



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**r-PET ve KLASİK PET LİFLERİNDEN ÜRETİLEN
KUMAŞLARIN BOYA-BASKI İŞLEMLERİ
ÖNCESİ ve SONRASI ÖZELLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Doktora Tezi

Mehdi HATAMLOU

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2019

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**r-PET ve KLASİK PET LİFLERİNDEN ÜRETİLEN
KUMAŞLARIN BOYA-BASKI İŞLEMLERİ
ÖNCESİ ve SONRASI ÖZELLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Mehdi HATAMLOU

Birinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Arif Taner ÖZGÜNEY

İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nilgün ÖZDİL

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
Tekstil Mühendisliği Doktora Programı

İzmir
2019

Mehdi HATAMLOU tarafından doktora tezi olarak sunulan “r-PET ve klasik PET liflerinden üretilen kumaşların boya-baskı işlemleri öncesi ve sonrası özelliklerinin karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 06/12/2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Arif Taner ÖZGÜNEY

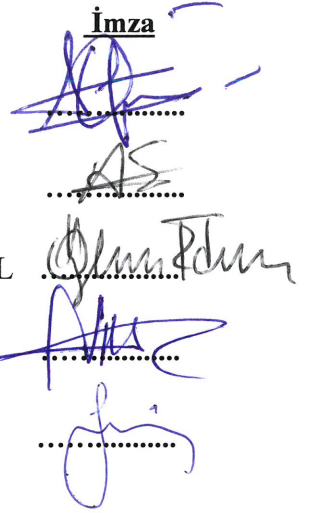
Raportör Üye : Prof. Dr. Ayşegül EKMEKÇİ KÖRLÜ

Üye : Prof. Dr. Şehriban Özlenen ERDEM İŞMAL

Üye : Doç. Dr. Arzu ÖZERDEM YAVAŞ

Üye : Doç. Dr. Gonca ÖZÇELİK KAYSERİ

İmza



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “r-PET ve klasik PET liflerinden üretilen kumaşların boya-baskı işlemleri öncesi ve sonrası özelliklerinin karşılaştırılması” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

06/12/2019

İmzası

Mehdi HATAMLOU

ÖZET**r-PET ve klasik PET liflerinden üretilen kumaşların
boya-baskı işlemleri
öncesi ve sonrası özelliklerinin karşılaştırılması**

HATAMLOU, Mehdi

Doktora Tezi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Arif Taner ÖZGÜNEY

Eş danışman: Prof. Dr. Nilgün ÖZDİL

Aralık 2019, 123 sayfa

PET şişe atıklarından geri dönüştürülerek elde edilen r-PET lifleri, enerji ve hammadde maliyetlerindeki büyük avantajının yanı sıra daha az üretim enerjisi ve karbon salınımı oluşturması nedeniyle çevre dostu bir lif olmuştur.

Geri kazanılmış PET talaşlarından bilgisayar parçaları, yastık, yalıtım, halı, uyku tulumları vb. üretilebilmekte ve büyük bir kısmı ise lif olarak OE (open-end) eğirme sisteminde diğer geri dönüşüm liflerle karıştırılarak çorap, battaniye ve halı üretiminde değerlendirilmektedir. Ancak r-PET lifin bu şekilde düşük kaliteli malzeme olarak kullanılması, tüketim miktarının ilerleyen zaman içerisinde doyum noktasına ulaşmasına neden olacaktır.

Bu noktadan hareketle tekstil sektörünün, çevresel sorunları üzerine sorumluluk almasını kolaylaştırması açısından bu çalışma tasarlanmıştır. Bu çalışmadaki amaç PET şişe atıklarından elde edilen lifler, kalitesinin insanların kabul sınırlarında tutmayı başararak kullanım alanlarının geliştirilmesi ve birincil madde olarak kullanılmasına yönelik katkıda bulunmasıdır.

Çalışmada pamuk, PET ve r-PET lifler kullanılmıştır. Üretilmiş iplik ve kumaşların fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Üretilen kumaşlara daha sonra boyama ve baskı işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerin ardından kumaşların patlama dayanımı, aşınma dayanımı, boncuklanma özelliği, hava geçirgenliği, kumaş tutum

özellikleri ve termofizyolojik özelliklerine ilaveten ışık, yıkama, sürtme haslıkları gibi haslık özellikleri de incelenmiştir.

Test sonuçlarına göre r-PET lifin yüzey özellikleri PET daha pürüzlüdür. Bu pürüzlülük kumaşların su iletim özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Pürüzlülük nedeniyle liflerin kapladığı toplam yüzey alanı artmakta bu da sürtünme yüzeyinin artmasına neden olduğundan kumaşların aşınma dayanımı düşmektedir. r-PET kumaşların mekanik özellikleri genel olarak PET olanlardan daha düşük bulunmaktadır. Ancak, gerek tutum, gerekse mekanik özellikler açısından beklentileri karşılayacak nitelikte olması nedeniyle bu liflerin birçok alanda kullanım imkanı bulacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: PET, Boyama, Baskı, r-PET, Mekanik özellikler, Geri dönüşüm.

