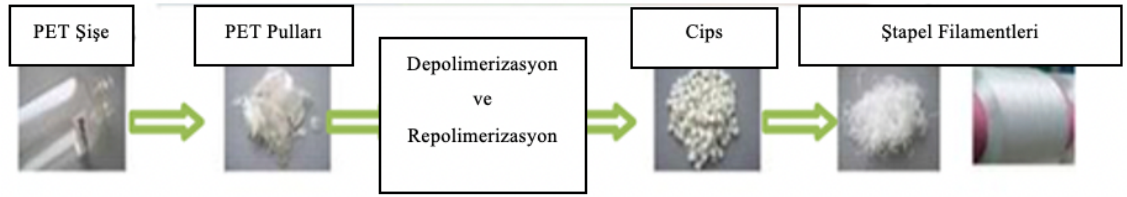
1998 yılında dünya genelinde 20 adet mekanik geri dönüşüm tesisi bulunmaktaydı. Mevcut olan bu tesislerde PET şişelerden 558 milyon pound değerinde PET pulu üretilmiştir. Üretilen PET pulları gıda için kullanılmayacak olan şişelere, giysilere, halı gibi tekstil elyafı içeren malzemelere dönüştürülmüştür. Ancak farklı türdeki plastik atıkları ayırma işlemi zaman ve enerji kaybına neden olduğu için yıllar içinde mekanik geri dönüşümün kullanımı azalmış ve kimyasal geri dönüşüm öne çıkmıştır. Aynı zamanda PET atıklarının kimyasal olarak geri dönüştürülmesi sonucu katma değeri daha yüksek ürünler elde edilebilmektedir. Bu sebeple kimyasal geri dönüşüm, mekanik geri dönüşüme kıyasla üreticiler tarafından daha fazla tercih edilebilecek bir yöntemdir (Dutt ve Soni, 2013).

2.10.2. Kimyasal geri dönüşüm

PET'in kimyasal geri dönüşümünde amaç, atık materyalin genellikle glikoliz, hidroliz veya metanoliz süreçlerine ve aynı zamanda diğer yararlı kimyasallara dönüşmesine dayanmaktadır (Shen ve diğerleri, 2010).

PET'in kimyasal geri dönüşümü için genellikle kullanılan ana yöntem hidrolizdir (Sinha ve diğerleri, 2010). r-PET'in kimyasal geri dönüşümüne ait iş-akış diyagramı Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

PET kimyasal geri dönüşümün son yıllarda yaygın olarak kullanılmasının ana sebepleri mekanik geri dönüşüm yönteminin yalnızca bir polimer atık akımında gerçekleştirilebilmesi ve yakma ile enerji geri kazanımı yönteminin ciddi hava kirliliğine yol açmasıdır (Siddiqui ve diğerleri, 2010).



Şekil 2.8. r-PET'in kimyasal geri dönüşümüne ait iş-akış diyagramı (Radhakrishnan, Vetrivel, Vinodkumar ve Palanisamy, 2020)

Tüm bunların yanında kimyasal geri dönüşüm, sürdürülebilir kalkınma ilkeleri ile uyumludur. Kimyasal geri dönüşüm sayesinde atık malzemeler yeniden hammadde (monomer) olarak kullanıma sunulmakta ve bu durum atıkların çevre üzerindeki etkisini azaltmaktadır (Storey ve Ymen, 2011).

Bir polimer oluşturulduktan sonra onu yüksek seviyelere kadar saflaştırmak zordur. Bu yüzden, başlangıç malzemelerinin saflığı büyük önem kazanmaktadır. Bu yönden bakıldığında küresel petrol fiyatlarının düşüşü ile işlenmemiş PET fiyatlarında önemli düşüşler gözlemlenmiştir. Ancak COVID-19 salgını sonrasında küresel ekonomi daha da kısıtlı bir hal almıştır. Sonuç olarak PET atıklarından döngüsel bir ekonomi elde etmek için, uygun maliyetli bir geri dönüş yöntemi kullanılması gerektiği düşünülmektedir. Tüketim sonrası PET şişelerin dönüşümü ekonomik anlamda yararlı ve işlenmemiş PET

ürünlerine benzer hatta daha iyi safsızlıkta (kirlilikte) ve özellikte olmalıdır (H. L. Lee, Chiu ve Lee, 2021).

Geri dönüşüm süreçleri içerisinde PET şişe üzerinde bulunan kirleticilerin giderilmesi gerekmektedir. Bunun için alkalizasyon işlemi önerilmektedir. Alkalizasyon işleminde, poliester lifi alkali çözelti ile reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyon çoğunlukla yüzeyde meydana gelir ve liflerde mikroskobik delikler oluşturur, bu da kumaşın ipek ve pamuk gibi doğal kumaşlara benzemesini sağlar. Böylece sentetik poliestere geniş bir kullanım alanı sağlar. Tekstil endüstrisinde poliester liflerine uygulanan lifin yüzeyinin soyulduğu reaksiyonunun bir benzeri, PET şişelerin kimyasal geri dönüşümü (depolimerizasyon) çalışmalarında da kullanıldığı gözlemlenmiştir (Paszun ve Sychaj, 1997).

2.10.3. Enerji geri kazanımı olarak geri dönüşüm

Kullanım sonrası PET atıkları, yumuşak kömüre eşdeğer olan 23 megajul/kilogram (kg) enerji içeriği ile değerli bir yakıttır. Bu katı PET atıkları enerji geri kazanım amacıyla yakılmaktadır (Dutt ve Soni, 2013).

Aynı zamanda PET atıklarından yakılarak üretilen gazlar hava kirliliğine neden olmakta ve halk sağlığını tehdit etmektedir (Akçaözöğlü, Atış ve Akçaözöğlü, 2010).

Geri dönüşüm materyalleri kullanımı ile elde edilen enerji tasarruf oranları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. İşlenmemiş materyal yerine geri dönüşüm materyali kullanımı sonucu sağlanan enerji tasarruf oranları (Verghese, Lewis ve Fitzpatrick, 2012)

Materyal	Geri Dönüştürülmüş Malzemedен Sağlanan Enerji Tasarrufu (%)
Çelik	79
Alüminyum	93
HDPE	79
PET	76
PVC	80
Cam	57

2.11. PET Geri Dönüşümü Değerlendirme İlkeleri

PET geri dönüşüm süreçleri için ana değerlendirme ilkeleri şunlardır:

- 1- Girdi malzemesi kontrolü yapılmalıdır (geri toplanmış olan şişeler ve yıkanmış olan PET pulları için),
- 2- PET geri dönüşümü işleminde potansiyel kirleticilere karşı temizliğin etkin olarak sağlanması gerekmektedir,
- 3- İşlem sonrası r-PET haline gelmiş ürünler için kullanılabilirlik anlamında bir kalite güvence unsuru sağlanmalıdır (Welle, 2016).

2.12. r-PET Özellikleri

Textile Exchange kuruluşu yaptığı analizde, 2030 yılında üretilecek olan poliesterin %20'sinin geri dönüştürüleceğini öngörmektedir. Yapılan birçok araştırma geri dönüşüm işlemi nedeni ile r-PET'in azalan mukavemet değeri dışında PET ile benzer özellikler gösterdiğini vurgulamaktadır. Ancak bu durum PET'in ilk geri dönüşümünde böyle iken, birkaç geri dönüşüm sonrasında özelliklerinin büyük ölçüde değişim göstereceği yönündedir. Çizelge 2.2'de bahsedilen çalışmada işlenmemiş PET ile r-PET özellikleri analiz edilmiştir ve r-PET'in kristalliğinin, geri dönüşüm esnasında polimerin yeniden eritilmesi ve yeniden düzenlenmesi sonucu işlenmemiş PET'e göre %13,85 daha düşük değere sahip olduğu belirtilmiştir. İşlem görmemiş PET ve r-PET liflerinin camsı geçiş özellikleri arasındaki fark ikisi arasında eşit olmayan boyama davranışlarına yol açmaktadır. Bunun sebebi ise geri dönüşüm işlemi esnasında kullanılan kimyasal girdilerin farklılığıdır. r-PET ile işlenmemiş PET arasındaki termal farklılığın sebebi ise poliesterin yeniden eritilmesi sonucu moleküler zincirlerin tekrar çapraz bağlanması ve yeniden oluşumundan kaynaklanmaktadır. r-PET içeriğinde saptanan diğer malzemelerin varlığının sebebi, r-PET'in PET'e göre daha yüksek miktarda safsızlık (kirlilik) içermesidir (Radhakrishnan ve diğerleri, 2020).

Birden fazla geri dönüşüm döngüsüne maruz kalma, PET materyallerinin moleküler yapısını, moleküler ağırlığını değiştirerek termal ve mekanik özelliklerinde değişikliklere neden olabilir. Bu nedenle birçok kez işleme tabi tutulan PET materyali ana ticari uygulamalar için işe yaramaz hale gelebilmektedir (Nait-Ali, Colin ve Bergeret, 2011).

Çizelge 2.2. İşlenmemiş PET ve r-PET özellikleri (Radhakrishnan ve diğerleri, 2020)

Sıra No	Parametreleri	İşlenmemiş PET	Geri Dönüştürülmüş PET
1	Kristalinite		
	<i>Kristalin bölge</i>	37,2	28,5
	<i>Amorf bölge</i>	62,8	71,5
2	Termal özellikler		
	<i>Camlaşma sıcaklığı (°C)</i>	75,35	87,27
	<i>Erime noktası</i>	242,72	244,15
	<i>Bozunma noktası</i>	419,99	419,62
	<i>Kalıntı</i>	0,79	10,8
3	Ortalama molekül ağırlığı (g mol)	19,342	15,812
4	Mukavemet özellikleri		
	<i>Çekme mukavemeti (kg/cm²)</i>	140,5	220
	<i>Kırılma noktası (kg/cm²)</i>	82,2	42,2
	<i>Uzama yüzdesi (%)</i>	6,96	5
	<i>Young modülü (kg/cm²)</i>	5690	10,5
5	Büzülme % (150 denye)	9,31	6,18

r-PET'in, işlenmemiş PET'in amorf bölgesindeki zincir yapısının yeniden düzenlenmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir. r-PET, işlenmemiş PET'e göre daha kısa sürede soğutulabildiği için özellikle enjeksiyon ve şişe kalıplama gibi endüstriyel uygulamalarda kullanım kolaylığı sağlayabilmektedir (Joijode, Hawkins ve Tonelli, 2013).

2.13. r-PET'in Avantaj ve Dezavantajları

Malzemenin önceki kullanımında meydana gelebilecek bozulmanın bir sonucu olarak çıkan kusurlar ve kirleticiler (safsızlıklar) nedeniyle, geri dönüştürülmüş plastiklerin, işlenmemiş hammaddelerden yapılan plastiklerden daha düşük bir mekanik performans göstermesi beklenmektedir. Örneğin, oksijen ve diğer kimyasallarla temas, maddenin moleküler yapısını değiştirebilir (Hamouda ve diğerleri, 2000).

r-PET kullanımının avantaj ve dezavantajları Şekil 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. r-PET kullanımının avantaj ve dezavantajları (Radhakrishnan ve diğerleri, 2020)

Avantajlar	Dezavantajlar
Plastiğin çevreyi kirletmesini önlemektedir.	Diğer lifler ile karıştırılmış poliesterin geri dönüşümü zordur.
r-PET, işlenmemiş PET ile benzer özellikler göstermektedir.	%100 PET sonsuza kadar geri dönüştürülemez. Malzeme her geri dönüştürüldüğünde polimer bozulur ve düşük kaliteli malzemeler için kullanılabilir veya bir miktar saf poliestere karıştırılabilir.
Yaşam döngüsü değerlendirmesi, karbon emisyonlarında bir azalma olduğunu ve yakma nedeniyle toksik emisyonların önlendiğini kanıtlamaktadır.	
PET atıklarını, r-PET formuna getirmek için yeni teknolojiye sahip tedarik zinciri araştırmalarının yapılmasına teşvik etmektedir.	Okyanuslarda ve su kütlelerinde mikrofibre kirliliğine neden olmaktadır.
	r-PET, atık şişelerin karışımından oluşur ve sahip olduğu renk, hammaddenin temel rengidir. Bu tutarsızlığı gidermek için klor bazlı ağartma yapılmaktadır.
	Hammadde renk varyasyonu, boya tonunda tutarsızlığa yol açabilmektedir.

r-PET yalnızca düşük kaliteli ürünler üretmek için kullanılabilir. Bu süreci kullanarak kaliteli ürünler elde etmek zordur. Ayrıca, hidroksil ve karboksil grupları, hidroliz esnasında kirleticiler tarafından parçalanabilir. Termal bozunma sırasında, karboksilen ve etilen esterleri oluşturulabilir. Zincir geliştiriciler, reaktif eriyik ekstrüzyon işleminde PET geri dönüşümünü iyileştirmek ve daha gelişmiş mekanik özelliklere sahip ürünler elde etmek için etkin olarak kullanılmaktadır (Chen ve diğerleri, 2020).

r-PET özelliklerini iyileştirmek için yapılan çalışmalar ise şu şekildedir; polimer içerisine sert nanopartiküller/nano dolgular ve organik olarak modifiye edilmiş nanokiller dahil edilerek polimerin mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir. Ekonomik olarak uygulanabilir bir örnek çalışmada çapraz bağlama maddesi olarak stiren kullanılmıştır. Stiren, r-PET in sertliğini, mekanik direncini, termal stabilitesini önemli ölçüde

iyileştirebilecek bir yapıdır (Chinchillas-Chinchillas ve diğerleri, 2019). Zincir geliştiriciler r-PET'in termal ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için etkilidir (Chen ve diğerleri, 2020). r-PET özelliklerini iyileştirmek için bir başka alternatif ise r-PET ile daha yüksek mekanik ve termal özelliğe sahip olan saf bir polimer arasında bir kompozit materyalin oluşturulmasıdır (Ansari, Skrifvars ve Berglund, 2015).

Son yıllarda, polimerin geri dönüşümü için büyük zorluklar yaşanmaktadır. Bu durum aşağıdaki stratejilerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur:

- 1- Katı atıkların üretimi, taşınması ve bertarafı sırasında gaz emisyonunu azaltmak,
- 2- Yenilenmeyen doğal kaynakları korumak (Velásquez, Garrido, Guarda, Galotto ve López de Dicastillo, 2019).

Tüm bu zorluklara rağmen kullanılmış PET şişelerin geri dönüşümü oldukça kolay ve ekonomiktir (Majumdar ve diğerleri, 2020).

2.14. Çevresel Boyut

Günümüzde dünya genelinde dakikada yaklaşık 1 milyon PET şişe atılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda bu değer %20 artması beklenmektedir (Elias, 2017). Ne yazık ki PET şişelerin atılma oranı, geri dönüşüm oranından daha yüksektir (Foti, 2013).

Şu zamana kadar başta su şişeleri olmak üzere muazzam miktarda PET tüketimi oluşmuş ve buna bağlı olarak yüksek miktarda PET atık ortaya çıkmıştır (S. Y. Lee ve diğerleri, 2015). Geri dönüşüm teknolojisinin, bunların neden olduğu çevre sorununa çözüm sağlayabilecek en iyi yollardan biri olduğu düşünülmektedir (Fidanovski ve diğerleri, 2018).

Atık PET şişenin geri dönüşümü, atıkların azaltılması için umut verici bir yaklaşımdır. Bu geri dönüşüm sadece hammadde ve enerjiden tasarruf etmeyi değil bunların yanında sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da yardımcı olur (Çizelge 2.4). Yararlı malzemelerin israfını önleyebilir ve işlenmemiş hammaddelerin (etilen glikol ve tereftalik asit) kullanımını azaltabilir, böylece enerji kullanımını, hava kirliliğini (yakma kaynaklı) ve su kirliliğini azaltabilir. PET şişe atığı tekstil elyaflarına dönüştürülerek,

PET şişenin kullanım ömrü sonunda yeni bir yaşam döngüsü yaratılmaktadır (Shen ve diğerleri, 2010).

Çizelge 2.4. Geri dönüştürülmüş liflerin farklı parametrelere göre değerlendirilmesi (Recycled Textile Fibres and Textile Recycling, 2017)

Lif	r-Pet	Geri Dönüştürülmüş Naylon	Geri Dönüştürülmüş Pamuk	Geri Dönüştürülmüş Yün
Arazi Kullanımı	Girdi malzeme olarak arazide kullanımı mevcut değildir			
Su Yoğunluğu	r-PET ve işlenmemiş PET düşük su kullanımına sahiptir, bu nedenle etki olarak fark yoktur.	Her iki formda da düşük su kullanımına sahiptir, bu nedenle etkin olarak hiçbir fark yoktur.	Geri dönüşüm sürecinde düşük su kullanımına sahiptir.	Geri dönüşüm prosesinde düşük su kullanımına sahiptir.
Kimya	Mekanik olarak r-PET için giriş malzemelerinin temizlenmesinde deterjanlar dışında hiçbir kimyasal kullanılmamaktadır.	Mekanik olarak geri dönüşümlü naylon için kimyasal kullanılmaz.	Konvansiyonel pamuktan daha az kimyasal kullanılmaktadır.	Geri dönüşümlü yün, konvansiyonel yüne göre daha az kimyasal gerektirir, herhangi bir tarım alanında kullanılmaz.
Enerji	r-PET, işlenmemiş PET'e göre %59 daha az enerji kullanır.	Geri dönüşümlü naylon, işlenmemiş naylona göre %60 daha az enerji kullanır.	Geri dönüşümlü pamuk için enerji ihtiyacı, konvansiyonel üretim pamuktan yaklaşık %20 daha azdır.	Geri dönüşümlü yün için enerji ihtiyacı daha düşüktür.
Karbondioksit Emisyonu	r-PET, emisyonları işlenmemiş PET'e göre %32 azaltır.	Geri dönüşüm naylon, emisyonları işlenmemiş naylona göre %26 azaltır.	Tarım ihtiyaçlarının değiştirilmesi ve sentetik kimyasalların kullanımından kaçınılmasıyla emisyonlar daha fazla azalma göstermiştir.	Çiftçi ihtiyaçlarını değiştirerek ve metan gazı emisyonundan kaçınarak, emisyonları en aza indirmiştir.

PET, çevreye direkt olarak herhangi bir tehlike oluşturmaz, ancak artan plastik atıkları atmosfere karşı yüksek dirençleri nedeni ile kirletici malzeme olarak kabul edilir (Chinchillas-Chinchillas ve diğerleri, 2019). PET, biyolojik olarak parçalanamayan sentetik bir polimer olduğundan, kullanım ömrü sonunda uygun olmayan şekilde imha edilmesi çevre ve insan sağlığı için zararlıdır. Çevre sorunları ve atık yönetiminin yanı sıra, PET üretimi de yüksek enerji gerektirir (PET üretimi için gereken enerji, pamuk üretimi için gereken enerjinin iki katından fazladır) (Majumdar ve diğerleri, 2020).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada kullanılan kumaş yapılarının özellikleri, kumaşlara uygulanan terbiye işlemleri ve kullanılan test yöntemleri aşağıda belirtilmiştir.