ABSTRACT**Comparison of the Properties of Fabrics Produced
from r-PET and Classical PET
Fibers Before and After Dyeing-Printing Process**

HATAMLOU, Mehdi

PhD in Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Arif Taner ÖZGÜNEY

Co-Supervisor: Prof. Dr. Nilgün Özdil

December 2019, 123 sayfa

r-PET fibers produced by recycling PET bottles are an environmentally friendly due to their energy preservation and raw material cost reduction as well as less carbon emissions.

Computer parts, pillows, insulation materials, carpets, sleeping bags etc. can be produced from recycling PET flakes and most of them are mixed with other recycled fibers in the OE (open-end) spinning system to produce fibers of socks, blankets and carpets. However, the use of r-PET fiber as a low-quality material in its current form of production will result in the amount of consumption reaching its saturation point in the future.

With this in mind, this project has been designed to make it easier for the textile industry to take responsibility for environmental issues. In this project, the aim is to produce fibers from PET bottle wastes with keeping the quality of fibers at the required limits of consumers and to expand usage of such fibers and open the way to its acceptance as a prime material.

In the study, Cotton, PET and r-PET fibers were used. The physical properties of the produced yarns and fabrics have been determined. After dyeing processes, abrasion resistance, pilling property, air permeability, fabric handling properties and thermo-physiologic properties other properties such as light, washing, rubbing fastness were examined.

According to the test results, surface properties of r-PET fiber are rougher than conventional fibers. This roughness affects the water transmission properties of fabrics in the negative direction. Due to the roughness, the total surface area of the fibers increases, which causes a decrease in abrasion resistance of the fabrics, since it results in an increase in the friction surface. The mechanical properties of r-PET fabrics are found generally lower than those of conventional ones. However, it is considered that these fibers will be used in many fields because of their quality of the mechanical properties.

Key words: Polyester, Dying, Printing, r-PET, Mechanical Properties, Recycling.



ÖNSÖZ

Tüketmekte olduğumuz maddeleri geri dönüşüm döngüsüne katabildiğimizde, bunları yeniden ham madde olarak kullanabiliriz. Böylelikle insan nüfusunun artmasıyla birlikte oluşan tüketim artışı, geri dönüşüm vasıtasıyla doğaya geri verdiğimiz maddeler ile doğada var olan dengenin bozulmasını azda olsa engellemiş olacaktır. Bunun yanı sıra, geri dönüşüm vasıtasıyla hem enerji tüketiminde tasarruf sağlanmış hem de çevre kirliliğinin artması engellenmiş olacaktır.

Geri dönüşüm yöntemiyle elde edilen PET şişe talaşlarından, yalıtım malzemeleri, uyku tulumları, bilgisayar parçaları ve ürünler üretilebilmektedir. Bunları yanı sıra elde edilen PET şişe talaşlarının büyük bir oranı lif olarak üretilmekte yada diğer lifler ile karıştırılarak battaniye, çorap, halı ve bunlara benzer malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, PET şişe atıklarından insanların kabul edeceği kalitede r-PET lifleri elde edilerek ham madde yerine geri dönüşüm yoluyla istenilen malzemelerin üretilebilmesidir. Böylelikle gerek enerji tüketimi açısından gerek ise doğal kaynakları kullanmadan istenilen malzemeler üretilebilecektir. Bunların yanı sıra çevre kirliliği önemli ölçüde engellenmiş olacaktır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xx
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. PLASTİKLER.....	3
2.1. PET Eldesi.....	7
2.1.1. PET Liflerinin Elde Edilmesi.....	8
2.1.2. PET Liflerinin Özellikleri.....	12
2.1.3. PET Liflerinin Kullanım Alanları.....	12
2.2. PET Şişe Üretimi.....	13
2.3. Geri Dönüşüm İçin Plastiklerin Temin Edilmesi.....	14
2.4. PET'in Geri Dönüşüm Prosesleri.....	16
2.4.1. PET'in Kimyasal Olarak Geri Dönüşümü.....	16
2.4.2. PET'in Mekanik Geri Dönüşümü.....	18
2.5. PET Mekanik Geri Dönüşümünde Kirleticilerin Etkisi.....	24
2.6. Geri Dönüştürülmüş PET'lerin Kullanım Alanları.....	26
2.7. Tekstilde Geri Dönüşüm PET'in Kullanımı.....	26
3. POLİESTER LİFLERİNİN BOYANMASI.....	27
3.1. PET Liflerinin Dispersiyon Boyarmaddeleriyle Boyanması.....	28