3.1. Materyal

Yapılan çalışmada %100 PET (atkı ve çözgü iplikleri PET) ve %100 r-PET (atkı ve çözgü iplikleri r-PET) olarak dokunmuş olan kumaşlara uygulanan terbiye işlemlerinin etkinliğinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Kumaşlar dokunduktan sonra tüm terbiye işlemleri Küçükçalık Tekstil boyahane işletmesi üretim hattında uygulanmıştır. Çalışmada kumaşlara, terbiye işlem adımları sonunda testler uygulanacak böylece farklı kullanım alanlarına sahip kumaşlar kendi içlerinde karşılaştırılarak terbiye etkinliği ve ticari amaçlı kullanılabilirliği değerlendirilecektir.

3.1.1. Çalışmada kullanılan PET ve r-PET kumaşlara ait özellikler

Kullanılacak kumaş çeşitlerinden, çalışmanın devamında aşağıda belirtilen şekilde bahsedilecektir:

Tip 1: Perdelik kumaş %100 PET

Tip 2: Perdelik kumaş %100 r-PET

Tip 3: Giyimlik kumaş %100 PET

Tip 4: Giyimlik kumaş %100 r-PET

Çalışmada Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar kendi aralarında, bir diğer kullanım alanına sahip olan Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar da benzer biçimde kendi aralarında değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan kumaşlara ait bilgiler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan kumaşlara ait bilgiler

Kullanılan Kumaşlar	İplik Numaraları		Sıklık		Kumaş Gramajları gram/metrekare (g/m ²)
	Çözü İpliği	Atkı İpliği	Çözü İpliği (çözü/cm)	Atkı İpliği (atkı/cm)	
Tip 1	75 denye 72 filament	150 denye 48 filament	128	40	190
Tip 2	75 denye 72 filament	150 denye 48 filament	128	40	189
Tip 3	75 denye 72 filament	75 denye 72 filament	40	28	76
Tip 4	75 denye 72 filament	75 denye 72 filament	40	28	75

3.1.2. Çalışmada kullanılan boyar madde ve kimyasal maddeler

Çalışma kapsamında kullanılmış olan boyar madde ve kimyasal maddeler ile bunlara ait özellikler terbiye işlemi bazlı olarak Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan boyar madde ve kimyasallara ait özellikler

Terbiye İşlemi	Kimyasal / Boyar madde	Malzeme Yapısı	Üretici Firma
Haşıl Sökme	Sodyum karbonat (soda)	Yardımcı kimyasal	Kemitaş
	Asetik asit	Yardımcı kimyasal	Akkim
Alkalizasyon	Sodyum hidroksit (kostik)	Yardımcı kimyasal	Akkim
	Asetik asit	Yardımcı kimyasal	Akkim
Dispers Boyama ve Yıkama	Kırık önleyici	Non-iyonik	Rudolf-Duraner
	Egalize madde	Anyonik/non-iyonik	Rudolf-Duraner
	Dispersiyon madde	Anyonik/non-iyonik	Rudolf-Duraner
	Boyar madde (Orange 30)	Büyük moleküllü	Archroma
	Boyar madde (Red 167)	Büyük moleküllü	Archroma
	Boyar madde (Blue 79)	Büyük moleküllü	Archroma
	Asetik asit	Yardımcı kimyasal	Akkim
	Sodyum hidrosülfid	Yardımcı kimyasal	Kemitaş
	Sodyum hidroksit	Yardımcı kimyasal	Akkim
Apre	Makro silikon	Non-iyonik	Pulcra Chemicals

3.2. Yöntem

Çalışmada kullanılan kumaşlara, kullanım alanlarına uygun olacak şekilde farklı terbiye işlemleri uygulanmıştır.

Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarda dokuma esnasında iplik kopuşlarını engellemek ve PET’te lif-lif tutunmasını sağlamak amacı ile haşılama işlemi uygulanmıştır. Bu sebeple kumaşlara ham açma adımının ardından haşıl sökme işlemi uygulanmış ve sonrasında kumaşlar boyanmıştır. Kumaşlar boyama işlemi sonrası kurutma amaçlı ramözden geçirilerek mamul kumaşlar elde edilmiştir.

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarda dokuma esnasında ipliklere herhangi bir haşıl uygulaması yapılmamıştır. Kumaşlar ham açma işlemi sonrası jet boyama makinesi içerisine alınmış, ilk olarak alkalizasyon işlemi ardından da boyama (renklendirme) işlemi yapılmıştır. Boyama işlemi sonrası kumaşlar apreye hazırlık amacı ile ramözden geçirilmiştir.

Kumaşlara tuşe kazandırmak amacı ile apre işlemi uygulanmış ve böylece kumaşlar mamul hale getirilmiştir.

Uygulanmış olan terbiye işlemleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan kumaşlara uygulanan terbiye işlemleri

İşlem No	Tip 1 ve Tip 2 Kumaşlarda Terbiye İşlemleri	İşlem No	Tip 3 ve Tip 4 Kumaşlarda Terbiye İşlemleri
1	Ham açma	1	Ham açma
2	Haşıl sökme	2	Alkalizasyon
3	Boyama	3	Boyama
		4	Apre

3.2.1. Çalışmada kullanılan makinalar

Kumaşların boyahane üretim hattında işlem gördüğü makineler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan terbiye makineleri ve kullanım amaçları

Çalışmada Kullanılan Terbiye Makineleri	Kullanım Amaçları
Açık en yıkama makinesi	Haşıl sökme
HT jet boyama makinesi	Alkalizasyon ve boyama
Ramöz	Kurutma ve apre

3.2.2. Kumaşlara uygulanan terbiye işlemleri

Bu bölümde, çalışmada kullanılacak olan Tip 1, Tip 2, Tip 3 ve Tip 4 kumaşlara uygulanan terbiye işlemleri anlatılmaktadır.

Tip 1 ve Tip 2 kumaşlara uygulanmış olan terbiye işlemleri sırası ile haşıl sökme, boyama işlemleridir.

Haşıl sökme işlemi, dokuma işlemi esnasında poliester haşıl maddesi ile haşılanmış olan Tip 1 ve Tip 2 kumaşlara uygulanmıştır. Haşıl sökme işlemi açık en yıkama makinesinde gerçekleştirilmiştir.

Haşıl sökme işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

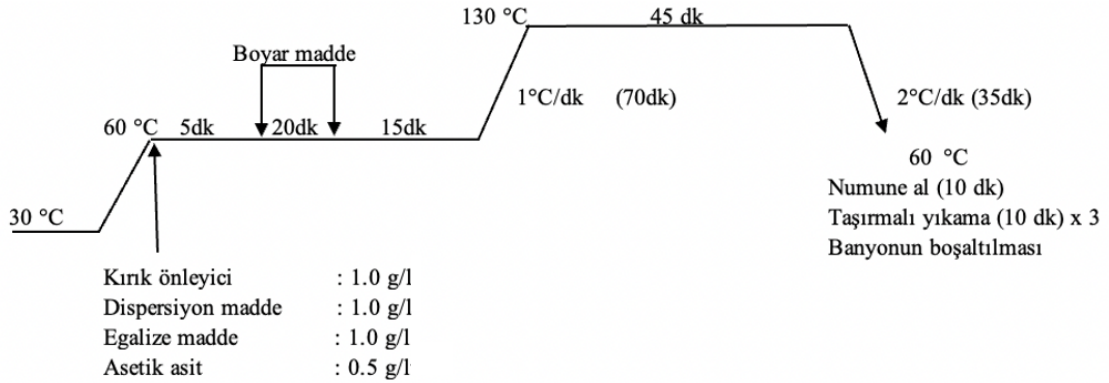
Çizelge 3.5. Haşıl sökme işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları

Kimyasal Maddeler	Dozaj Sıcaklığı (°C)	Uygulama Sıcaklığı (°C)	Kullanım Oranı gram/litre (g/l)
Soda	30	80	2
Asetik asit	30	60	1

Haşıl sökme işlemi sonrası test kiti ile kumaşlara haşıl sökme tayini yapılmış, her iki kumaşta da haşıl sökme işlemi başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Haşıl sökme işlemi sonrasında kumaşlar ramözde 130 °C'de kurutulmuştur. Ardından boyama işlemine tabi tutulmuştur.

Ön terbiye işlemi tamamlanmış olan Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar boyama işlemi için HT jet boyama makinesine alınmış, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmiş olan sıcaklık-zaman diyagramına uygun olacak şekilde boyama ve yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyama işlemi 130 °C'de 45 dakikada (dk) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Dispers boyar maddesi ile boyama diyagramı

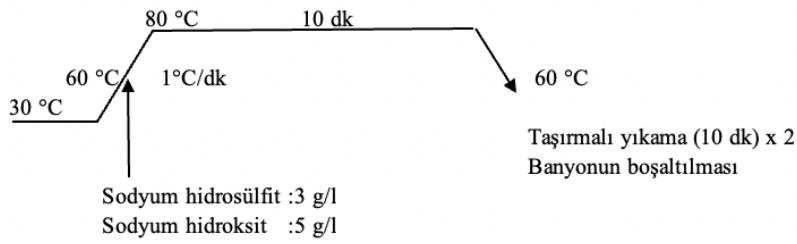
Boyama işlemi sonrası kazan içinde bulunan banyo boşaltılarak indirgen yıkama işlemine hazırlık yapılmıştır.

Boyama işleminde kullanılmış olan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Dispers boyama işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları

Kimyasal Maddeler	Dozaj Sıcaklığı (°C)	Uygulama Sıcaklığı (°C)	Kullanım Oranı (g/l)
Kırık Önleyici	60	130	1
Dispersiyon madde / Egalize madde	60	130	1
Asetik asit	60	130	0,5

İndirgen yıkama işlemine ait sıcaklık-zaman grafiği Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



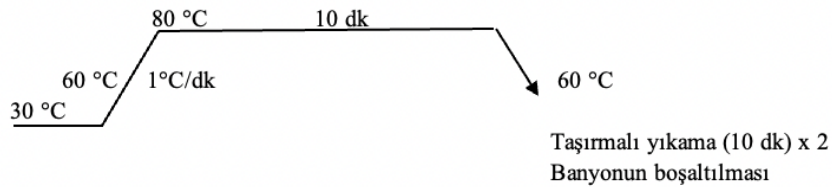
Şekil 3.2. İndirgen yıkama diyagramı

İndirgen yıkama ve nötralizasyon işlemlerinde kullanılmış olan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. İndirgen yıkama ve nötralizasyon işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları

Kimyasal Maddeler	Dozaj Sıcaklığı (°C)	Uygulama Sıcaklığı (°C)	Kullanım Oranı (g/l)
Sodyum hidrosülfid	60	80	3
Sodyum hidroksit	60	80	5
Asetik asit	60	60	1,5

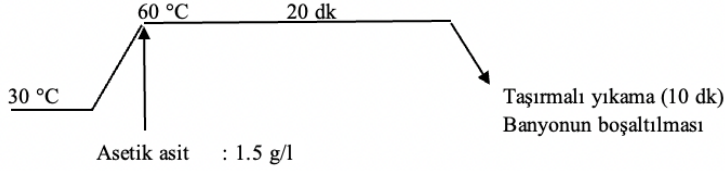
Durulama işlemine ait sıcaklık-zaman diyagramı Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. İndirgen yıkama sonrası durulama diyagramı

İndirgen yıkama işlemi sonrası 80 °C’de durulama işlemi tamamlanır ve nötralizasyon adımı için makine içerisine tekrar su alınır.

Nötralizasyon işlemine ait sıcaklık-zaman diyagramı Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



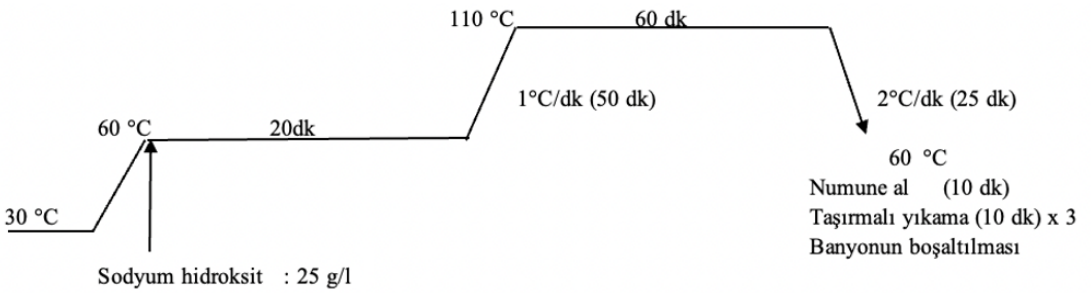
Şekil 3.4. İndirgen yıkama sonrası nötralizasyon diyagramı

Nötralizasyon işlemi ardından kumaşlar jet boyama makinesi içerisinden çıkartılarak ramözde kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Ramözde; kurutma sıcaklığı 170 °C, kumaşın makineden geçiş hızı 25 metre/dakika (m/dk), makine eni ise 155 santimetre (cm) ayarlanarak Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar mamul hale getirilmiştir.

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar da ise uygulanmış olan terbiye işlemleri sırası ile alkalizasyon, boyama ve apredir.

Şekil 3.5’te gösterilmiş olan sıcaklık-zaman diyagramına uygun olacak şekilde alkalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Alkalizasyon diyagramı

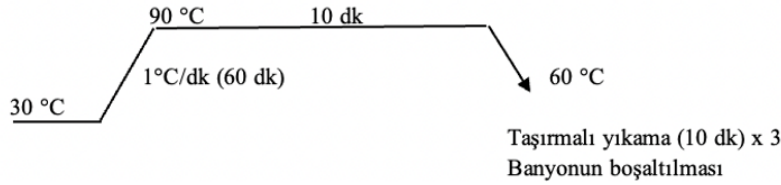
Alkalizasyon işlemi bitiminde makine içindeki banyo boşaltılmıştır. Durulama işlemi için makine içerisine tekrar su alınmıştır.

Alkalizasyon ve nötralizasyon işlemlerinde kullanılmış olan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları Çizelge 3.8’de verilmiştir.

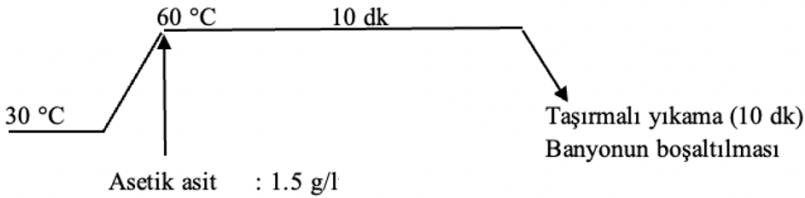
Çizelge 3.8. Alkalizasyon ve nötralizasyon işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve çalışma sıcaklıkları

Kimyasal Maddeler	Dozaj Sıcaklığı (°C)	Uygulama Sıcaklığı (°C)	Kullanım Oranı (g/l)
Sodyum hidroksit (38 °Be)	60	110	25
Asetik asit	60	60	1,5

Alkalizasyon işlemi sonrası yapılan durulama ve nötralizasyon diyagramları sırasıyla Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Alkalizasyon sonrası durulama diyagramı



Şekil 3.7. Alkalizasyon sonrası nötralizasyon diyagramı

Nötralizasyon işlemi ardından makine içindeki banyo boşaltılmış ve kumaşlar makineden çıkartılmıştır.

Alkalizasyon sonrası Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar ramözde kurutularak boyaya hazır hale getirilmiştir.

Tip 3 ve Tip 4 kumaşların, boyama ve indirgen yıkama işlemlerinde Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar için de uygulanmış olan sıcaklık-zaman diyagramları (bkz. Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4) kullanılmıştır.

Kumaşlar boyama işlemi sonrası 130 °C’de kurutularak apre işlemine hazır hale getirilmiştir.

Apre işlemi esnasında kullanılmış olan kimyasallar, kullanım oranları ve kurutma sıcaklığı Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Apre işleminde kullanılan kimyasal maddeler, kullanım oranları ve kurutma sıcaklığı

Kimyasal Maddeler	Dozaj Sıcaklığı (°C)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kullanım Oranı (g/l)
Makro silikon	20	130	10
Asetik asit	20	130	1

Apre işlemi uygulama şartları Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Apre işlemi şartları

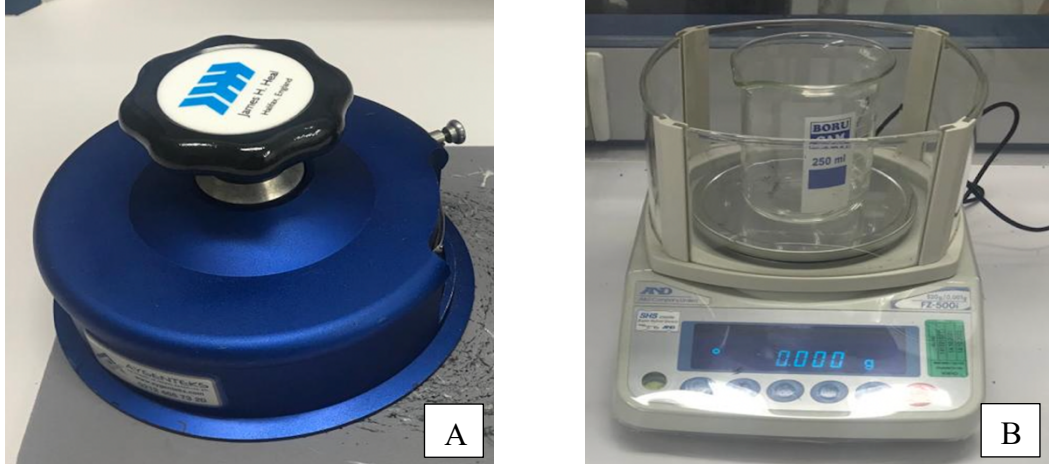
Ramöz	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Makine Hızı (m/dk)	Makine Eni (cm)
Apre işlemi	130	20	152

Ramözde; kurutma sıcaklığı 130 °C, kumaşın makineden geçiş hızı 20 m/dk, makine eni ise 152 cm ayarlanarak Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar mamul hale getirilmiştir.

3.3. Çalışmada Kullanılan Test Metotları

3.3.1. Gramaj tayini metodu

Gramaj tayini; Türk Standartları Enstitüsü (TSE) 251 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Yapılan uygulamada kumaş örnekleri tam en formunda alınarak 24 saat süresince kondisyon odasında tutulmuştur. Kondisyon işlemi tamamlanmış olan kumaşlardan gramaj kesim aparatı ile gramaj tayini örnekleri kesilmiş ve hassas terazi ile ölçülerek değerler g/m² cinsinden kayıt edilmiştir. Testlerin yapılmış olduğu kesim aparatı ve hassas terazi Şekil 3.8’de verilmiştir.