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
3.1.1. Dispersiyon Boyarmaddeleriyle Kaynama Sıcaklığında Carrier Yardımıyla Boyama.....	28
3.1.2. Dispersiyon Boyarmaddeleriyle HT Şartlarında Boyama.....	29
3.1.3. Dispersiyon Boyarmaddeleriyle Termosol Yöntemine Göre Boyama	31
4. POLİESTER/SELÜLOZ KARIŞIMLARININ BOYANMASI ve BASKISI	34
4.1. Reaktif Boyarmaddeler	35
4.2. Dispersiyon Boyarmaddeleri.....	35
4.3. PET/ Selüloz Karışımlarının Boyanmasında Dispersiyon ve Reaktif Boyarmaddelerin Etkileşimi.....	37
4.4. Pigment Boyalar ile Baskı.....	40
5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	42
6. MATERYAL ve YÖNTEM.....	48
6.1. Materyal	48
6.1.1. Çalışmada Kullanılan PET, r-PET ve Pamuk Lifleri	48
6.1.2. Boyarmadde ve Kimyasallar	48
6.1.3. Cihazlar	49
6.2. Yöntem.....	50
6.2.1. İplik Üretiminde Kullanılan Makine Hattı	50
6.2.2. Örme Makinesi.....	52
6.2.3. Boyama ve Baskı İşlemi.....	53
6.2.4. Kumaş Özelliklerinin Ölçümü	57
6.2.5. Kumaşların Termal ve Su Buharı Direnç Değerlerinin Ölçümü.....	65
6.2.6. Renk Ölçümü Analizi.....	66
6.2.7. İç Yapı Analizi	67

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
6.2.8. Haslık Testleri.....	78
6.2.9. İstatistiksel Değerlendirme	81
7. BULGULAR ve TARTIŞMA	82
7.1. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Analizine İlişkin Bulgular	82
7.2. TGA (Thermogravymetric Analysis) Analizine İlişkin Bulgular.....	84
7.3. DSC (DifferantialScanningCalorymeter) Analizine İlişkin Bulgular.	85
7.4. X-Işını Kırınımı Analizine İlişkin Bulgular.....	88
7.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizine İlişkin Bulgular	90
7.6. Kumaşların Gramajlarına İlişkin Bulgular	95
7.7. Kumaşların Kalınlıklarına İlişkin Bulgular	97
7.8. Kumaşların Patlama Mukavemetlerine İlişkin Bulgular	98
7.9. Kumaşların Hava Geçirgenliklerine İlişkin Bulgular	99
7.10. Kumaşların Aşınma Mukavemetlerine İlişkin Bulgular	100
7.11. Kumaşların Yüzey Sürtünme Katsayısı Ölçümlerine İlişkin Bulgular	103
7.12. Kumaşların Çok Yönlü Nem İletim Özelliklerine İlişkin Bulgular..	104
7.13. Su Buharı Direnç Değerlerinin Ölçümü	108
7.14. Boyanan Kumaşların Yıkama, Sürtünme ve Işık Haslığına İlişkin Bulgular	109
7.15. Baskı Yapılan Kumaşların Sürtünme Haslığına İlişkin Bulgular	110
7.16. Renk Ölçümü Değerleri	110
8. GENEL SONUÇ ve DEĞERLENDİRME	114
9. ÖNERİLER.....	117
KAYNAKLAR DİZİNİ	119
TEŞEKKÜR.....	127

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
ÖZGEÇMİŞ.....	128



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Dünya kişi başına tüketilen lif miktarı (Koszewska, 2018).....	1
Şekil 2.1. Mavi, beyaz, yeşil PET talaşları (Telli, 2011).	7
Şekil 2.2. Polietilen tereftalat'ın molekül yapısı (Feitor et al., 2015).....	7
Şekil 2.3. Tereftalik asit ve Etilen Glikolün polikondenzasyonu (Al-Sabagh, 2016).	8
Şekil 2.4. Düze paketi (Garip, 2005).	9
Şekil 2.5. Düze (Çirkin, 2006).	9
Şekil 2.6. Poliester cipsten POY(Partially Oriented Yarn) iplik üretiminin şematik görünümü (Garip, 2005).....	11
Şekil 2.7. Pet şişe şişirme makinesinin şeması (GiridharReddy, 2013).....	14
Şekil 2.8. Hurda PET şişeler (Pınar, 2019).	19
Şekil 2.9. Preslenmiş ambalaj atık balyaları.	19
Şekil 2.10. Konveyör band üzerinde renklerine göre el ile ayırma işlemi.	20
Şekil 2.11. Kırma işlemi çıkışı PET malzeme (Telli, 2011).	21
Şekil 2.12. Yoğunluk farkına göre ayırım: Yüzdürme- Batırma banyosu (Telli, 2011).	22
Şekil 2.13. Yüzdürme ve Batırma banyosu şematize görüntüsü (Telli, 2011).	23
Şekil 2.14. İnce kıyım işlemi uygulanmış kurutulmuş PET talaşları.....	24
Şekil 3.1. HT boyama makinesi.	30
Şekil 3.2. PET boyama diyagramı.	30
Şekil 3.3. Termosol boyama makinesi.	32
Şekil 4.1. Monoazo boyarmaddenin kimyasal yapısı.	36
Şekil 4.2. Diazo dispers boyarmaddelerin formülasyonu (Vigo, 1994).....	36
Şekil 4.3. Antrakinon dispers boyarmaddelerin formülasyonu (Vigo, 1994). 37	
Şekil 4.4. Sodyumbikarbonat varlığında CI Red 11 ile CI Disperse Yellow 1'in reaksiyonu.....	38
Şekil 6.1. Laboratuvar tipi örme makinesi.	53
Şekil 6.2. Dispersiyon boyarmaddeleriyle boyama grafiği.	55