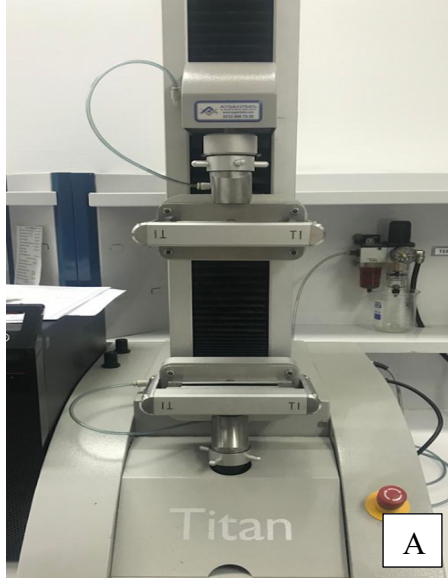
Şekil 3.8. Gramaj tayini metodunda kullanılan cihazlar A) Gramaj kesim aparatı
B) Hassas terazi

3.3.2. Kopma mukavemeti test metodu

Kopma mukavemeti testi; Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) 13934-1 standartlarına uygun olarak Titan marka test cihazında yapılmıştır. Yapılan uygulamada terbiye işlemleri sonrası, tam en formunda alınmış olan kumaş örnekleri kondisyonlama işlemi ardından standartlara uygun olarak atkı ve çözgü yönlerinde kesilmiştir. Kesilmiş olan numuneler makine çenelerine yerleştirilerek kopma anı gerçekleşene kadar çenelere kuvvet uygulanmıştır. Kopma işleminin gerçekleştiği değerler kayıt altına alınarak test sonlandırılmıştır. Kullanılmış olan cihaz Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

3.3.3. Yırtılma mukavemeti test metodu

Yırtılma mukavemeti testi; ISO 13937-1 standartlarına uygun olarak James H. Heal Elmendorf test cihazında yapılmıştır. Test metoduna uygun olarak kumaşlar kondisyon işlemi sonrası kesilerek düzenek dahilinde bulunan kısıkaçlara sabitlenmiştir. Ardından kumaşlara test işleminin yapılacağı yönde ufak bir kesik atılarak kesmenin olacağı yön belirtilmiştir. Kesme işlemi için sarkaç serbest halde bırakılarak kumaş yüzeyinde belirtilen yönde kesme işlemi tamamlanmıştır. Yırtılma işleminin gerçekleştiği değer ölçüm değeri olarak kayıt altına alınmıştır. Kullanılmış olan cihaz Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kopma mukavemeti ve yırtılma mukavemeti test metotlarında kullanılan cihazlar A) Kopma mukavemeti test cihazı B) Yırtılma mukavemeti test cihazı

3.3.4. Aşınma testi metodu

Aşınma testi; ISO 13937-1 standardına uygun olarak James H. Heal Martindale test cihazında yapılmıştır. Standarda uygun olarak kesilen örnekler cihaz yüzeyinde yerleştirildikten sonra makine 4000 devirde çalıştırılarak, bu devirde yüzeylerinde aşınma olup olmadığı gözlemlenmiştir. Eğer herhangi bir aşınma yok ise makine tekrar çalıştırılarak işlemler devam ettirilmiştir. Test tamamlandıktan sonra örnekler, işlem görmemiş halleri (test öncesi halleri) ile karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Test cihazı Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Aşınma test cihazı

3.3.5. Pilling tayini metodu

Pilling tayini; ISO 12945-2 standardına uygun olarak James H. Heal Martindale marka test cihazında yapılmıştır. Standart dahilinde hazırlanmış olan test numuneleri disk üzerine yerleştirilerek 2000 dönüş devrinde işlem başlatılmıştır. Test yöntemi sonunda standart numuneler ile test sonu numuneleri kıyaslanarak pilling tayini değerlendirmeleri yapılmıştır.

3.3.6. Işık haslığı test metodu

Işık haslığı testi; ISO 105-B02 standartlarına uygun olarak renklendirme işlemi tamamlanmış kumaşlara uygulanmıştır. Test işlemleri James H. Heal Apollo test cihazında yapılmıştır. Renklendirme işlemi tamamlanmış olan kumaşlar 50 °C'de %40 nem oranı altında teste tabi tutulmuştur. Işık haslığı testi sonunda numuneler mavi yün skalası ile değerlendirilmiştir.

3.3.7. Yıkama haslığı test metodu

Yıkama haslığı testi; ISO 105 C06 standartlarına göre renklendirme işlemi tamamlanmış kumaşlara uygulanmıştır. Test standartları gereği yıkama işlemi yapılacak tüplere test

numuneleri ile birlikte 4 g/l standart test deterjanı, 1 g/l sodyum perborat içerikli 150 mililitre (ml) yıkama çözültisi ve 25 adet çelik bilye yerleştirilmiştir. 40 °C'deki yıkama işlemi testin devam ettiği 30 dakikalık süre boyunca uygulanmıştır.

3.3.8. Sürtme haslığı test metodu

Sürtme haslığı testi; ISO x12 standartlarına göre, sürtme haslığı cihazında renklendirme işlemi tamamlanmış kumaşlara uygulanmıştır. Değerlendirmede standartlar dahilinde test numuneleri sürtme cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz 10 saniyede 10 tekrarlı olacak şekilde çalıştırılmıştır. Test sonunda yaş ve kuru sürtme haslıkları değerlendirmeleri için gri skala kullanılmıştır.

3.3.9. Su haslığı test metodu

Su haslığı testi; ISO 105 E01 standartlarına göre uygulanmıştır. Numuneler standarda uygun olarak 40 x 100 milimetre (mm) boyutunda kesilmiş ve multifibre kumaş üzerine dikilmiştir. Test numunesi ve multifibre kumaş oda sıcaklığında distile suyla ıslatılmış ve ıslak halde su içerisinde bekletildikten sonra plakalar arasına yerleştirilip perspirometre cihazında üst üste dizilmiştir. Numune perspirometre cihazında 12 kilopascal (kPa) sabit basınç altında ve 37 ± 2 °C'de 4 saat süreyle bekletilmiştir. İşlem sonunda numuneler perspirometreden çıkartılıp multifibre kumaştan ayrılmış ve birbiriyle temas etmeyecek şekilde 60 °C'yi geçmeyecek sıcaklıkta ki kurutma raflarına yerleştirilmiştir. Multifibre kumaşındaki kirlenmeler ve test numunesindeki renk değişimleri gri skala yardımı ile değerlendirilmiştir.

3.3.10. Yıkama çekmesi test metodu

Yıkama çekmesi testi; ISO 6330 standartlarına göre uygulanmıştır. Test edilecek numuneler çekme şablonu ile işaretlenmiştir. Kumaş yüzeyinde çözgü yönü tanımlanması yapılmıştır. Test numuneleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve 65 ± 2 relatif nemde kondisyonlanmış ve sonrasında çamaşır makinasında 40 °C'de yıkanmıştır. Yıkama işlemi sonunda test örnekleri kurutulmuştur. Kurutma işlemi, tamburlu kurutucuda 10 dakika, soğutma süresi de dahil olmak üzere toplam 40 dakika boyunca uygulanmıştır. İşlem sonunda kuruyan numuneler cetvel yardımı ile ölçülmüştür.

3.3.11. PVC haslığı test metodu

PVC haslık testi; ISO 105X10 standartlarına göre uygulanmıştır. Test edilecek numuneler 40 x 100 mm boyutunda kesilmiştir. PVC muşamba ile kumaşın n yüzü birbirine temas edecek şekilde yerleştirilmiş ve kumaşın kendi ağırlığı kadar dioktil ftalat (DOP) damlatılarak yzey yzerine yayılmıştır. Daha sonra hazırlanmış olan numuneler perspirometre cihazına yerleştirilmiştir. Her bir numune aynı şekilde teste hazırlanmıştır. Perspirometre cihazına her seferinde test numunesi gözetmeksizin 21 adet plaka yerleştirilmiştir. Perspirometre cihazı 12,5 kPa basınçta sabitlemiş ve numuneler 80 C’de ısıtılmış olan etüve yerleştirilerek 3,5 saat bekletilmiştir. İşlem sonunda test numuneleri PVC muşambadan ayrılmış ve gri skalada değerlendirilmiştir.

3.3.12. Asit ve alkali ter haslığı test metodu

Asit ve alkali ter haslık testi; ISO 105E04 standartlarına göre uygulanmıştır. Test numuneleri 40 x 100 mm boyutunda kesilip multifibre kumaş yzerine dikilmiştir. Test için hazırlanmış olan numuneler petri kabına yerleştirildikten sonra, pH 8 olan alkali çözeltisi 1:50 flote oranı ile petri kabına eklenmiştir. Çözelti oda sıcaklığında 30 dakika bekletildikten sonra dökülmüş ve test numunesinin nemi baget yardımı ile szlmştir. Akrilik plakalar arasına koyulan numune ve mulifibre kumaş 12,5 kPa basınçta sabitlenen perspirometre cihazına yerleştirilmiştir.

pH 8 de uygulanmış olan işlemler, sırası ile pH 5,5 olan çözelti için de uygulanmıştır.

İşlem devamında perspirometre cihazı 37±2 C’deki etüve konularak 4 saat bekletilmiştir. İşlem sonunda test numuneleri kurutulmuş ve gri skalada değerlendirilmiştir.

3.4. Termal Karakterizasyon Analizleri, Renk lmleri ve Mikroskop Görüntüleri

PET ve r-PET esaslı tüm test numunelerinde ısı kapasitesinin (Cp) sıcaklık ile olan değerimini ölçmek için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizi, molekül yapısındaki bağları tanımlamak için ise Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) analizi yapılmıştır.

3.4.1. FT-IR analizi

Test numunelerinin yapısal özelliklerini incelemek amacı ile FT-IR cihazı kullanılmıştır. Yapılan analiz Bruker Alpha II Spektrofotometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Analizde spektrum çözünürlüğü 2 cm^{-1} ve spektrum aralığı $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ 'dir. FT-IR cihazı ile PET ve r-PET kumaşlar arasındaki içyapı farklılıkları incelenmiştir.

3.4.2. DSC analizi

Çalışmada kullanılmış olan cihaz DSC 4000/Perkin Elmer olup, kullanılan gaz azot gazıdır. DSC programı 25 °C 'den 350 °C 'ye 5 °C/dk olarak çalıştırılmıştır. DSC analizi ile kumaşların erime noktaları ve kristalin/amorf bölgeleri arasındaki fark değerlendirilmiştir.

3.4.3. Renk ölçümleri

Renklendirilmiş olan kumaşlarda referans (orijinal okutma) olarak PET kumaşlara karşılık, r-PET kumaşların ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler 400 ile 700 nanometre aralığında Color iMatch cihazında yapılmıştır. Renk okutmaları terbiye işlemlerinin her aşamasında yapılmış olup PET ile r-PET kumaşların renk yönünden farklılıkları incelenmiştir.

3.4.4. Mikroskop görüntüleri

Ham kumaşlardan başlanılarak uygulanmış olan her terbiye işlemi sonunda liflerin görüntüleri Olympus ışık mikroskopunda alınmıştır.

Ayrıca Tip 3 ve Tip 4 kumaşların ham ve alkalizasyon işlemi sonrası görüntüleri Zeiss Evo 40 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı ile elde edilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmanın bu kısmında, terbiye işlemleri tamamlanmış Tip 1, Tip 2, Tip 3 ve Tip 4 kumaşlara uygulanmış olan test ve analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Çıkan sonuçlara göre PET ve r-PET kumaş performansı karşılaştırmalı olacak şekilde yorumlanmıştır. Bu bağlamda Tip 1 ile Tip 2 kumaşları kendi aralarında, Tip 3 ile Tip 4 kumaşları da kendi aralarında kıyaslanmıştır.

Sonuçlar neticesinde, r-PET kumaşın ticari olarak PET kumaş ile performans açısından aynı kullanım imkanını sunup sunmayacağı tartışılmıştır.

4.1. Tip 1, Tip 2, Tip 3 ve Tip 4 Kumaşlarına Uygulanmış Olan Testler ve Analizler

Kumaşlara yırtılma mukavemeti testi, kopma mukavemeti testi, Martindale abrazyon testi, Martindale pilling testi, yıkama çekmesi ve haslık testleri (ışık haslığı, yıkama haslığı, su haslığı, asit-alkali ter haslığı, yağ-kuru sürtme haslığı) yapılmıştır. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlara bu testlere ek olarak PVC haslığı testi de uygulanmıştır.

Bunlarla birlikte kumaşlara DSC analizi, FT-IR analizi ve spektrofotometre ile renk ölçümü uygulanmıştır. Ayrıca kumaşlara ait mikroskop görüntüleri, ışık mikroskobu (tüm kumaşlar için) ve SEM (Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar için) ile incelenmiştir.

Yırtılma ve kopma mukavemeti testleri, DSC analizi, FT-IR analizi, spektrofotometre ile renk ölçümleri kumaşlara terbiye işlemlerinin her aşamasında (ham, haşıl sökme işlemi yapılmış, alkalizasyon işlemi yapılmış, boyalı ve apreli kumaş) uygulanmıştır. Diğer testler Tip 1 ve Tip 2’de boyalı kumaşa, Tip 3 ve Tip 4’de ise apreli kumaşa uygulanmıştır.

4.2. Kumaşlara Uygulanmış Olan Test ve Analiz Sonuçları

4.2.1. Gramaj tayini sonuçları

Tip 1 ve Tip 2 kumaşlara ait gramaj tayini sonuçları Çizelge 4.1’de, kumaşlar arasındaki gramaj tayini farkının yüzdelik değişimi ise Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarda gramaj tayini sonuçları

	Ham Kumaş		Haşıl Sökme İşlemi Yapılmış Kumaş		Boyalı Kumaş	
	En (cm)	Gramaj (g/m ²)	En (cm)	Gramaj (g/m ²)	En (cm)	Gramaj (g/m ²)
Tip 1	170	190	152	217	156	234
Tip 2	168	189	151	214	155	230

Çizelge 4.2. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar arası gramaj tayini sonuçlarının yüzdelik değişimi

	Ham Kumaş	Haşıl Sökme İşlemi Yapılmış Kumaş	Boyalı Kumaş
	Gramaj farkı (%)	Gramaj farkı (%)	Gramaj farkı (%)
Tip 1- Tip 2	0,5	2	2

Tip 1 ve Tip 2 kumaşların ham hali incelendiğinde enleri arasında 2 cm'lik bir fark gözlemlenmiştir. Bu yaklaşık olarak %0,5'lik bir gramaj farkının olduğunu göstermektedir.

Haşıl sökme işlemi sonucunda kumaşların enleri arasındaki farkın 1 cm'ye düştüğü görülmüştür. Bu da Tip 1 kumaşın Tip 2 kumaşa göre %2'lik daha yüksek gramaja sahip olduğunu göstermiştir.

Kumaşların boyama işlemi sonundaki enleri ölçüldüğünde ise 1 cm'lik farkın korunduğu, Tip 1 kumaştaki %2'lik gramaj fazlalığının devam ettiği görülmüştür.

Boyalı kumaşlar arasında gözlemlenmiş olan gramaj farkının sebebinin ham kumaşlar arasındaki en farkı kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında haşıl sökme işlemi sonrası meydana gelen %1,5'lik gramaj artışının sebebinin Tip 1 kumaşın, Tip 2'ye

göre atkı ve çözgü ipliklerinin toplamasının/çekmesinin daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tip 1 kumaşa uygulanmış olan terbiye işlemleri incelendiğinde, gramajın ham kumaşa haşıl sökme işlemi uygulandığında %14 arttığı, haşıl sökme işlemi uygulanmış kumaşa boyama yapıldığında ise %7 arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde Tip 2 kumaşa uygulanmış olan terbiye işlemleri incelendiğinde ise artışın sırasıyla %13 ve %7 olduğu görülmüştür.

Kumaşlardaki bu gramaj artışının sebebinin 80 °C’de yapılan haşıl sökme işlemi sonrası uygulanmış olan boyama işleminin 130 °C’de yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan boyama işleminin sıcaklığı 130 °C olduğu için kumaş toplamaya devam etmiş ve gramaj artışı meydana gelmiştir.

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarına ait gramaj tayini sonuçları Çizelge 4.3’te ve kumaşlar arasındaki gramaj tayini farkının yüzdelerdeki değişimi ise Çizelge 4.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarda gramaj tayini sonuçları

	Ham Kumaş		Alkalizasyon İşlemi Yapılmış Kumaş		Boyalı Kumaş		Apreli Kumaş	
	En (cm)	Gramaj (g/m ²)	En (cm)	Gramaj (g/m ²)	En (cm)	Gramaj (g/m ²)	En (cm)	Gramaj (g/m ²)
Tip 3	168	76	148	78	150	77	152	77
Tip 4	168	75	148	77	150	75	152	75

Çizelge 4.4. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar arası gramaj tayini sonuçlarının yüzdelik değişimi

	Ham Kumaş	Alkalizasyon İşlemi Yapılmış Kumaş	Boyalı Kumaş	Apreli Kumaş
	Gramaj farkı (%)	Gramaj farkı (%)	Gramaj farkı (%)	Gramaj farkı (%)
Tip 3- Tip 4	1,3	1,3	2,6	2,6

Tip 3 ve Tip 4 kumaşların ham hali incelendiğinde; enleri arasında fark olmadığı bununla birlikte Tip 3 kumaşın, Tip 4 kumaşa göre %1,3'lük gramaj fazlalığının olduğu görülmüştür.

Alkalizasyon işleminin 110 °C'de yapılmasının bir sonucu olarak kumaşlarda atkı ipliklerinde meydana gelen toplama/çekme sonucu her iki kumaşın da enlerinde aynı miktarda toplama gözlemlenmiştir. Gramaj olarak ise kumaşlar arasında başlangıçtaki (ham hallerindeki) gramaj farkı korunmuş ve %1,3 olarak ölçülmüştür.

Uygulanan boyama işlemi sonrası her iki kumaşın eni ramözde 150 cm'ye ayarlanarak kurutulmuştur. Kumaşlar arasındaki gramaj farkı %1,3 artarak %2,6'ya yükselmiştir. Buradaki artışın sebebinin ise 130 °C'de Tip 3 kumaşın, Tip 4 kumaşına göre atkı ve çözgü ipliklerinin boyama makinesi içinde oluşan mekanik etki ve yüksek sıcaklık ile daha fazla toplayarak gramajı yükseltmesi olduğu düşünülmektedir.

Son olarak uygulanan apre işlemi esnasında ise kumaşların eni ramözde 152 cm'ye ayarlanmış ve işlem sonunda her iki kumaş 152 cm olarak ölçülmüştür. Boyama sonrası ölçülmüş olan gramaj farkı apre işlemi sonrasında da aynı oranda korunmuş, sonuç olarak Tip 3 kumaşa, Tip 4 kumaşa göre %2,6'lık bir gramaj fazlalığı gözlemlenmiştir.

Alkalizasyon işleminde kumaşı oluşturan PET liflerinde yüzey soyma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durumun gramajda düşüş meydana getirmesi beklenirken ipliklerin toplaması sonucu gramajda ham kumaşa kıyas ile artış meydana gelmiştir.

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlara uygulanmış olan terbiye işlemleri kendi içinde incelendiğinde, Tip 3 kumaşta gramajın, ham kumaşa alkalizasyon işlemi uygulandığında %2,5 arttığı, alkalizasyon işlemi uygulanmış kumaşa boyama uygulandığında %1,3 azaldığı, son olarak boyalı kumaşa apre işlemi uygulandığında ise değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte Tip 4 kumaşta ise gramajın sırasıyla %2,6 arttığı, %2,6 azaldığı ve değişim göstermediği görülmüştür. Apre işlemi sırasında ramözde kumaşların eni 2 cm açılmasına rağmen gramajda bir azalma meydana gelmemiştir. Bunun sebebi olarak apre malzemesinin kumaş yüzeyine tutunması ve gramajda düşüşü önlemesi gösterilebilir.

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar arasında aynı iplik numarasına sahip atkı ve çözgü iplikleri kullanıldığı halde ham kumaşlarda gözlemlenmiş olan gramaj farkı mamul kumaşlar üzerinde de gözlemlenmiştir.