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.3. Reaktif boyarmaddeleriyle boyama grafiği.....	56
Şekil 6.4. Boyama sonrası yapılan art işlemleri.	56
Şekil 6.5. Kumaş Kesme Aparatı.	58
Şekil 6.6. Dijital veya mekanik kumaş kalınlık ölçer cihazı.	59
Şekil 6.7. Hidrolik patlama mukavemeti cihazı.	60
Şekil 6.8. Martindale aşınma mukavemeti ölçüm cihazı.....	61
Şekil 6.9. FX 3300 (TexTest AG) hava geçirgenliği test cihazı.	62
Şekil 6.10. Frictorq yüzey sürtünme katsayısı test cihazı.	63
Şekil 6.11. Moisture management tester (MMT).	65
Şekil 6.12. Permetest (Dolezal ve Hes, 2003).	66
Şekil 6.13. HunterLabUltra ScanPro.	66
Şekil 6.14. FTIR Spektroskopisi Çalışma Prensipleri (www.biyokure.org).	69
Şekil 6.15. Perkin Elmer Spectrum 100 FTIR cihazı.	69
Şekil 6.16. Eşzamanlı Termogravimetrik Çözümleyici ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre(TGA-STD).....	71
Şekil 6.17. Mettler Toledo TGA/DSC 1 Star System Termal Analiz Cihazı.	73
Şekil 6.18. X-ışını kırınım ve yansıma geometrisi.	74
Şekil 6.19. Panalytical Empyrean X-ışını Kırınımı cihazı.	75
Şekil 6.20. X-ışını difraktogramında kristal ve amorf bölgelerin tespiti.....	76
Şekil 6.21. Carl Zeiss 300VP Taramalı Elektron Mikroskobu.....	77
Şekil 6.22. Karbon bant üzerine sabitlenmiş numune.	78
Şekil 6.23. BAL-TEC SCD 005 yüzey kaplama cihazı.....	78
Şekil 6.24. Sürtme haslık cihazı (crockmeter) detaylı.....	79
Şekil 7.1. PET numunesinin FTIR spektrumu.	82
Şekil 7.2. Geri dönüşüm PET numunesinin FTIR spektrumu.....	82
Şekil 7.3. PET numunesine ait TGA grafiği.....	84
Şekil 7.4. r-PET numunesine ait TGA grafiği.	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.5. PET numunesine ait DSC grafiği.....	86
Şekil 7.6. r-PET numunesine ait DSC grafiği.....	86
Şekil 7.7. İki kere ısıtılan PET numunesine ait DSC grafiği.	88
Şekil 7.8. PET numunesine ait XRD grafiği.....	89
Şekil 7.9. Geri dönüşüm PET numunesine ait XRD grafiği.....	89
Şekil 7.10. PET numunesine ait SEM görüntüsü.....	92
Şekil 7.11. r-PET numunesine ait SEM görüntüsü.....	95
Şekil 7.12. Kumaşların ortalama gramaj değerleri.....	96
Şekil 7.13. Kumaşların ortalama kalınlık değerleri.....	97
Şekil 7.14. Kumaşların ortalama patlama mukavemeti değerleri.....	98
Şekil 7.15. Kumaşların ortalama hava geçirgenliği değerleri.....	100
Şekil 7.16. Kumaşların aşınma mukavemetlerinin ortalama % ağırlık kaybına göre değerleri.....	101
Şekil 7.17. Kumaşların aşınma mukavemetlerinin ortalama tur sayısına göre değerleri.....	102
Şekil 7.18. Kumaşların yüzey sürtünme katsayısı ölçümleri.....	104
Şekil 7.19. Kumaşların test süresince absorpsiyon hızları (%)......	105
Şekil 7.20. Kumaşların test süresince maksimum ıslanma çapı.....	106
Şekil 7.21. (a) PET kumaşların ve (b) geri dönüşüm PET kumaşların test süresince alt ve üst yüzeylerindeki ıslanmış bölgeleri.....	106
Şekil 7.22. Kumaşlarda sıvı yayılım hızı.....	106
Şekil 7.23. PET ve r-PET numunesine ait K/S grafiği.....	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Geri dönüşüm kodları ve kullanım alanları (Sevencan et al.2007).	4
Çizelge 2.2. Kimyasal geri dönüşüm yöntemlerinin uygulanabilirliği.	18
Çizelge 2.3. Plastiklerin birbirleriyle karıştırılmasında aralarındaki uniformite (Goodship,2007).....	20
Çizelge 3.1. PET boyama reçetesi (HT boyama yöntemi).	31
Çizelge 3.2. İndirgen yıkama reçetesi.	31
Çizelge 6.1. Deneyleerde kullanılan lif özellikleri.....	48
Çizelge 6.2. Uygulamalarda kullanılan kimyasal maddeler.	48
Çizelge 6.3. Kullanılan Pigment, Dispers, Reaktif boyarmaddeler.....	49
Çizelge 6.4. İplik üretiminde kullanılan makine hattı.	51
Çizelge 6.5. Deneyleerde kullanılan iplik tipleri ve özellikleri.....	52
Çizelge 6.6. Dispers boyarmadde ile kumaşların boyanmasında kullanılan kimyasal maddeler ve konsantrasyonları.	54
Çizelge 6.7. İndirgen yıkama işlemi için gerekli koşullar ve kimyasal maddelerin konsantrasyonu.	54
Çizelge 6.8. Reaktif boyarmadde ile kumaşların boyanmasında kullanılan kimyasal maddeler ve konsantrasyonları.	55
Çizelge 6.9. Baskı patında kullanılan kimyasal maddeler ve konsantrasyonları.	56
Çizelge 6.10. 9 ölçekli gri skalada haslık değerleri.....	80
Çizelge 7.1. PET ve r-PET liflerinin 4000 – 600 cm-1 bölgesindeki FTIR spektrum pikleri.....	83
Çizelge 7.2. PET ve r-PET ait DSC analizlerinden hesaplanan bozunma sıcaklığı ve ekzotermik entalpi değerleri.....	87
Çizelge 7.3. PET ve r-PET'in kristalin bölge ve amorf bölge oranları.	90
Çizelge 7.4. Kumaşların gramajlarına ilişkin test verileri.	95
Çizelge 7.5. Kumaşların kalınlıklarına ilişkin test verileri.	97
Çizelge 7.6. Kumaşların patlama mukavemetlerine ilişkin test verileri.	98
Çizelge 7.7. Kumaşların hava geçirgenliklerine ilişkin test verileri.	99

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

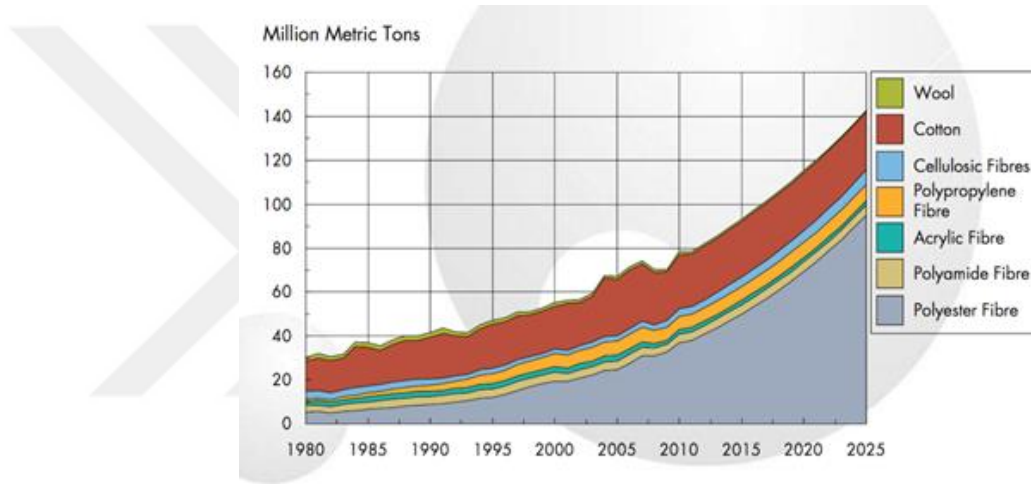
<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 7.8. Kumaşların aşınma mukavemetlerine ilişkin test verileri.....	101
Çizelge 7.9. Kumaşların yüzey sürtünme katsayısı ölçümlerine ilişkin test verileri.	103
Çizelge 7.10. Kumaşların çok yönlü nem iletim özelliklerine ilişkin test verileri.	105
Çizelge 7.11. Kumaşların OMMC (çok yönlü nem iletim kapasitesi) değerleri.	107
Çizelge 7.12. PET ve r-PET su buhar geçirgenliği.	108
Çizelge 7.13. Pamuk, PET ve r-PET kumaşlara ait ışık, yıkama ve sürtünme haslığı test verileri.	109
Çizelge 7.14. Pamuk/PET ve Pamuk/r-PET kumaşlara ait sürtünme haslığı test verileri.....	110
Çizelge 7.15. Boyama öncesi numenelerin L*a*b* ve ΔE* değerleri.	111
Çizelge 7.16. Boyama sonrası numenelerin L*a*b* ve ΔE* değerleri.....	112

KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
FTIR	Fourrier transform infra-red
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
TGA	Thermogravimetric analysis
XRD	X-Ray Diffraction
MMT	Moisture Management Tester (Nem Yönetimi Testi)
OMMC	Genel Nem Yönetim Özelliği
NREU	Nairuthya Railway Employees Union
GWP	Global Warming Potentials
POY	Partially Oriented Yarn
FDY	Fully Drawn Yarn
EG	Etilen Glikol
PA	Poliamid
PE	Polietilen
PET	Polietilen teraftalat
PVC	Polivinil klorür
PP	Polipropilen
PG	Propilen glikol

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte, dünyayı yaşanabilir halde koruyabilmek için teknoloji-çevre uyumunu sağlamak büyük önem arz etmektedir. Bu amaca ulaşmak için katı atıklar tekrar değerlendirilmelidir. Bunun için katı atıkların ayrı toplanması ve cinslerine göre ayrılması gerekmektedir. Ayrıca gerek kimyasal veya biyolojik gerek ise fiziksel işlemler bu malzemeler üzerine uygulanarak ikincil hammadde elde edilmeli veya tarım girdisine dönüştürülmelidir. Bu işlemlerin tümü geri dönüşüm olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1.1. Dünya kişi başına tüketilen lif miktarı (Koszevska, 2018).