4.2.2. Yırtılma mukavemeti test sonuçları

Kumaşlara uygulanmış olan yırtılma mukavemeti test sonuçlarının Newton (N) cinsinden değerleri Çizelge 4.5'te, kumaşlar arasındaki yırtılma mukavemeti sonuçlarının yüzdelerik değişimi ise Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarda yırtılma mukavemeti test sonuçları

	Ham Kumaş		Haşıl Sökme İşlemi Yapılmış Kumaş		Boyalı Kumaş	
	Çözgü (N)	Atkı (N)	Çözgü (N)	Atkı (N)	Çözgü (N)	Atkı (N)
Tip 1	50,9	37,9	51,8	38,3	52,9	36,6
Tip 2	50,8	36,2	51,6	36,2	51,2	34,5

Çizelge 4.6. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar arası yırtılma mukavemeti sonuçlarının yüzdelerik değişimi

	Ham Kumaş		Haşıl Sökme İşlemi Yapılmış Kumaş		Boyalı Kumaş	
	Çözümlü farkı (%)	Atkı farkı (%)	Çözümlü farkı (%)	Atkı farkı (%)	Çözümlü farkı (%)	Atkı farkı (%)
Tip 1- Tip 2	1,2	4,5	1,4	5,5	3,2	5,7

Ham kumaşlar incelendiğinde Tip 1 kumaşın çözümlü yırtılma mukavemetinin Tip 2 kumaştan %1,2 daha yüksek değere, atkı yırtılma mukavemetinin ise %4,5'lik daha yüksek değere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Haşıl sökme işlemi sonrası kumaşlar arası çözümlü yırtılma mukavemeti değeri arasındaki fark yaklaşık %0,2 artmış, atkı yırtılma mukavemeti değeri arasındaki fark ise %1 artarak Tip 1 kumaşın mukavemeti, Tip 2 kumaşa göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır.

Boyama işlemi sonrasında ise kumaşlar arasındaki çözümlü yırtılma mukavemeti değeri, haşıl sökme işlemi yapılmış kumaştaki çözümlü yırtılma mukavemeti değerine göre %1,8'lik bir artış göstermiştir. Böylece boyama işlemi sonucunda Tip 1 kumaşın çözümlü yırtılma mukavemetinin, Tip 2 kumaştan %3,2'lik bir fark ile daha yüksek değerler verdiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde atkı yırtılma mukavemeti değeri ise %0,2'lik bir artış göstermiş ve Tip 1 kumaşın atkı yırtılma mukavemetinin, Tip 2 kumaşın atkı yırtılma mukavemetinden %5,7'lik bir fark ile daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kumaşlara uygulanmış olan terbiye işlemleri kendi içinde değerlendirilecek olursa, Tip 1 kumaşta çözümlü yırtılma mukavemeti değerinde ham kumaştan haşıl sökme işlemi uygulanmış kumaşa geçişte %1,7'lik bir artış, haşıl sökme işlemi uygulanmış kumaştan boyalı kumaşa geçişte ise %2,1'lik bir artış gözlemlenmiştir. Tip 2 kumaş ise çözümlü yırtılma mukavemeti açısından sırasıyla %1,5'lik bir artış ve %0,7'lik bir düşüş göstermiştir. Bununla birlikte Tip 1 kumaşta atkı yırtılma mukavemeti açısından sırasıyla uygulanan işlem basamaklarında %1'lik bir artış ve %5'lik bir düşüş gözlenmiş, Tip 2

kumaşta haşıl sökme işlemi sonucu bir değişiklik olmazken boyama işlemi sonucunda %4,7'lik bir düşüş gözlenmiştir.

Boyama işlemi, haşıl sökme işleminden daha yüksek bir sıcaklık olan 130 °C'de yapılmaktadır. Böylece kumaşlarda atkı ve çözgü yönünde bir miktar daha toplama/çekme meydana gelmekte ve kumaş sıklığında da bir artış yaşanmaktadır. Tüm bunlar mamul kumaşlarda meydana gelen çözgü mukavemeti değerindeki yükselmenin sebebi olarak gösterilebilir.

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlara uygulanmış olan yırtılma mukavemeti test sonuçları izelge 4.7'de, kumaşlar arasındaki yırtılma mukavemeti sonuçlarının yüzdelik değişimi ise izelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarda yırtılma mukavemeti test sonuçları

	Ham Kumaş		Alkalizasyon İşlemi Yapılmış Kumaş		Boyalı Kumaş		Apreli Kumaş	
	zg (N)	Atkı (N)	zg (N)	Atkı (N)	zg (N)	Atkı (N)	zg (N)	Atkı (N)
Tip 3	26,3	21,5	22,6	18,5	21,5	18,4	23,3	19,4
Tip 4	25,5	20,5	20,4	17,5	20	17,3	21	18

Çizelge 4.8. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar arası yırtılma mukavemeti sonuçlarının yüzdelik değişimi

	Ham Kumaş		Alkalizasyon İşlemi Yapılmış Kumaş		Boyalı Kumaş		Apreli Kumaş	
	zg farkı (%)	Atkı farkı (%)	zg farkı (%)	Atkı farkı (%)	zg farkı (%)	Atkı farkı (%)	zg farkı (%)	Atkı farkı (%)
Tip 3- Tip 4	3	4,5	9,8	5,4	6,9	5,9	9,9	7,2

Ham kumaşlar yırtılma mukavemeti yönünden incelendiğinde, kumaşlar arasında çözgü yırtılma mukavemetinin Tip 3 kumaşta, Tip 4 kumaşa göre %3 daha yüksek değerde olduğu, atkı yırtılma mukavemetinin ise %4,5 daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür.

Alkalizasyon işlemi sonrasında her iki kumaşın yırtılma mukavemetinde düşüş gözlemlenmiştir. Ancak Tip 3 kumaş çözgü yırtılma mukavemeti değerinin, Tip 4 kumaştan %9,8 daha yüksek, atkı yırtılma mukavemeti değerinin ise %5,4 daha yüksek olduğu görülmüştür. Alkali işlem sonucunda r-PET olan Tip 4 kumaşın yırtılma mukavemeti dayanımının, PET olan Tip 3 kumaşından daha düşük olduğu söylenebilir.

Boyanmış olan Tip3 ve Tip 4 kumaşlarda hem çözgü hem de atkı yırtılma mukavemeti değerlerinde bir düşüş gözlenmiştir. Buna rağmen Tip 3 kumaşın, Tip 4 kumaşından çözgü yırtılma mukavemeti değeri %6,9, atkı yırtılma mukavemeti değeri ise %5,9 olarak daha yüksek sonuçlar göstermiştir.

Son olarak apreli kumaşlarda, Tip 3 kumaşın çözgü yırtılma mukavemeti değerinin, Tip 4 kumaştan %9,9 daha yüksek olduğu, atkı yırtılma mukavemeti değerinin ise %7,2 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Terbiye işlemleri uygulanan kumaşlar kendi içerisinde değerlendirildiğinde, Tip 3 kumaşta çözgü yırtılma mukavemeti değeri ham kumaşa alkalizasyon işlemi uygulandığında %14 azalış gösterirken, boyama işlemi uygulandığında %4,9'luk bir azalış göstermiştir. Son olarak apre işlemi uygulanan kumaş ise boyalı kumaşa göre %8,4'lük bir artış göstermiştir. Tip 4 kumaştaki çözgü yırtılma mukavemeti değerinde ise sırasıyla %20 azalış, %1,9'luk azalış ve %5'lik bir artış söz konusu olmuştur. Atkı yırtılma mukavemeti değeri Tip 3 kumaş için ham kumaşa alkalizasyon işlemi uygulandığında %14 azalmış, alkalizasyon işlemi yapılmış kumaş boyandığında %0,5 azalmış son olarak boyalı kumaşa apre işlemi uygulandığında ise %4,9 artmıştır. Tip 4 kumaş ise sırasıyla %14,6 azalış, %1,2 azalış ve %5,8 artış göstermiştir.

Alkalizasyon işlemi ile PET liflerinde yüzey soyma işlemi sonrası her iki kumaşta da beklenildiği üzere mukavemet değerlerinde düşüşler gözlemlenmiştir. Ancak burada r-PET kumaşın çözgü mukavemeti değeri, belirgin bir şekilde PET kumaştan daha yüksek

bir düşüş yaşamıştır. Bu duruma rağmen kullanım alanı itibari ile her iki kumaşta da yırtılma mukavemeti performansı yeterli seviyedir.

Apré işleminin sonrası kumaşlarda yırtılma mukavemeti değerinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi apré malzemesi olarak kullanılmış olan makro silikonun kumaşın yüzey boşluklarını doldurarak kumaş yüzeyinde hacimli ve esnek bir yapı oluşturmasıdır. Kumaşın ve dolayısıyla liflerin yüzeyinde oluşan bu esnekliğin test değerlerine pozitif yönde bir yansımada bulunduğu gözlemlenmektedir.

Yırtılma mukavemeti değeri yönünden PET ve r-PET kumaşlar arasında performansı etkileyecek bir fark gözlemlenmemiştir.

4.2.3. Kopma mukavemeti test sonuçları

Tip 1 ve Tip 2 kumaşlara uygulanmış olan kopma mukavemeti test sonuçları Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar arası kopma mukavemeti sonuçlarının yüzdelik değişimleri ise Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarda kopma mukavemeti test sonuçları

	Ham Kumaş		Haşıl Sökme İşlemi Yapılmış Kumaş		Boyalı Kumaş	
	Çözümlü (N)	Atkı (N)	Çözümlü (N)	Atkı (N)	Çözümlü (N)	Atkı (N)
Tip 1	1937,5	1292,5	1916,5	1244	1890,5	1222
Tip 2	1928,5	1205,5	1912	1153	1835,5	1122

Çizelge 4.10. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar arası kopma mukavemeti sonuçlarının yüzdellik değişimi

	Ham Kumaş		Haşıl Sökme İşlemi Yapılmış Kumaş		Boyalı Kumaş	
	Çözgü farkı (%)	Atkı farkı (%)	Çözgü farkı (%)	Atkı farkı (%)	Çözgü farkı (%)	Atkı farkı (%)
Tip 1- Tip 2	0,4	6,7	0,2	7,3	2,9	8,2

İncelenen ham kumaşlarda Tip 1 kumaşın çözgü yönündeki kopma mukavemeti değerinin Tip 2 kumaştan %0,4 daha fazla olduğu, atkı yönündeki kopma mukavemeti değerinin ise %6,7 daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı iplik numarasına sahip olan atkı ve çözgü iplikleri kullanıldığı göz önüne alındığında oluşan bu farkın sebebinin r-PET ipliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kumaşlara haşıl sökme işlemi uygulandığında her iki kumaşta da hem atkı kopma mukavemeti değerinde hem de çözgü kopma mukavemeti değerinde düşüşler gözlenmiştir. Kumaşlar arası ikili karşılaştırmalara bakıldığında ise Tip1 kumaşın, Tip 2 kumaştan çözgü kopma mukavemeti değerinin %0,2, atkı kopma mukavemeti değerinin ise %7,3 daha fazla olduğu görülmüştür. Burada gözlemlenen Tip 2 kumaştaki kopma mukavemeti düşüşü ham kumaşlar arasında gözlemlenen düşüş ile benzer değerlere sahip olduğu için temel sebebin ham kumaş kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Boyama işlemi sonrasında da kumaşlardaki atkı ve çözgü kopma mukavemetindeki düşüş devam etmiştir. Gruplar arası ikili karşılaştırmalara bakıldığında ise Tip1 kumaşın Tip 2 kumaştan çözgü kopma mukavemeti değerinin %2,9 daha yüksek olduğu atkı kopma mukavemetinin ise %8,2 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kumaşlara uygulanmış olan terbiye işlemleri kendi içlerinde değerlendirildiğinde, Tip 1 kumaş için çözgü kopma mukavemeti değerinin, ham kumaşa uygulanan haşıl sökme işlemi sonucu %1,1 azaldığı, haşıl sökme işlemi uygulanan kumaş boyandığında ise %1,4 azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde Tip 2 kumaşta da uygulanan haşıl söküm işlemi çözgü

kopma mukavemeti değerinde %0,9 bir dūŖiŖe sebep olurken boyama iŖlemi %4'lük bir değer kaybına sebebiyet vermiŖtir. KumaŖların atkı kopma mukavemeti değerleri incelendiğinde Tip 1 kumaŖta haŖıl sōküm iŖlemi sonucunda %3,7'lik bir kayıp izlenirken boyama iŖlemi sonucu bu kaybın %1,8 olduğu gōr÷lmüŖtür. Aynı Ŗekilde Tip 2 kumaŖı için değerlerde sırasıyla %4,4 ve %2,6 kayıp olduğu gōr÷lmüŖtür.

Tip 1 ve Tip 2 kumaŖlara ait sonuçlar incelendiğinde her iki kumaŖ terbiye iŖlemleri sonunda birbirine yakın performans gōstermektedir.

Tip 3 ve Tip 4 kumaŖlara uygulanmıŖ olan kopma mukavemeti test sonuçları izelge 4.11'de gōsterilmiŖtir. KumaŖlar arası kopma mukavemeti sonuçlarının y÷zdelik deęiŖimi izelge 4.12'de verilmiŖtir.

Çizelge 4.11. Tip 3 ve Tip 4 kumaŖlarda kopma mukavemeti test sonuçları

	Ham KumaŖ		Alkalizasyon İŖlemi YapılmıŖ KumaŖ		Boyalı KumaŖ		Apreli KumaŖ	
	ōzğ÷ (N)	Atkı (N)	ōzğ÷ (N)	Atkı (N)	ōzğ÷ (N)	Atkı (N)	ōzğ÷ (N)	Atkı (N)
Tip 3	490,4	390,2	395,6	322,6	390,8	317,2	394,2	315,2
Tip 4	478,2	375,4	383,3	311,5	380,4	310,4	380,7	310,3

Çizelge 4.12. Tip 3 ve Tip 4 kumaŖlar arası kopma mukavemeti sonuçlarının y÷zdelik deęiŖimi

	Ham KumaŖ		Alkalizasyon İŖlemi YapılmıŖ KumaŖ		Boyalı KumaŖ		Apreli KumaŖ	
	ōzğ÷ farkı (%)	Atkı farkı (%)	ōzğ÷ farkı (%)	Atkı farkı (%)	ōzğ÷ farkı (%)	Atkı farkı (%)	ōzğ÷ farkı (%)	Atkı farkı (%)
Tip 3- Tip4	2,5	3,8	3,1	3,4	2,6	2,1	3,4	1,6

Ham kumaşlar incelendiğinde Tip 3 kumaşın çözgü yönündeki kopma mukavemeti değerinin Tip 4 kumaştan %2,5'lik, atkı yönündeki kopma mukavemeti değerinin ise %3,8'lik daha yüksek test sonuçlarına sahip olduğu görülmüştür.

Kumaşlara alkalizasyon işlemi uygulandıktan sonra her iki kumaşta da kopma mukavemeti değerlerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte Tip 3 kumaşın Tip 4 kumaştan çözgü yönündeki kopma mukavemeti değerinin %3,1, atkı yönündeki kopma mukavemeti değerinin ise %3,4 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Boyama işlemi sonrası kumaşlar kıyaslandığında Tip 3 kumaşın, Tip 4 kumaşa göre çözgü yönündeki kopma mukavemeti değerinin %2,6, atkı yönünde kopma mukavemeti değerinin ise %2,1 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Uygulanan apre işlemi ile birlikte kumaşların kopma mukavemetleri değerlendirildiğinde Tip 3 kumaşın kopma mukavemeti değerinin çözgü yönünde %3,4, atkı yönünde ise %1,6 daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kumaşlar birbirinden bağımsız olarak kendi içlerinde değerlendirildiğinde ise Tip 3 kumaşta çözgü yönündeki kopma mukavemeti değerlerinde alkalizasyon işlemi sonucu %19, boyama işlemi sonucu %1,2 azalma olduğu, son olarak uygulanan apre işlemi sonucunda ise %0,9 artış olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde Tip 4 kumaş için çözgü yönündeki kopma mukavemeti değerinde uygulanan işlem basamaklarında sırasıyla %20 azalma, %0,8 azalma ve %0,07 artış görülmüştür. Aynı değerlerin atkı yönünde incelenmesi yapıldığında ise Tip 3 kumaşta alkalizasyon işlemi sonucu %17 oranında, boyama işlemi sonucu %1,7 oranında ve apre işlemi sonucunda ise %0,63 oranında azaldığı görülmüştür. Tip 4 kumaş için atkı yönündeki kopma mukavemetinde terbiye işlemleri sonucu sırasıyla %17, %0,4 ve %0,03 oranında bir azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Kumaşların mamul hallerindeki değerleri ham hallerine göre düşüş gösterse de ticari olarak değerlendirildiğinde belirli standartların üzerinde olduğu görülmektedir. Bu değerlerin düşüşü performans açısından olumsuz bir durum oluşturmamaktadır.