Tekstil sektörü incelendiğinde, toplam lif tüketimi 1980 yılından itibaren şekil 1.1’de görüldüğü gibi sürekli olarak artmaktadır. Lif kullanımının artması neticesinde, üretilen doğal lif miktarı yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliği ortadan kaldırmak adına, sentetik lif üretimi yoluna gidilmiştir. Bu durum, sentetik stapel ve filament lif gibi liflerin üretiminde ciddi bir artış meydana getirmiştir. Bu üretim artışı neticesinde sentetik liflerin üstünlüğünü doğal liflerin almakta olduğu görülmektedir. Toplam sentetik lif üretim miktarı incelendiğinde ise, PET liflerinin en yüksek üretim miktarına sahip olduğu, her geçen gün talebinin arttığı ve en popüler lifler haline geldiği görülmektedir. Dünyada üretilen liflerin %37,3’ü doğal lif ve %62,7’si sentetik liflerden oluşmaktadır (Koszevska, 2018). Ayrıca tüketilen sentetik liflerin %55’i poliester ve PET (Polietilen tereftalat) esaslı liflerden oluştuğu görülmektedir (Freitas, 2017; Rengel, 2017). PET

üretimini, %60'ı tekstil sektöründe lif üretimi için yaklaşık %30'u ise şişe üretimi için kullanılmaktadır (Telli, 2011). PET liflerinin hammadde maliyeti diğer lifler ile karşılaştırıldığında, daha avantajlı oldukları bilinmektedir. Bu sebepten dolayı sözü geçen her iki sektör için de önümüzdeki yıllarda tüketim miktarının artması ön görülmektedir. Petrol veya petrol türevi plastiklerden olan PET ve benzeri ürünler gerek üretim sırasında, gerekse doğada bozunma süresi açısından çevre dostu olmayan ürünlerden sayılmaktadırlar. Fakat kullanım alanı ve miktarı göz önünde bulundurularak hayatımızda vazgeçilmezler arasında yer almaktadırlar.

Bu derecede kullanım miktarlarının artması benzer ürünlere göre maliyetlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı bu liflerden üretilen malzemelerin geri dönüşüm gerekliliği açık bir şekilde ortadadır. Ayrıca üretimlerinde kullanılan teknolojilerdeki güncelleme ihtiyacı ve bu malzemeler sayesinde oluşan atık maddelerin ortadan kaldırılma zorunluluğunun göz ardı edilemez boyutta olduğu bilinmektedir. Günümüzde plastiklerin gerçek maliyetleri; oluşturdukları çevre kirliliği, sağlığa etkileri ve geri dönüşebilirlikleri hesaba katıldığında ortaya çıkmaktadır. Bu konuda en bariz örnek Asya ülkelerinde yaşanmaktadır. Çin ve diğer Asya ülkeleri günümüzde sentetik lif üretim merkezi haline gelmiştir. PET lif üretiminin yaklaşık %92'sine ve tüketiminin yaklaşık %86'na sahip olan bu ülkeler, çok büyük çevresel sıkıntılarda karşı karşıya gelmektedirler (Freitas, 2017).

2. PLASTİKLER

“Plastikos” Yunanca kökenli bir sözcük olup plastik adı, kalıp yapma veya biçimlendirilme anlamına gelmektedir. Günümüzde kullanılan plastiklerin bir çoğu madeni yağ (petrol), kömür katranı ve doğal gazların türevlerinden üretilmektedir. Petrol rafinelerinden geriye kalan maddeler genellikle plastiklerin ana kaynağını oluşturmaktadırlar. Plastik üretimi için, üretilmekte olan toplam petrol miktarının %4'lük bir kısmı kullanılmakta ve bu miktarın yaklaşık 5,75 milyon tonunu PET oluşturmaktadır (Bilici, 2014; Pehlivan, 2004).

Plastik malzemelerin genel özellikleri asitlere ve çevre koşullarına dayanıklı olmalarının yanı sıra, sudan etkilenmemeleri fakat ateşe dayanıksız olmalarıdır. Genellikle plastiklerin yumuşamaları 80°C sıcaklığın üzerine çıktıkları zaman başlamaktadır. Polimerler özgül ağırlık açısından düşük özelliklere sahiptirler ve bu özellikleri yaklaşık 1-2 g/cm³ değeri aralığındadır. Sıcaklık etkisiyle birlikte plastiklerin davranışları endüstride iki gruba ayrılır. Bu gruplar termoset (uzay ağı polimerleri) ve termoplastiklerdir (lineer polimerler).

Termoset plastikler çapraz bağlarla sertleştirilmekte olup, ısıtıldıkları zaman çözünmezler ve erimezler. Bu plastikler ısıtıldıklarında akışkan hale gelmecek derecede yumuşarlar. Termoset plastikler termoplastikler gibi tekrar kullanılamazlar. Sıcaklıkla yumuşayan (ısıl yumuşar) reçineler defalarca yumuşatılıp sertleştirilebilirler ve soğutulduktan sonra tekrar şekil alabilirler. Bu özelliklerinden dolayı da birçok kez kullanılabilirler. Sıcaklık etkisiyle yumuşayan plastik tiplerinin 6 farklı çeşidi vardır. Bunlar:





1. Polistiren
2. Polipropilen
3. Düşük yoğunluklu polietilen
4. Yüksek yoğunluklu polietilen
5. Polietilen tereftalat
6. Polivinilklorür




Plastiklerin kullanımı sağladıkları avantajlardan dolayı 1970'lerden sonra artmaya başlamış ve kullanımları zaman geçtikçe yaygınlaşmıştır. Ayrıca hafif olmalarından dolayı taşıma maliyetlerinin düşük olması ve yalıtkan olup istenilen şekli alabilmelerinden dolayı plastikler ambalaj sektöründe sıklıkla kullanılmaya başlamıştır. İçecekler için kullanılan cam şişeler zaman içerisinde yerini PET şişelere bırakmıştır. Bunun sebebi ise daha hafif ve maliyet açısından daha avantajlı bir malzeme olmasıdır. Böylelikle endüstri yeni bir hammadde ile tanışmış olup, kullanımı da her gün daha da artmaktadır (Mannhart,1998).

Plastiklerin maliyetlerinin düşük olması, bu malzemelerin atık olarak atılmasını sağlamaktadır. Ayrıca maliyetinin düşük olması da yeniden kullanımı için bir engelleyici faktör haline gelmiştir.

Bu alanda, plastiklerin geri dönüşümünü kolaylaştırmak adına ilk adım Society of Plastics Industry Kurumu tarafından 1987 yılında atılmıştır. Bu kurum plastiklere tanımlayıcı kodlar (Çizelge 2.1) vererek plastiklerin tekrar kullanılmasında kolaylıklar sağlamıştır. Yapılan kodlama işleminin en büyük avantajı, yeniden kullanılabileceğimiz plastikleri ayrı ayrı elde etmek ve bunları termosetler ve benzeri formlardan ayırmaktır (Bilici, 2014; Pehlivan, 2004).

Çizelge 2.1. Geri dönüşüm kodları ve kullanım alanları (Sevencan et al.2007).

Plastik	Dönüşüm No	Polimer İsmi	Geri Dönüşüm Kullanım Alanı
PET		Polietilen Tereftalat	Giyim, Halı, Film, Yiyecek ve İçecek Kapları
YYPY		Yüksek Yoğunluklu Polietilen	Yüksek Olmayan Ürün Kapları (Şampuan, Deterjan vb.), Plastik Kereste, Boru, Kova, Sepet, Çiçek Saksısı, Film, Atık Kutusu, Döşeme Çivisi
PVC		Plastikleştirici İçermeyen Polivinil Klorür (UPVC)	Paketleme, Cilt Kabı, Havuz Kenarı Döşemesi, Lambri Kaplama, Oluk, Çamurluk, Film, Döşeme Çivisi, Trafik Konisi, Elektrik Ekipmanı, Bahçe Hortumu, Ev Süpürgeliği
		Plastikleştirici İçeren Polivinil Klorür (PPVC)	
AYPE		Düşük Yoğunluklu Polietilen	Çöp Kutusu Astarı, Yer Döşeme Çivisi, Plastik Kereste, Film, Çöp Kovası.

PP		Polipropilen	Otomobil Batarya Muhafazası, Sinyal Işıkları, Saplı Süpürge, Petrol Bacaları, Fırça, Bisiklet Dişli Çubuğu, Tırmık.
PS		Polistiren	Termometreler, Işık Kontak Plakası, Isı Yalıtımı, Yumurta Kartonları, Cetvel, Araba Plaka Çerçevesi, Köpük Ambalajı, Sofra Takımı.
		Köpük Polistiren (EPS)	
Diğerleri		Akriik, Naylon, Fiberglass, Polikarbonat, Polilaktik Asit, Akrilonitril, Stiren-bütadien.	

Plastik ürünlerin altında hangi tip plastikten üretildiğinin yazılması ve toplanırken tiplerine göre ayrılmaları ve tekrar kullanım için tek tip plastik olarak geri dönüşüm hattına girmesi, gelişmiş ülkelerin uyguladığı düzenlemelerden biri olmuştur. Bu uygulama sayesinde 1990 yılında ABD’de içecek için kullanılan plastik şişelerin %36’sı ve diğerk plastiklerin %2’sinin geri dönüşüm hattına girmeleriyle yeniden kullanılmaları hayata geçirilmiştir.