4.2.4. Mamul kumaşlar üzerine uygulanmış olan testlerin sonuçları

Boyama işlemi tamamlanmış Tip 1 ve Tip 2 kumaşlara uygulanmış olan testlere ait sonuçlar Çizelge 4.13'te, apre işlemi tamamlanmış Tip 3 ve Tip 4 kumaşlara uygulanmış olan testlere ait sonuçlar ise Çizelge 4.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Tip 1 ve Tip 2 mamul kumaşlar üzerine uygulanmış olan testlerin sonuçları

Mamul Testleri	Tip 1		Tip 2	
Martindale Aşınma Testi	20000 devirde 3 kopma		20000 devirde 3 kopma	
Martindale Pilling Testi	4-5		4-5	
Işık Haslığı	4		3/4	
Yıkama Haslığı	4/5		4/5	
Su Haslığı	4/5		4/5	
PVC Haslığı	3/4		3/4	
Asit Ter Haslığı	4/5		4/5	
Alkali Ter Haslığı	4/5		4/5	
Sürtme Haslığı	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru
	4	4/5	4	4/5
Yıkama Çekmesi	Atkı	Çözüğü	Atkı	Çözüğü
	0 %	-0,5 %	0 %	-0,25 %

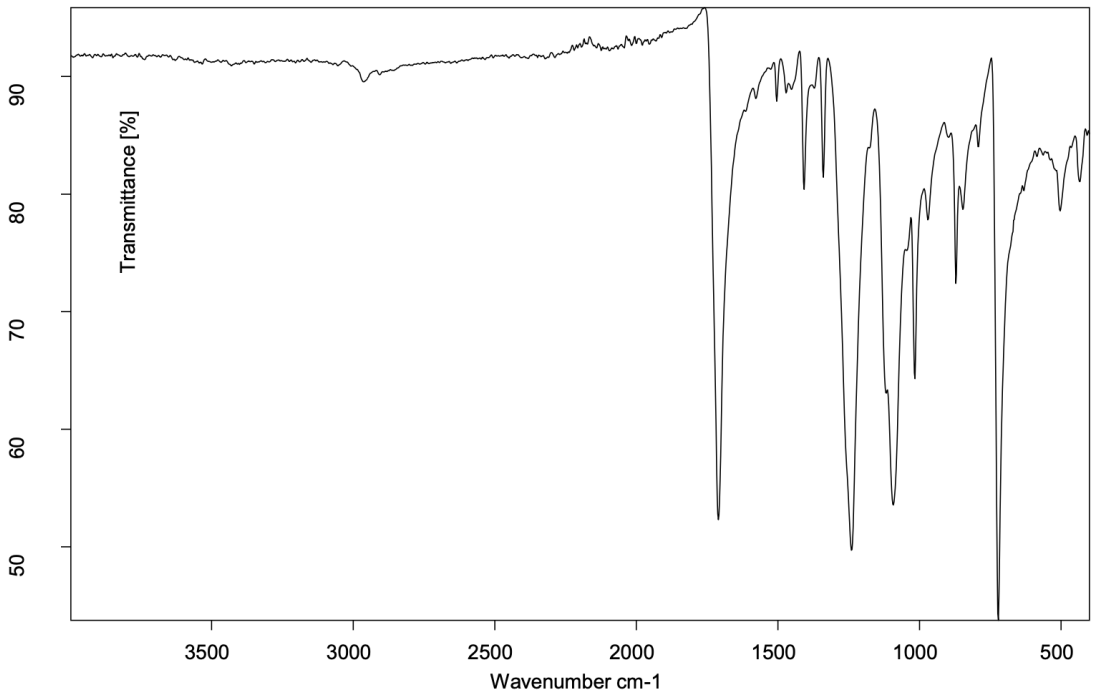
Çizelge 4.14. Tip 3 ve Tip 4 mamul kumaşlar üzerine uygulanmış olan testlerin sonuçları

Mamul Testleri	Tip 3		Tip 4	
Martindale Aşınma Testi	12000 devirde çoklu kopma		12000 devirde çoklu kopma	
Martindale Pilling Testi	4		4	
Işık Haslığı	4/5		4	
Yıkama Haslığı	4/5		4/5	
Su Haslığı	4/5		4/5	
Asit Ter Haslığı	4/5		4/5	
Alkali Ter Haslığı	4/5		4/5	
Sürtme Haslığı	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru
	4	4/5	4	4/5
Yıkama Çekmesi	Atkı	Çözüğü	Atkı	Çözüğü
	-0,5 %	-0,5 %	-0,5 %	-0,5 %

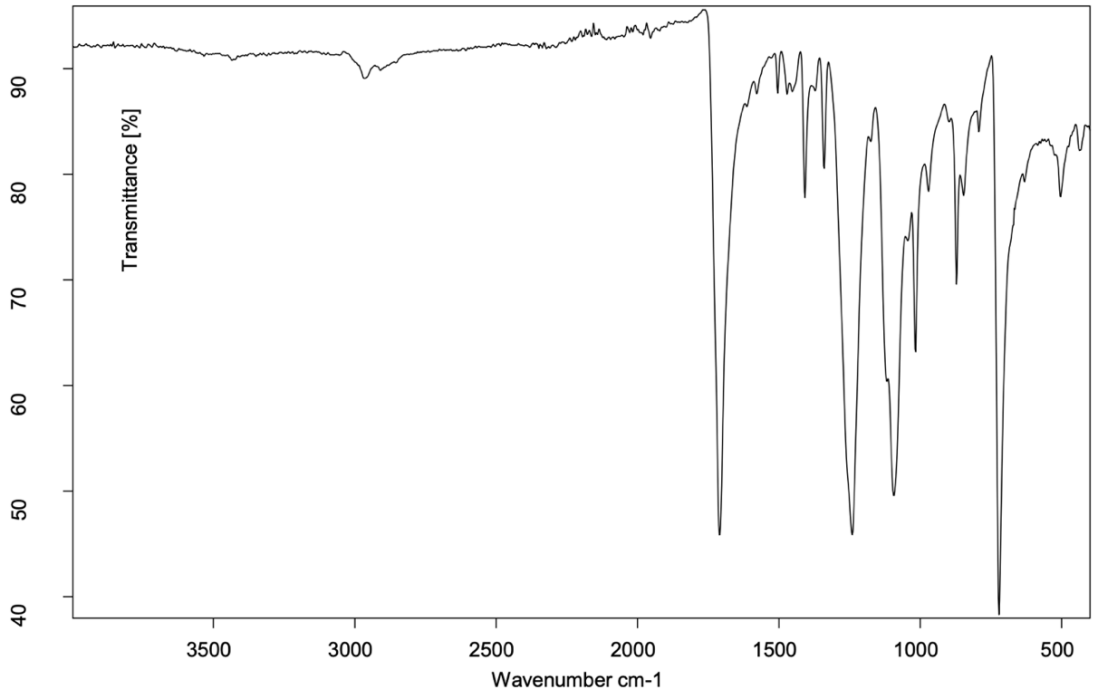
Mamul kumaş üzerine yapılmış olan testlerde Tip 1 ve Tip 2 kumaşları arasında ürün performansını olumsuz etkileyecek bir fark gözlemlenmemiştir. Aynı şekilde Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarda da ürün performansının benzer olduğu sonucuna varılmıştır. PET ve r-PET kumaşlar ışık haslığı değeri hariç birbiri ile benzer sonuçlar vermiştir.

4.2.5. FT-IR analizi sonuçları

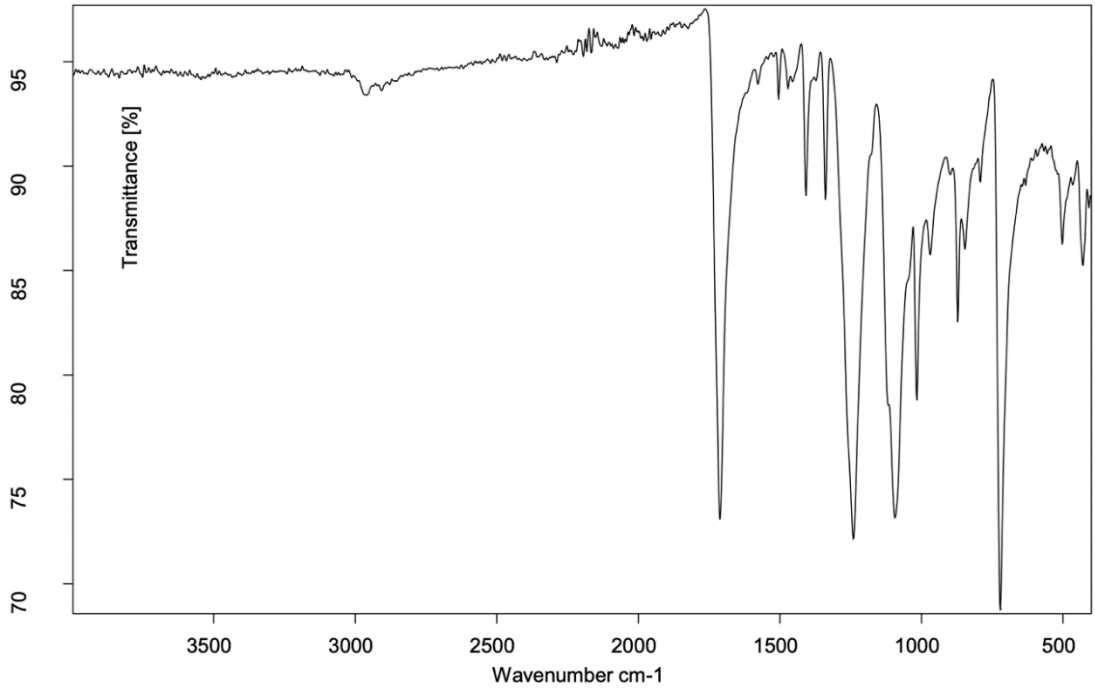
Ham kumaşlar üzerine uygulanmış olan FT-IR analizi sonuçları Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



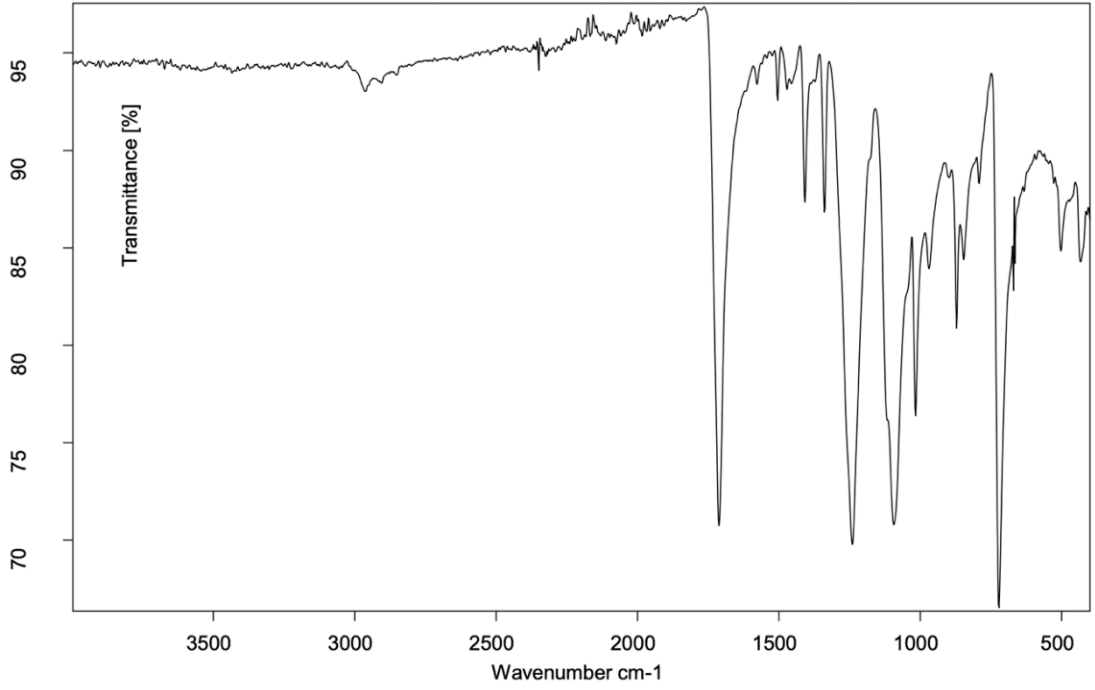
Şekil 4.1. Tip 1 kumaşın FT-IR analizi sonucu



Şekil 4.2. Tip 2 kumaşın FT-IR analizi sonucu



Şekil 4.3. Tip 3 kumaşın FT-IR analizi sonucu



Şekil 4.4. Tip 4 kumaşın FT-IR analizi sonucu

FT-IR analiz sonuçları neticesinde, 600-1250 dalga boyu aralığı titreşim bölgesini, 1310-1085 dalga boyu aralığı C-O bağlarını, 1675-1500 dalga boyu aralığı çift bağlarını (C=C, C=N vb.), 1900-1650 dalga boyu aralığı C=O bağlarının gerilmesini, 2260-2150 arası dalga boyu üçlü bağları ve 3000-2700 dalga boyu aralığı ise -C-H bağları arası gerilmeyi tanımlamaktadır.

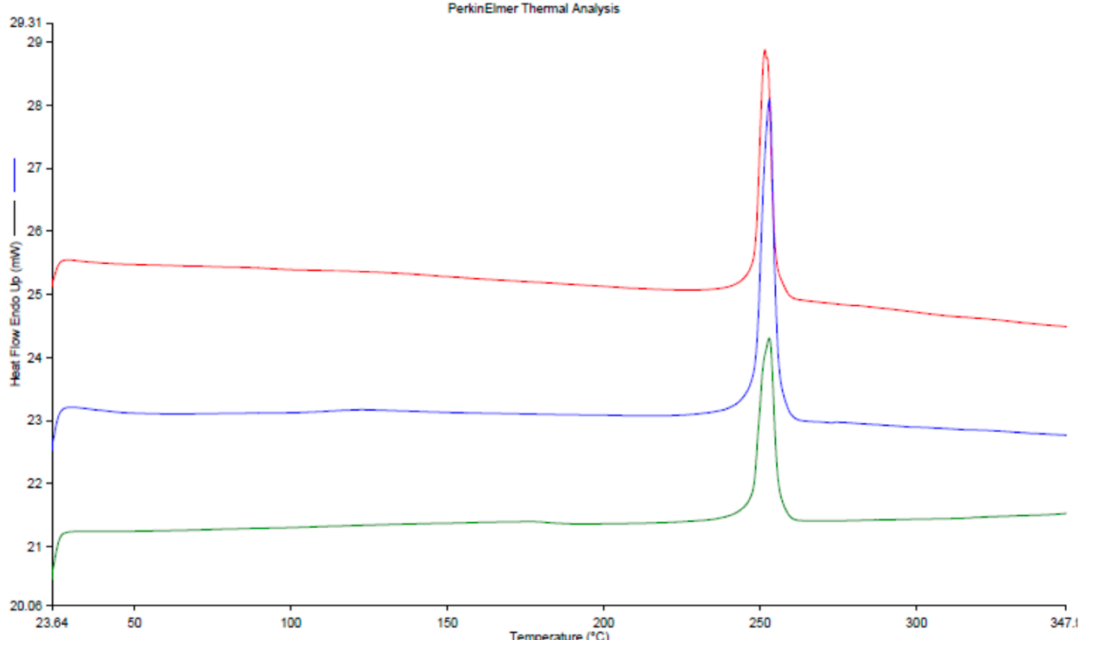
FT-IR analizi sonuçları incelendiğinde, PET ve r-PET kumaşlar arasında içerdikleri fonksiyonel gruplar bakımından önemli bir değişim gözlemlenmemiştir.

4.2.6. DSC analizi sonuçları

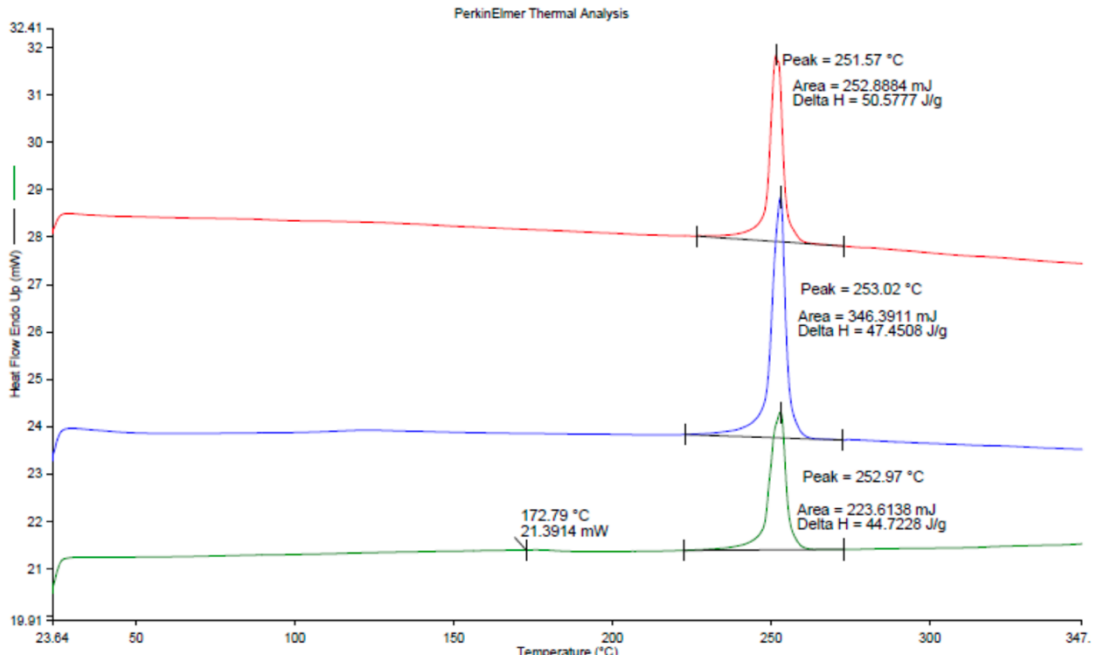
Kumaşlara uygulanmış olan DSC analizleri sonuçları bu bölümde verilmektedir.

Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar için yapılan analizde, kırmızı renkli pik ham kumaşı, lacivert renkli pik haşıl sökme işlemi yapılmış kumaşı ve yeşil renkli pik boyalı kumaşı göstermektedir.

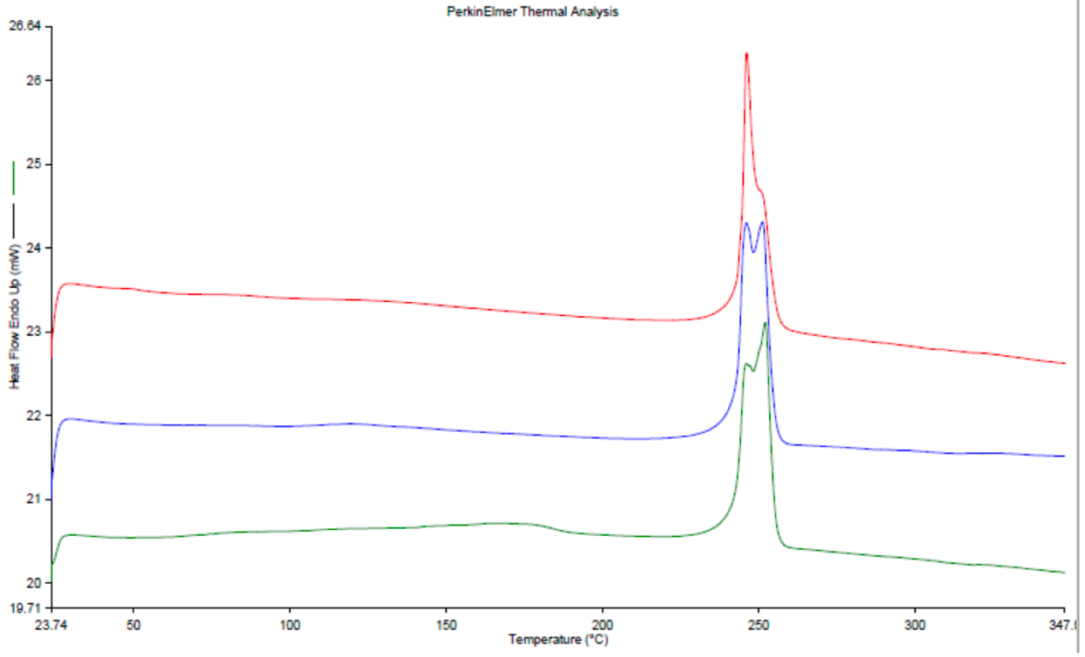
Tip 1 ve Tip 2 kumaşlar için terbiye işlemlerinin gerçekleşmiş olduğu her aşamaya ait DSC analizi grafikleri Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



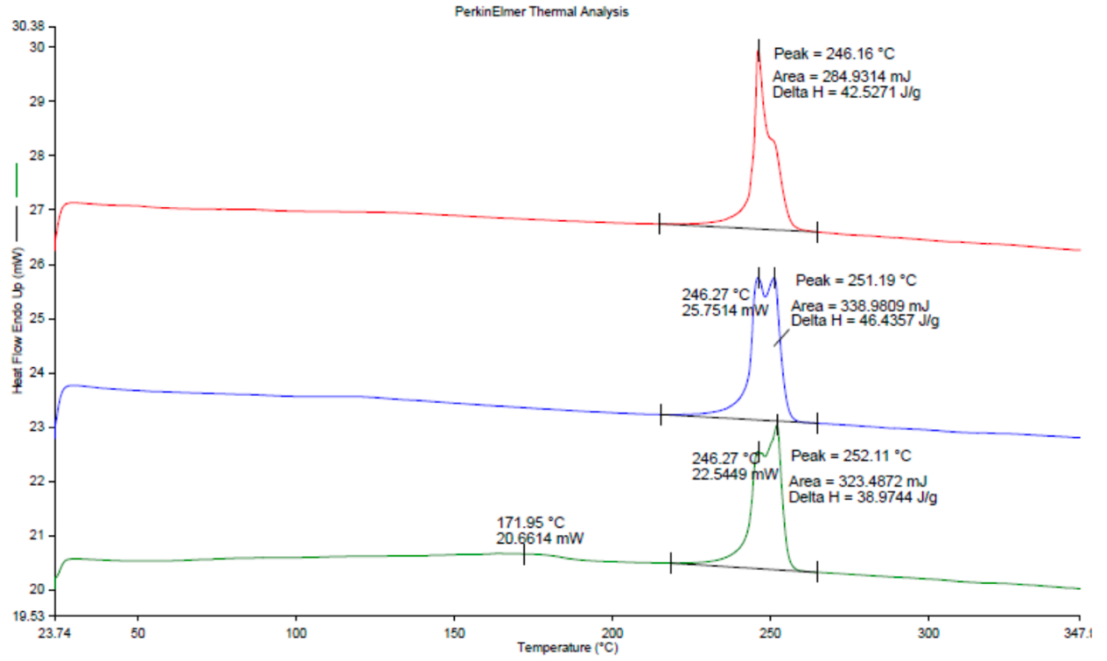
Şekil 4.5. Tip 1 kumaşın DSC analizi grafiği



Şekil 4.6. Tip 1 kumaşın DSC analizi pik değerleri



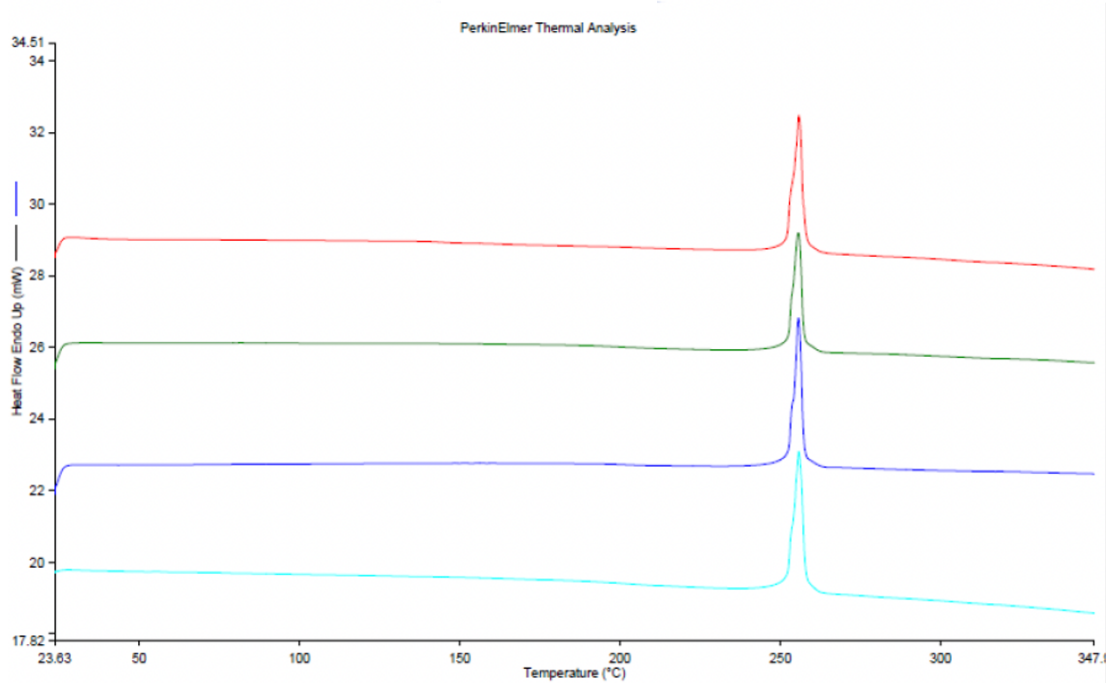
Şekil 4.7. Tip 2 kumaşın DSC analizi grafiği



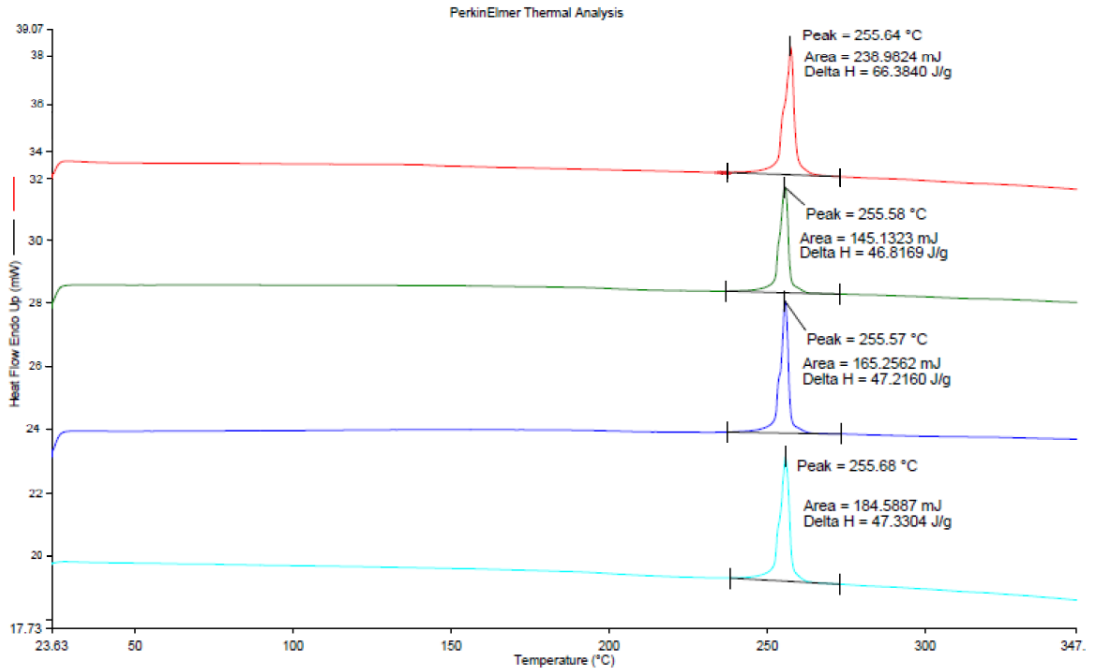
Şekil 4.8. Tip 2 kumaşın DSC analizi pik değerleri

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar için yapılan analizde, kırmızı renkli pik ham kumaşı, lacivert renkli pik alkalizasyon işlemi yapılmış kumaşı, yeşil renkli pik boyalı kumaşı ve turkuaz renkli pik apreli kumaşı göstermektedir.

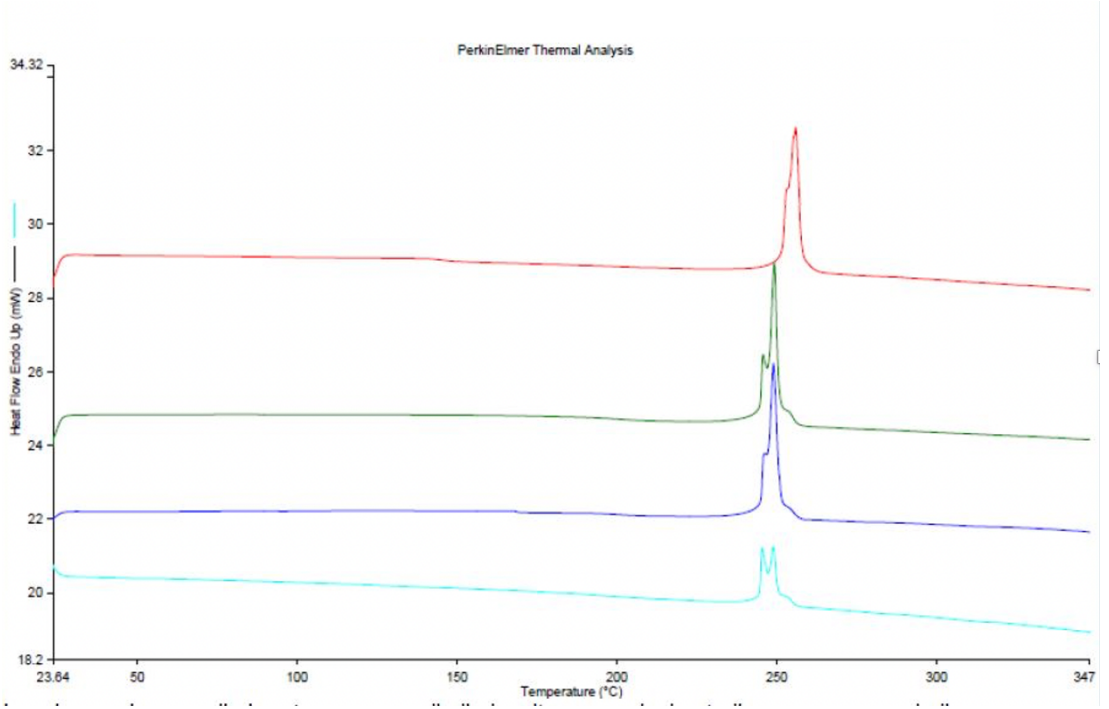
Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar için terbiye işlemlerinin gerçekleşmiş olduğu her aşamaya ait DSC analizi grafikleri Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



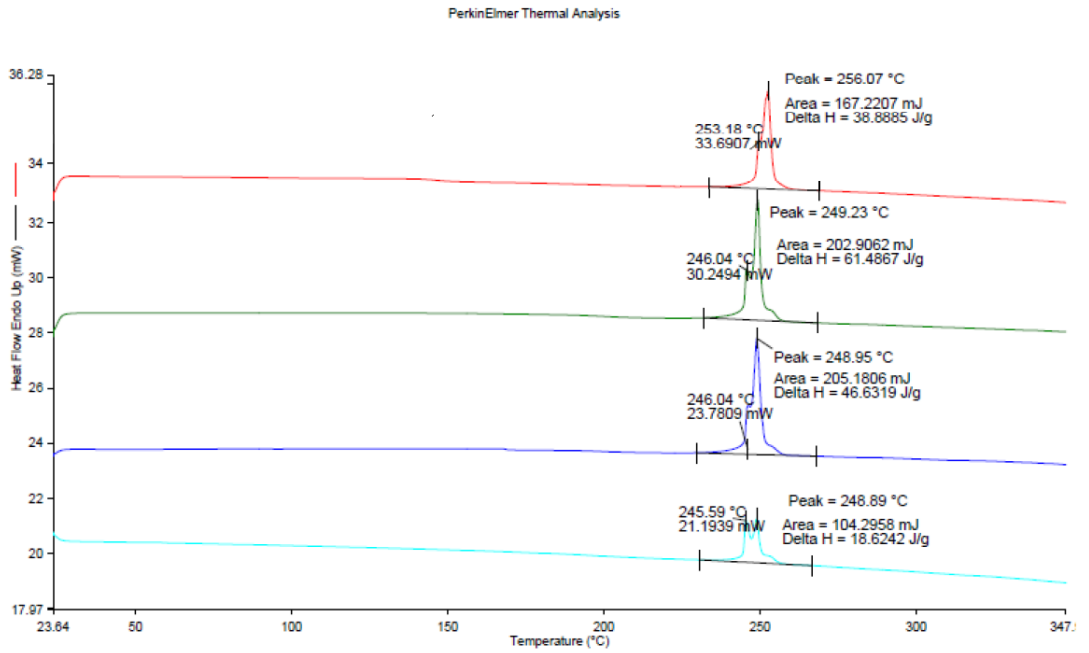
Şekil 4.9. Tip 3 kumaşın DSC analizi grafiği



Şekil 4.10. Tip 3 kumaşın DSC analizi pik değerleri



Şekil 4.11. Tip 4 kumaşın DSC analizi grafiği



Şekil 4.12. Tip 4 kumaşın DSC analizi pik değerleri

DSC analizlerine ait sonuçlar Çizelge 4.15, Çizelge 4.16, Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Tip 1 kumaşın DSC analiz sonuçları

Tip 1 Kumaş	Ham Kumaş	Haşıl Sökme İşlemi Yapılmış Kumaş	Boyalı Kumaş
Erime Noktası (°C)	251,57	253,02	252,97
Ön Erime Sıcaklığı (°C)	-	-	-
Erime Enerjisi (j/kg)	50,57	47,45	44,72
Kristalin / Amorf Bölge Oranı	36,10/63,90	33,87/66,13	31,92/68,08

Çizelge 4.16. Tip 2 kumaşın DSC analiz sonuçları

Tip 2 Kumaş	Ham Kumaş	Haşıl Sökme İşlemi Yapılmış Kumaş	Boyalı Kumaş
Erime Noktası (°C)	246,16	251,19	252,11
Ön Erime Sıcaklığı (°C)	-	246,27	246,27
Erime Enerjisi (j/kg)	42,52	46,43	38,97
Kristalin / Amorf Bölge Oranı	30,35/69,65	33,14/66,86	27,82/72,18

Çizelge 4.17. Tip 3 kumaşın DSC analiz sonuçları

Tip 3 Kumaş	Ham Kumaş	Alkalizasyon İşlemi Yapılmış Kumaş	Boyalı Kumaş	Apreli Kumaş
Erime Noktası (°C)	255,64	255,57	255,58	255,68
Ön Erime Sıcaklığı (°C)	-	-	-	-
Erime Enerjisi (j/kg)	66,38	47,21	47,81	47,33
Kristalin / Amorf Bölge Oranı	47,38/52,62	33,70/66,3	33,42/66,58	33,78/66,22

Çizelge 4.18. Tip 4 kumaşın DSC analiz sonuçları

Tip 4 Kumaş	Ham Kumaş	Alkalizasyon İşlemi Yapılmış Kumaş	Boyalı Kumaş	Apreli Kumaş
Erime Noktası (°C)	256,07	248,95	249,23	248,89
Ön Erime Sıcaklığı (°C)	253,18	246,04	246,04	245,59
Erime Enerjisi (j/kg)	38,88	46,63	61,48	18,62
Kristalin / Amorf Bölge Oranı	27,75/72,25	33,28/66,72	43,88/56,12	13,29/86,71

DSC analizine ait grafiklerde r-PET kumaşlarda, PET kumaşlardan farklı olarak ekstra bir eğilme bulunmaktadır. Grafiklerde görülen bu eğilme ön erime sıcaklığı olarak tanımlanmakta ve malzemenin kristalin/amorf bölge yapısında yaşanan değişimlerden kaynaklanmaktadır.

PET ve r-PET kumaşlara ait yapılmış olan DSC analizi sonuçları (bkz. Çizelge 4.15, Çizelge 4.16, Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18) incelenecek olunursa çalışmada kullanmış olduğumuz r-PET kumaşların yapısının PET kumaşlara kıyas ile daha amorf bir yapıda olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. Bu teori kumaşlara ait olan renk ölçümleri ile de desteklenmektedir.

4.2.7. Renk ölçüm sonuçları

Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarına ait renk ölçüm sonuçları Çizelge 4.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarının renk ölçümlerine ait sonuçlar

	Terbiye Aşaması	L*	a*	b*	ΔE*
Tip 1	Ham kumaş	79,43	-0,41	-1,54	0,95
Tip 2	Ham kumaş	79,21	-0,56	-0,86	
Tip 1	Haşıl sökme işlemi uygulanmış kumaş	82,02	-0,44	-1,41	0,95
Tip 2	Haşıl sökme işlemi uygulanmış kumaş	80,48	-0,59	-0,86	
Tip 1	Boyalı kumaş	35,86	2,11	-0,92	0,66
Tip 2	Boyalı kumaş	35,53	2,19	-0,45	

ΔE*: İki renk arasındaki fark ölçümü

L*: Açıklık koordinatı (L*: 0 ise siyah, L*:100 ise beyaz, DL*: iki renk arasındaki açıklık/koyuluk değerleri farkıdır, değer + ise daha açık, - ise daha koyudur)

a*: Kırmızı-yeşil koordinatı (+a*: kırmızı, -a*: yeşil)

b*: Sarı-mavi koordinatı (+b*: sarı, -b*: mavi)

Çalışma esnasında Tip 1 kumaş referans seçilerek, Tip 2 kumaşların spektrofotometre cihazında renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Renk ölçüm sonuçları incelendiğinde ham kumaşlar arasındaki ΔE* değerinin 0,95'ten boyama işlemi sonrası 0,66'ya düştüğü gözlemlenmiştir.

Boyalı kumaşlar spektrofotometre cihazında okutulduğunda; Tip 2 kumaşının Tip 1 kumaşına göre koyuluk derecesi DL* -0,33 olarak ölçülmüştür. Ölçülmüş olan bu fark, DSC analizi sonuçlarında da gözlemlenmiş olan kristalin/amorf bölge oranını destekler niteliktedir. Amorf bölge oranı Tip 1 kumaşa göre daha yüksek olan Tip 2 kumaşı daha koyu renkte ölçüm sonucu vermiştir.

Renk ölçümü sonrası kumaşlar kendi içlerinde L*, a*, b* değerleri yönünden incelenmiştir. Tip 1 kumaş için L* değeri incelendiğinde; ham kumaşa uygulanmış olan haşıl sökme işlemi sonrası ölçüm değerinin 79,43'ten 82,02'ye yükseldiği, boyama işlemi

sonrasında ise 35,86'ya düştüğü gözlemlenmiştir. Veriler ışığında haşıl sökme işlemi sonrası kumaşın renginin daha açık/parlak hal aldığı, boya işlemi sonrasında ise koyu bir tonda olduğu gözlemlenmiştir. a* değerinin, ham kumaşa uygulanmış olan haşıl sökme işlemi sonrası -0,41'den -0,44'e düşerek renk nüansının kırmızılık derecesinin azaldığı, boyama işlemi sonrası ise 2,11'e yükselerek kırmızılık derecesinin arttığı görülmüştür. Yapılan boyama işlemi sonunda a* kırmızı koordinat üzerinde ilerlemiştir. Son olarak b* değeri incelendiğinde, ham kumaş üzerine uygulanan haşıl sökme işlemi sonrası -1,54 olan ölçüm değeri -1,41'e, boyama işlemi sonrası ise -0,92' ye değişim göstermiştir. Kumaş üzerine uygulanmış olan işlemler sonucu b* mavi koordinat üzerinde ilerlemiştir.

Tip 2 kumaş için L* değeri incelendiğinde; uygulanan terbiye işlemleri sonrasında ölçüm değeri sırasıyla 79,21'den 80,48'e yükselmiş, ardından 35,53'e düşüş göstermiştir. Tip 2 kumaşta Tip 1 kumaşına benzer bir şekilde haşıl sökme işlemi sonrası kumaş daha açık/parlak bir renge ulaşmaktadır. a* değeri incelendiğinde; sırası ile -0,56'dan -0,59'a düşerek renk nüansı kırmızılık derecesinin azaldığı, ardından boyama sonrası -0,59'dan 2,19'a yükselerek kırmızılık derecesinin arttığı gözlemlenmiştir. Tip 2 kumaşta da Tip 1 kumaş ile benzer şekilde yapılan boyama işlemi sonrası a* kırmızı koordinat üzerinde ilerlemiştir. b* değeri incelendiğinde; boyama işlemi sonrası -0,86'dan -0,45'e doğru bir değişim göstermiştir. Kumaş üzerine uygulanmış olan işlemler sonucu Tip 1 kumaş ile benzer şekilde b* mavi koordinat üzerinde ilerlemiştir.

Spektrofotometre ile yapılmış olan renk ölçümleri ve uygulanmış olan DSC analizi sonuçları birlikte incelenecek olursa her iki analiz birbirini destekler nitelik taşımaktadır.

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarına ait renk ölçüm sonuçları Çizelge 4.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarının renk ölçümlerine ait sonuçlar

	Terbiye Aşaması	L*	a*	b*	ΔE^*
Tip 3	Ham kumaş	94,86	-0,54	2,56	1,85
Tip 4	Ham kumaş	93,07	-0,33	3,93	
Tip 3	Alkalizasyon işlemi uygulanmış kumaş	93,98	-0,73	3,54	1,31
Tip 4	Alkalizasyon işlemi uygulanmış kumaş	95,25	-0,5	2,5	
Tip 3	Boyalı kumaş	46,99	3,64	5,34	3,05
Tip 4	Boyalı kumaş	48,99	2,57	6,73	
Tip 3	Apreli kumaş	45,18	4,03	5,42	3,94
Tip 4	Apreli kumaş	48,11	2,58	7,02	

Çalışma esnasında Tip 3 kumaş referans seçilerek, Tip 4 kumaşların spektrofotometre cihazında renk ölçümleri yapılmıştır.

Ham kumaşlar arasında bulunan ΔE^* değerinin, alkalizasyon işlemi, boyama işlemi ve apre işlemi sonrasında giderek arttığı gözlemlenmiştir.

Ham kumaşların renk ölçümleri sonucunda, Tip 4 kumaşın DL^* değeri -1,80 olarak, Tip 3 kumaşa göre daha koyu ölçüm sonucu vermiştir.

Alkalizasyon işlemi sonrasında ise Tip 4 kumaşın, Tip 3 kumaşa göre DL^* değeri 1.27 ölçülmüş ve daha açık renkte sonuç vermiştir. Ham ile alkalizasyon işlemi uygulanmış kumaşlar arasında gözlemlenmiş olan açıklık ve koyuluk farkının yapılmış olan alkalizasyon işleminden kaynaklı olup olmadığını daha iyi anlayabilmek amacı ile kumaşlar ham halde iken boyanmış ve renk ölçüm sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Tip 3 ve Tip 4 ham kumaşların boyanmasına ait renk ölçüm sonuçları

	Terbiye Aşaması	L*	a*	b*	ΔE*
Tip 3	Ham Olarak Boyanmış Kumaş	47,44	-0,94	16,37	0,29
Tip 4	Ham Olarak Boyanmış Kumaş	47,19	-0,87	16,32	

Ham olarak boyanmış olan Tip 3 ve Tip 4 kumaşlar incelendiğinde; DL* değeri -0,59 sonucunu vermiş ve Tip 4 kumaş, Tip 3 kumaştan daha koyu olarak ölçülmüştür. Daha sonra uygulanan alkalizasyon işlemi sonucunda ise ilk ölçümün aksine Tip 4 kumaş, Tip 3 kumaştan daha parlak/açık tonda ölçülmüştür. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere alkalizasyon işleminin Tip 4 kumaşta, Tip 3 kumaştan daha fazla bir parlaklığa/açıklığa sebep olduğu görülmektedir.

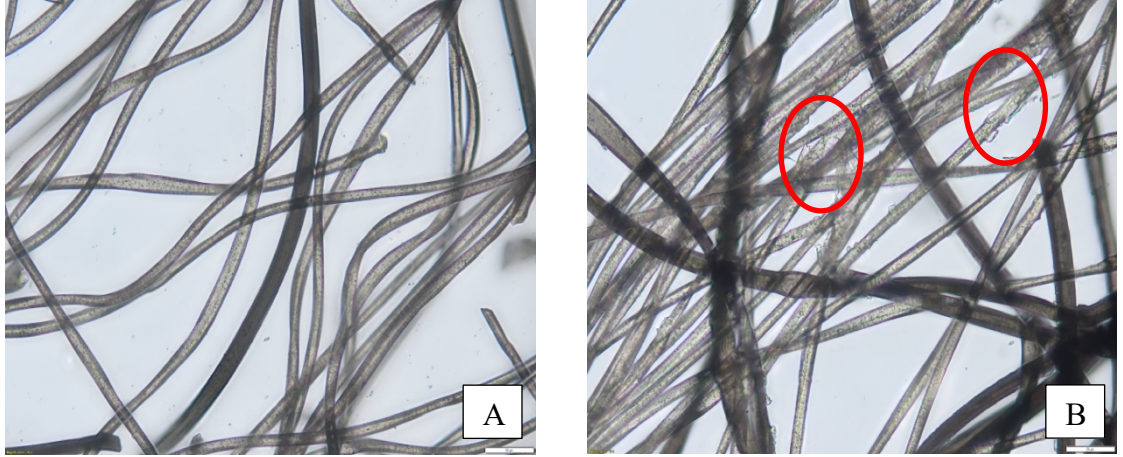
Renk ölçümü sonrası kumaşlar kendi içlerinde L*, a*, b* değerleri yönünden incelenmiştir. Tip 3 kumaş için L* değeri incelendiğinde; ham kumaşa uygulanmış olan alkalizasyon işlemi sonrası ölçüm değeri 94,86'dan 93,98'e, boyama işlemi sonrasında 46,99'a ve apre işlemi sonrasında ise 45,18'e düşüş göstermiştir. Tip 3 kumaşta alkalizasyon sonrası koyuluk artmaktadır. a* değeri incelendiğinde ise, ham kumaşa uygulanmış olan alkalizasyon işlemi sonrası ölçüm değeri -0,54'den -0,73'e, boyama işlemi sonrasında 3,64'e, apre işlemi sonrası ise 4,03'e doğru bir değişim göstermiştir. Yapılan boyama ve apre işlemi sonunda a* değeri kırmızı koordinat üzerinde ilerlemiştir. b* değeri incelendiğinde ise, ham kumaş üzerine uygulanmış olan alkalizasyon işlemi sonrası 2,56 olan değer 3,54'e, boyama işlemi sonrası 5,34'e ve apre işlemi sonrası 5,42'ye yükselerek sarılık derecesinin arttığı gözlemlenmiştir. Boyama ve apre işlemi sonrasında b* değeri sarı koordinat üzerinde ilerlemiştir.

Tip 4 kumaş için L*değeri incelendiğinde; uygulanan terbiye işlemleri sonrasında ölçümler sırasıyla 93,07'den 95,25 değerine yükselmiş, 95,25'ten 48,99 değerine düşmüş ve son olarak da 48,99'dan 48,11'e değerine düşmüştür. Tip 4 kumaşta alkalizasyon işlemi sonrası parlaklık artmaktadır. a* değeri için ölçümler incelendiğinde ise; sırası ile -0,33'ten -0,5'e, -0,5'ten 2,57'ye ve 2,57'den 2,58'e olacak şekilde bir değişim meydana gelmiştir. Apre işlemi sonrası a* değeri kırmızı koordinatta yer almaktadır. Son olarak b*

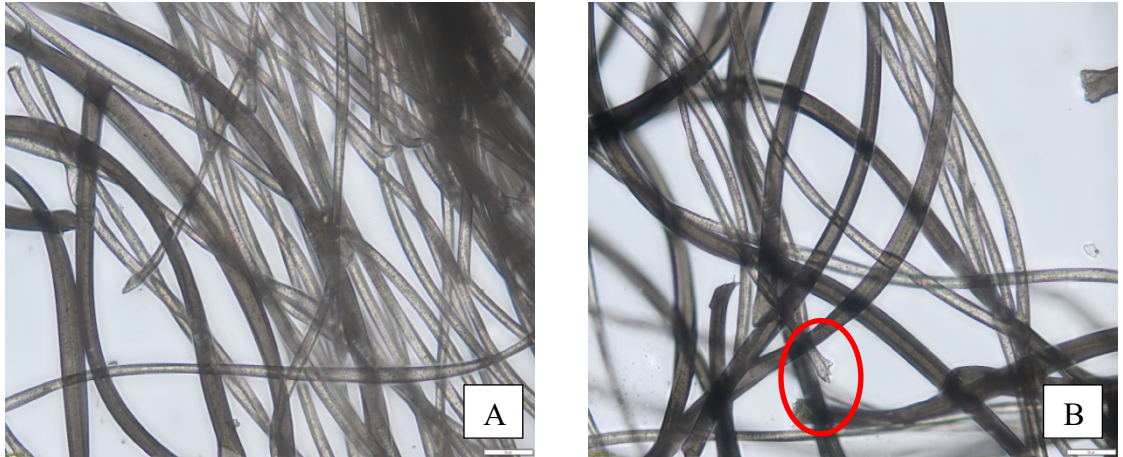
değeri incelendiğinde ise; ölçümler sırası ile 3,93'ten 2,5'e, 2,5'ten 6,73'e, 6,73'ten 7,02'ye doğru değişim göstermiş ve sarılık derecesi artmıştır. Terbiye işlemleri sonunda b* değeri sarı koordinatta yer almaktadır.

4.2.8. Mikroskop görüntüleri

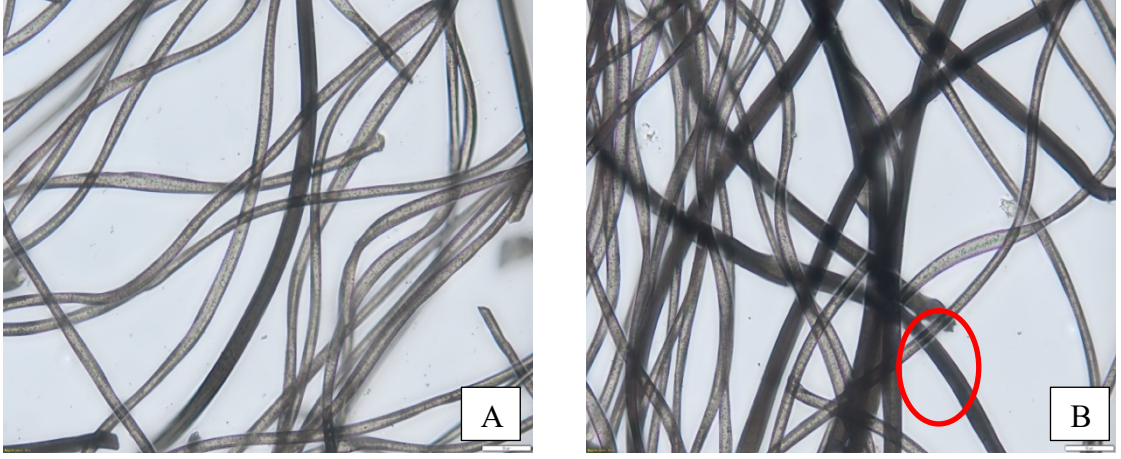
Tip 1 ve Tip 2 kumaşlarına ait olan liflerin görüntüleri Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Ham kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 1 kumaş B) Tip 2 kumaş



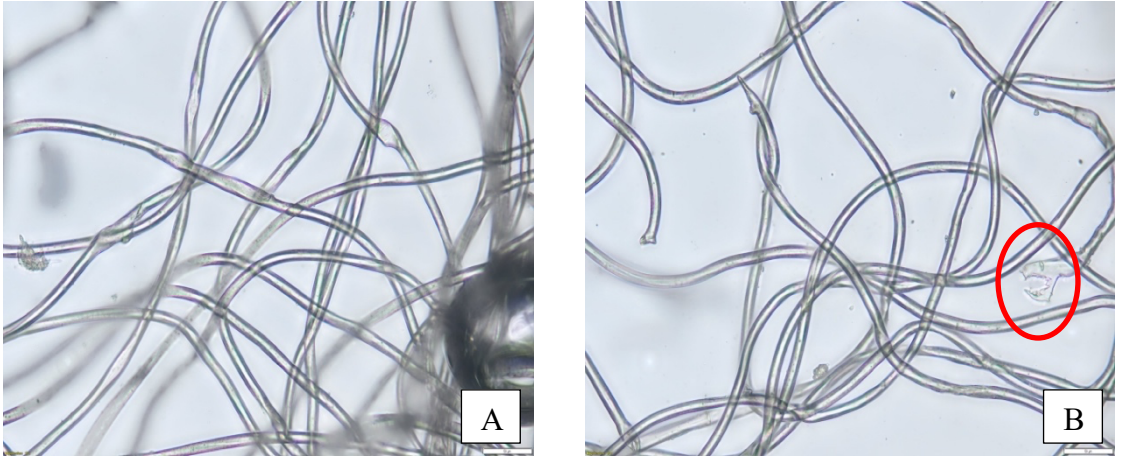
Şekil 4.14. Haşıl sökme işlemi yapılmış kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 1 kumaş B) Tip 2 kumaş



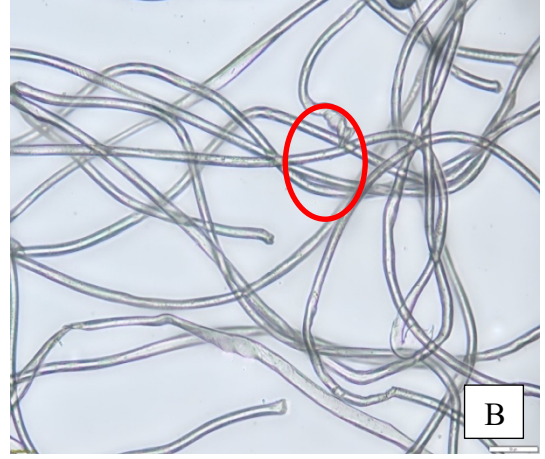
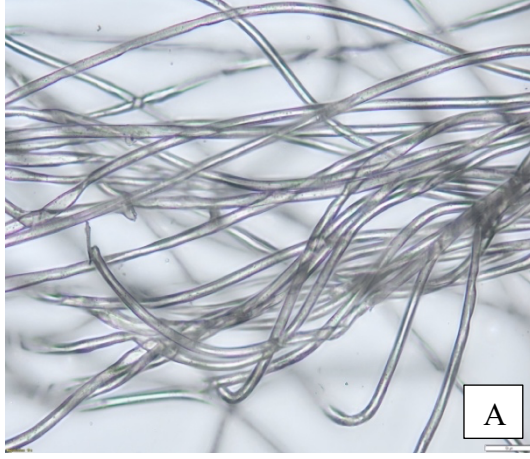
Şekil 4.15. Boyalı kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 1 kumaş B) Tip 2 kumaş

Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarına ait olan liflerin görüntüleri Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.

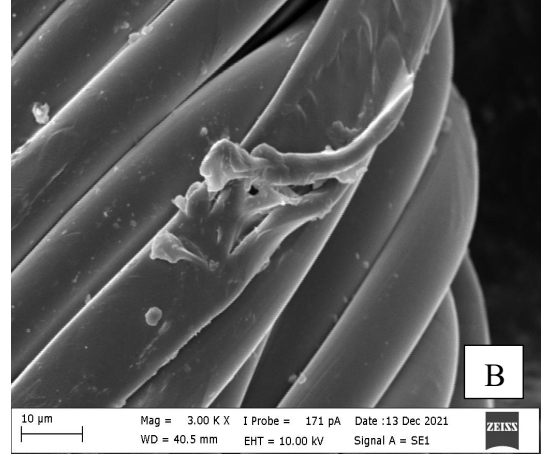
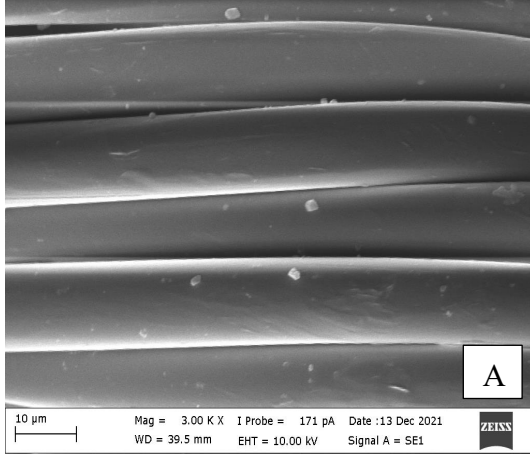
Ayrıca Tip 3 ve Tip 4 kumaşlarına ait SEM görüntüleri Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



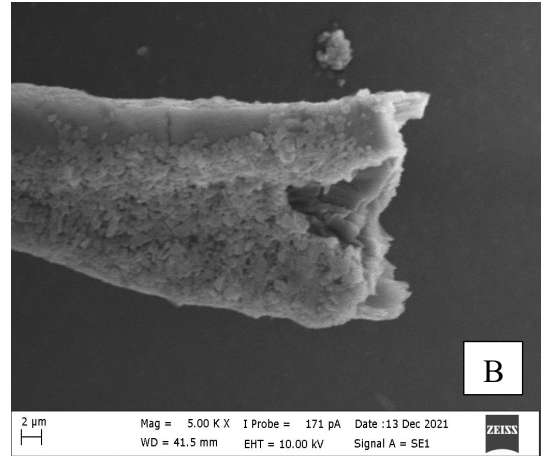
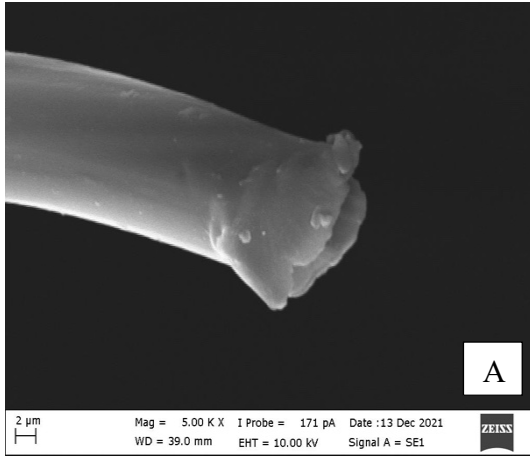
Şekil 4.16. Ham kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş



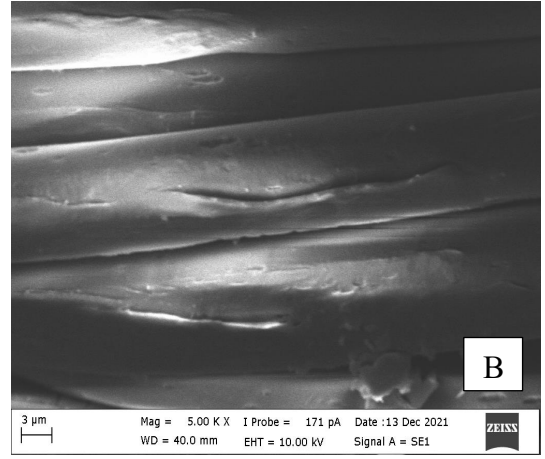
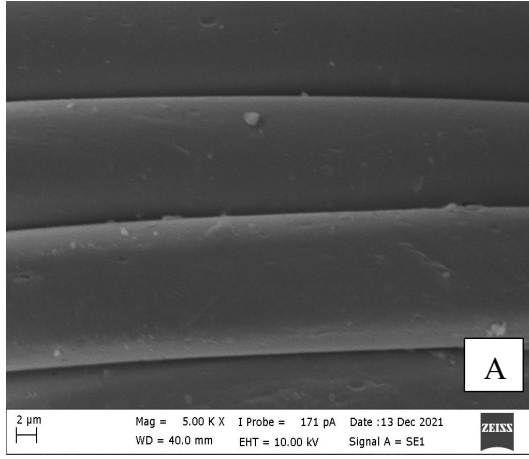
Şekil 4.17. Alkalizasyon işlemi uygulanmış kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş



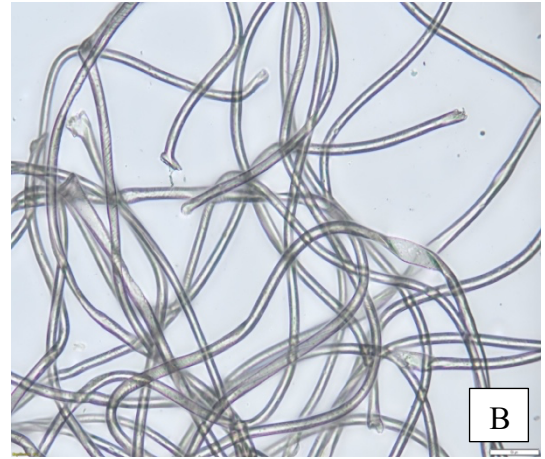
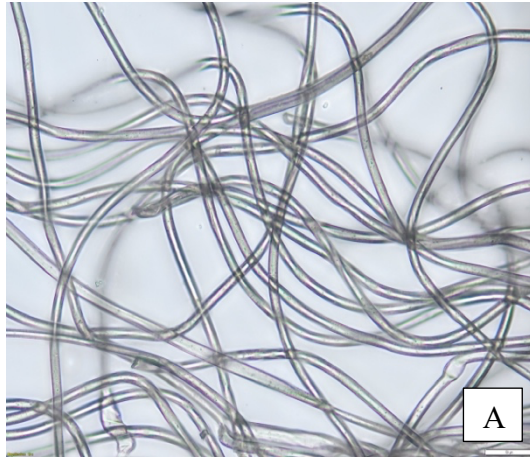
Şekil 4.18. Ham kumaşlara ait SEM görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş



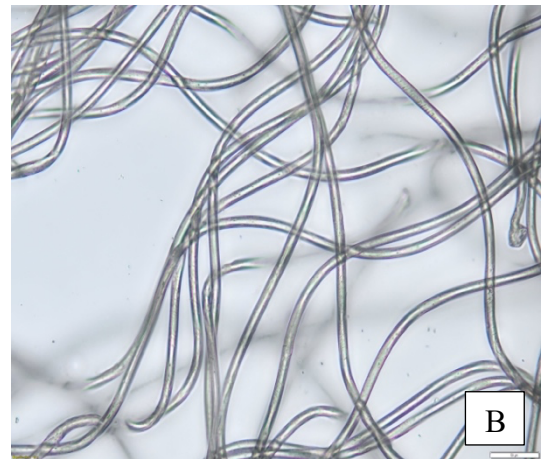
Şekil 4.19. Ham kumaşlara ait flamanların SEM görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş



Şekil 4.20. Alkalizasyon işlemi uygulanmış kumaşlara ait SEM görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş



Şekil 4.21. Boyalı kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş



Şekil 4.22. Apreli kumaşlara ait lif görüntüleri A) Tip 3 kumaş B) Tip 4 kumaş

Mikroskopik görüntüler incelendiğinde PET içeriğine sahip olan Tip 1 ve Tip 3 kumaşların yüzey morfolojik özelliklerinin, r-PET içeriğine sahip olan Tip 2 ve Tip 4 kumaşlara göre daha düzgün ve pürüzsüz yapıda olduğu görülmüştür. Tip 1 ve Tip 3 kumaşlardaki yüzey hasarının Tip 2 ve Tip 4 kumaşlardan daha az olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmamızda da özellikle Tip 3 ve Tip 4 ham kumaşların SEM görüntülerinde, r-PET kumaşta ki bu hasar flaman boyutunda da görülmektedir. Ayrıca kumaşların alkalizasyon işlemi sonrası SEM görüntülerinde r-PET kumaş liflerinde derin deformasyonlar gözlemlenmiştir. Geri dönüşüm aşamasında malzemenin gördüğü mekanik ve kimyasal işlemlerin bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇ

Günlük yaşantımızda yoğun bir şekilde kullandığımız PET şişe ve diğer plastik malzemeler, plastik atıkların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu oluşan atık yoğunluğunu azaltmanın bir yöntemi olan PET geri dönüşüm ile kullanılmış olan plastik malzemeler yenilenebilir bir hal almaktadır.

Yapmış olduğumuz çalışmada PET şişelerden geri dönüştürülerek elde edilmiş olan r-PET iplikleri ile dokunmuş olan kumaşlar ve konvansiyonel yöntemlerle üretilmiş olan PET ipliklerinden dokunmuş kumaşlar kullanılmıştır. Farklı kullanım alanlarına sahip bu kumaşlar, terbiye işlemleri sonucu bir takım performans ve içyapı analizlerine göre incelenmiştir.

Çalışma içeriğinde terbiye işlemlerinin kumaşlarda oluşturduğu etki ile PET ve r-PET kumaşların performansları değerlendirilmek istenmiştir. Bu bağlamda en ve gramaj değerleri her iki kumaş için benzer sonuçlar göstermiştir. Ancak r-PET kumaşların, PET kumaşlara göre daha düşük yırtılma ve kopma mukavemeti değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Kumaşlara uygulanan haslık testleri, ışık haslığı değeri hariç benzer sonuçlar göstermiştir. Işık haslığı değerinin r-PET kumaşlarda PET kumaşlara göre yarım puan daha düşük sonuçlara sahip olduğu tespit edilmiştir.

Renk okutma sonuçları değerlendirildiğinde, ham kumaşlar arasında gözlemlenmiş olan renk farkının ön terbiye ve boyama işlemleri sonrasında artarak devam ettiği görülmüştür. Bunun temel sebebi olarak PET atıkların farklı renklere sahip olması ve geri dönüşüm esnasında renk ayrımı yapılmadan depolanmış olan atıkların kullanılması gösterilebilmektedir.

Kumaşlara uygulanmış olan FT-IR analizi sonucunda çok önemli bir değişim gözlemlenmemiştir.

DSC grafikleri incelendiğinde, r-PET kumaşların PET kumaşlardan farklı olarak ön erime değeri gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durumun, kumaş yapısındaki kristalin/amorf bölgelerde bulunan farklılıktan kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Yapılan analiz

sonuçları da bunu destekler nitelikte olup r-PET kumaşların PET kumaşlardan daha amorf yapıda olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlardan hareketle r-PET kumaşın daha düşük sıcaklıkta boyanabileceği söylenebilir.

Mikroskop görüntüleri değerlendirildiğinde ise PET kumaşların r-PET kumaşlara göre daha pürüzsüz bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca SEM görüntülerinde r-PET kumaşların yüzeyinde meydana gelmiş olan hasarlar net bir şekilde görülebilmektedir.

Tüm bu değerlendirmeler işığında; renk farklılıkları hariç kumaşların ticari olarak aynı alanlarda kullanılabilieceği söylenebilir. Oluşabilecek renk farklılığını en aza indirebilmek için PET atığının içeriğinde bulunan kirliliklerden en iyi şekilde arındırılması gerekmektedir. Bunun için atıkların karışık şekilde istiflenmemesi ve yzerinde bulunan kapak, etiket gibi kirleticilerin bütünüyle atık yzerinden uzaklaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akçaözoğlu, S., Atış, C. D. ve Akçaözoğlu, K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.033>
- Al-Sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Eshaq, G., Rabie, A. M. ve ElMetwally, A. E. (2016). Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.001>
- Alzerreca, M., Paris, M., Boyron, O., Orditz, D., Louarn, G. ve Correc, O. (2015). Mechanical properties and molecular structures of virgin and recycled HDPE polymers used in gravity sewer systems. *Polymer Testing*, 46, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.06.012>
- Ansari, F., Skrifvars, M. ve Berglund, L. (2015). Nanostructured biocomposites based on unsaturated polyester resin and a cellulose nanofiber network. *Composites Science and Technology*, 117, 298–306. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.07.004>
- Awaja, F. ve Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41, 1453–1477. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005>
- Badia, J. D., Strömberg, E., Karlsson, S. ve Ribes-Greus, A. (2012). The role of crystalline, mobile amorphous and rigid amorphous fractions in the performance of recycled poly (ethylene terephthalate) (PET). *Polymer Degradation and Stability*, 97(1), 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.10.008>
- Chen, C. W., Liu, P. H., Lin, F. J., Cho, C. J., Wang, L. Y., Mao, H. I., ... Kuo, C. C. (2020). Influence of different molecular weights and concentrations of poly(glycidyl methacrylate) on recycled poly(ethylene terephthalate): a thermal, mechanical, and rheological study. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(11), 2880–2892. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01800-0>
- Chinchillas-Chinchillas, M. J., Orozco-Carmona, V. M., Alvarado-Beltrán, C. G., Almaral-Sánchez, J. L., Sepulveda-Guzman, S., Jasso-Ramos, L. E. ve Castro-Beltrán, A. (2019). Synthesis of Recycled poly(ethylene terephthalate)/polyacrylonitrile/styrene composite nanofibers by electrospinning and their mechanical properties evaluation. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(3), 659–669. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01379-1>
- Deopura, B. L., Alagirusamy, R., Joshi, M. ve Gupta, B. (2008). *Polyesters and polyamides*. (s. 12-24). Cambridge, England: Woodhead Publishing.
- Dutt, K. ve Soni, R. K. (2013). A review on synthesis of value added products from polyethylene terephthalate (PET) waste. *Polymer Science - Series B*, 55, 430–452. <https://doi.org/10.1134/S1560090413070075>

- Elias, S. A. (2017). Plastics in the ocean. A. Dellasala ve M. I. Goldstein (Ed.). *Encyclopedia of the Anthropocene* (s. 133–149) içinde. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.10514-2>
- Fidanovski, B. Z., Popovic, I. G., Radojevic, V. J., Radisavljevic, I. Z., Perisic, S. D. ve Spasojevic, P. M. (2018). Composite materials from fully bio-based thermosetting resins and recycled waste poly(ethylene terephthalate). *Composites Part B: Engineering*, 153, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.034>
- Foti, D. (2013). Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete. *Composite Structures*, 96, 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.09.019>
- Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 30(6), 1101–1106. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>
- Hamouda, H. B. H., Simoes-Betbeder, M., Grillon, F., Blouet, P., Billon, N. ve Piques, R. (2000). Creep damage mechanisms in polyethylene gas pipes. *The International Journal for Science and Technology of Polymers*, 42, 5425–5437. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00490-0](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00490-0)
- Ingrao, C., lo Giudice, A., Tricase, C., Rana, R., Mbohwa, C. ve Siracusa, V. (2014). Recycled-PET fibre based panels for building thermal insulation: Environmental impact and improvement potential assessment for a greener production. *Science of the Total Environment*, 493, 914–929. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.022>
- Ion, S., Voicea, S., Sora, C., Gheorghita, G., Tudorache, M. ve Parvulescu, V. I. (2021). Sequential biocatalytic decomposition of BHET as valuable mediator of PET recycling strategy. *Catalysis Today*, 366, 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.08.008>
- Jin, H., Gonzalez-Gutierrez, J., Oblak, P., Zupančič, B. ve Emri, I. (2012). The effect of extensive mechanical recycling on the properties of low density polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, 97(11), 2262–2272. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.07.039>
- Jojode, A. S., Hawkins, K. ve Tonelli, A. E. (2013). Improving poly(ethylene terephthalate) through self-nucleation. *Macromolecular Materials and Engineering*, 298(11), 1190–1200. <https://doi.org/10.1002/mame.201200398>
- Koh, J. (2011). Dyeing with disperse dye. P. J. Hauser (Ed.). *Textile Dyeing* (s. 195–220) içinde. Rijeka, Croatia: InTech Publishing.
- Komly, C. E., Azzaro-Pantel, C., Hubert, A., Pibouleau, L. ve Archambault, V. (2012). Multiobjective waste management optimization strategy coupling life cycle assessment and genetic algorithms: Application to PET bottles. *Resources, Conservation and Recycling*, 69, 66–81. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.008>

- La Mantia, F. P. (1996). Basic concepts on the recycling of homogeneous and heterogeneous plastics. F.P. La Mantia (Ed.). *Recycling of PVC and mixed plastic waste* (s. 63-77) içinde. Toronto, Canada: Chem Tec Publishing.
- Lee, H. L., Chiu, C. W. ve Lee, T. (2021). Engineering terephthalic acid product from recycling of PET bottles waste for downstream operations. *Chemical Engineering Journal Advances*, 5, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2020.100079>
- Lee, S. Y., Hong, T. M., Jin, D. Y., Lee, J. E., Lee, J. S. ve Lee, S. G. (2015). Properties of aluminum deposited chemically recycled PET fabrics. *Fibers and Polymers*, 16(12), 2698–2703. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-5099-y>
- Leng, Z., Padhan, R. K. ve Sreeram, A. (2018). Production of a sustainable paving material through chemical recycling of waste PET into crumb rubber modified asphalt. *Journal of Cleaner Production*, 180, 682–688. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.171>
- Ling, C., Shi, S., Hou, W. ve Yan, Z. (2019). Separation of waste polyester/cotton blended fabrics by phosphotungstic acid and preparation of terephthalic acid. *Polymer Degradation and Stability*, 161, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.01.022>
- Majumdar, A., Shukla, S., Singh, A. A. ve Arora, S. (2020). Circular fashion: Properties of fabrics made from mechanically recycled poly-ethylene terephthalate (PET) bottles. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104915>
- Mancini, S. D., Schwartzman, J. A. S., Nogueira, A. R., Kagohara, D. A. ve Zanin, M. (2010). Additional steps in mechanical recycling of PET. *Journal of Cleaner Production*, 18(1), 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.004>
- Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Warchoń, J., Moustakas, K., Chojnacka, K. ve Witek-Krowiak, A. (2021). 3D printing filament as a second life of waste plastics—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12321–12333. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>
- Nait-Ali, L. K., Colin, X. ve Bergeret, A. (2011). Kinetic analysis and modelling of PET macromolecular changes during its mechanical recycling by extrusion. *Polymer Degradation and Stability*, 96(2), 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.11.004>
- Özkal, A. ve Cengiz Çallıoğlu, F. (2020). Effect of nanofiber spinning duration on the sound absorption capacity of nonwovens produced from recycled polyethylene terephthalate fibers. *Applied Acoustics*, 169, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107468>

Paszun, D. ve Spychaj, T. (1997). Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate). *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 36, 1373-1382. <https://doi.org/10.1021/ie960563c>

Radhakrishnan, S. Vetrivel, P., Vinodkumar, A. ve Palanisamy, H. (2020). Recycled polyester-tool for savings in the use of virgin raw material. S. S. Muthu (Ed.). *Environmental footprints of recycled polyester* (s. 49–85) içinde. Singapore: Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-9578-9>

Recycled Textile Fibres and Textile Recycling An overview of the Market and its possibilities for Public Procurers in Switzerland. (2017). Switzerland: the Federal Office for the Environment. Erişim adresi: <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/wirtschaft-konsum/externe-studien-berichte/Recycled-Textile-Fibres-and-Textile-Recycling.pdf.download.pdf/study-on-recycled-textiles-and-textile-recyclabilitych.pdf>

Schmidt, C., Krauth, T. ve Wagner, S. (2017). Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environmental Science and Technology*, 51(21), 12246–12253. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>

Shen, L., Worrell, E. ve Patel, M. K. (2010). Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(1), 34–52. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.06.014>

Siddiqui, M. N., Achilias, D. S., Redhwi, H. H., Bikiaris, D. N., Katsogiannis, K. A. G. ve Karayannidis, G. P. (2010). Hydrolytic depolymerization of PET in a microwave reactor. *Macromolecular Materials and Engineering*, 295(6), 575–584. <https://doi.org/10.1002/mame.201000050>

Siddiqui, M. N., Redhwi, H. H. ve Achilias, D. S. (2012). Recycling of poly(ethylene terephthalate) waste through methanolic pyrolysis in a microwave reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 98, 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.09.007>

Silva, D. A., Betioli, A. M., Gleize, P. J. P., Roman, H. R., Gómez, L. A. ve Ribeiro, J. L. D. (2005). Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials. *Cement and Concrete Research*, 35(9), 1741–1746. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.040>

Sinha, V., Patel, M. R. ve Patel, J. V. (2010). Pet waste management by chemical recycling: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 18, 8–25. <https://doi.org/10.1007/s10924-008-0106-7>

Storey, R. A. ve I, Ymen. (Ed.). (2011). *Solid state characterization of pharmaceuticals*. New York, NY: Blackwell Publishing.

Suttibak, S. ve Nitivattananon, V. (2008). Assessment of factors influencing the performance of solid waste recycling programs. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(1–2), 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.09.004>

Türemen, M., Demir, A. ve Özdoğan, E. (2019). Recycling and importance for textile industry. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(7), 805–809. <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.97253>

Velásquez, E. J., Garrido, L., Guarda, A., Galotto, M. J. ve López de Dicastillo, C. (2019). Increasing the incorporation of recycled PET on polymeric blends through the reinforcement with commercial nanoclays. *Applied Clay Science*, 180, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105185>

Vergheese, K., Lewis, H. ve Fitzpatrick, L. (Ed.), (2012). Packaging for sustainability. In *Designin for Sustainability*. London, England: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-988-8>

Wang, J., Huang, N., Yang, P., Leng, Y. X., Sun, H., Liu, Z. Y. ve Chu, P. K. (2004). The effects of amorphous carbon films deposited on polyethylene terephthalate on bacterial adhesion. *Biomaterials*, 25(16), 3163–3170. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2003.10.010>

Welle, F. (2011). Twenty years of PET bottle to bottle recycling - An overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 865–875. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.009>

Welle, F. (2016). Investigation into cross-contamination during cleaning efficiency testing in PET recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 112, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.003>

Yao, Z., Zhang, X., Ge, Z., Han, J., Pan, X. ve Jin, Z. (2014). Mix proportion design and mechanical property of recycled Polyethylene terephthalate concrete. *Recent Developments in Evolution of Pavements and Paving Materials*, 1, 89-96. <https://doi.org/10.1061/9780784478493.012>

Zander, N. E., Gillan, M. ve Lambeth, R. H. (2018). Recycled polyethylene terephthalate as a new FFF feedstock material. *Additive Manufacturing*, 21, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.03.007>

Zhang, R., Ma, X., Shen, X., Zhai, Y., Zhang, T., Ji, C. ve Hong, J. (2020). PET bottles recycling in China: An LCA coupled with LCC case study of blanket production made of waste PET bottles. *Journal of Environmental Management*, 260, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110062>

Zhang, Y., Guo, W., Zhang, H. ve Wu, C. (2009). Influence of chain extension on the compatibilization and properties of recycled poly(ethylene terephthalate)/linear low density polyethylene blends. *Polymer Degradation and Stability*, 94(7), 1135–1141. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.03.010>