1990-2000 yılları arasında özellikle ABD’de plastiklerin geri dönüşüme sokulabilmesi için farklı yeni yöntemler üzerine yoğunlaşmıştır. Fakat 1994 yılında ABD’de PET şişe geri dönüşüm oranı %38 iken, bu değer 2002 yılında %20’ye kadar düşüş göstermiştir. Bunun sebebi ABD National Post-Consumer Kurumunun raporuna göre, azalan toplumsal bilinç ile birlikte işçilik maliyetinin yüksek olması olarak belirlenmiştir.

Türkiyede yayımlanan yönetmeliğın 2. Bölümünün 10. Maddesinde piyasaya aktaranların yükümlülükleri yer almaktadır. Yönetmeliğın 1. Bölümünün 5. Maddesinin “F” bendinde aşığıda verilen ifade yer almaktadır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2011).

“Ürünlerini ambalajlı olarak piyasaya sürenler, bu ürünlerin kullanımı sonucu ortaya çıkan ambalaj atıklarını kaynağında ayrı toplanmasını, geri dönüşümünü ve geri kazanımını sağlamak ve bu amaçla yapılacak harcamaları karşılamakla yükümlüdürler”.

Bu ifadenin yanı sıra Madde 24’te bulunan ifade ise şu şekildedir. “Yetkilendirilmiş kuruluşa üye olmadan piyasaya sürenler ile

yetkilendirilmiş kuruluşlar, bu yönetmeliğin 19' uncu maddesinde belirtilen geri kazanım oranlarını sağlayamamaları durumunda;

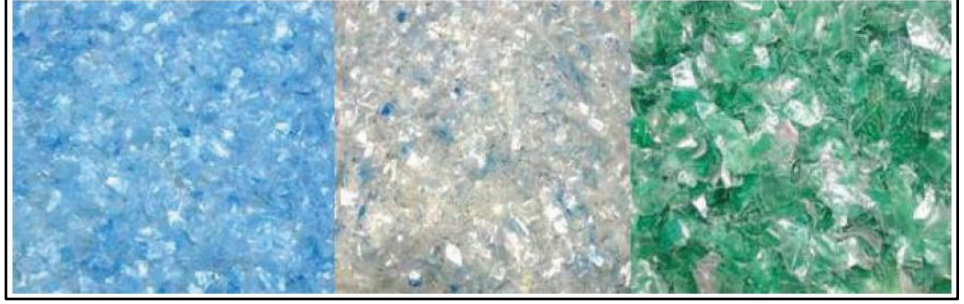
- a) Takip eden ilk yıl o yıl için uygulanan geri kazanım hedeflerine ilaveten, eksik kalan miktarın yüzde on fazlası,
- b) İkinci yılda öngörülen hedeflere ulaşamazlarsa eksik kalan miktarın yüzde on fazlası,
- c) Üçüncü yılda da öngörülen hedeflere ulaşamazlarsa 2872 sayılı Kanunun ilgili maddelerine göre cezai müeyyide veya idari yaptırım uygulanır”.

Günümüzde plastik kullanım alanları her geçen gün daha da artmakta olup, elektronik, makine endüstrisi ve otomobil gibi büyük sektörlerde de kullanılmaya başlamıştır. Bu kadar geniş bir kullanım alanına sahip olan bir malzemenin geri dönüşümü için hayata geçen yönetmeliğin Türkiye’de geri dönüşüm için itici bir güç olduğu düşünülmektedir.

Geri dönüşüm sürecinin en önemli aşaması plastiklerin birbirinden ayrılmasıdır. Bu konuda günümüzde farklı teknolojik yöntemler ve kimyasallar kullanılarak plastikler birbirinden ayrılmaktadır. Fakat plastiklerin birbirinden ayrılmasında en önemli konu çevreye zarar vermeden yapılmasıdır. Plastikleri birbirinden ayırmak, plastik çeşitlerinin fazla olmasından dolayı zor bir iş olup plastik mühendisliğini maliyetli bir işe çevirmektedir. Bunun yanı sıra, plastik malzemeler genellikle kompozit olarak kullanılmaktadırlar. Amerika Plastik Konseyi çalışmalarında, PET şişelerin geri dönüşüm için en uygun malzemeler olduğunu bildirmiştir. Bunun sebebi ise, PET tabanlı malzemelerin günümüzde en yüksek tüketime sahip olmasıdır. PET şişeler üretilen PET tabanlı malzemelerin yaklaşık %30’unu oluşturmakta olup, daha az kompozit olarak kullanılmaktadır. Bu sayede daha kolay geri dönüşüm hattına girebilmekte olup, özelliğini az miktarda kaybetmekle birlikte geri dönüşüm sonrası geniş bir kullanım alanı sergilemektedir.

Dünya genelinde 2007 yılında PET şişe tüketiminin 15.000.000 ton olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, toplanan PET şişe miktarı 4.500.000 ton olarak kaydedilmiştir ve toplanan PET şişelerin 3.600.000 tonu PET talaşına

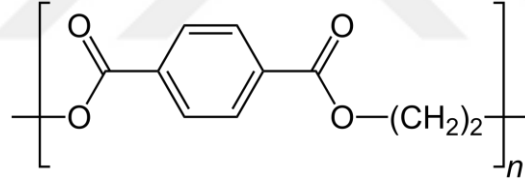
dönüştürülmüştür. Elde edilen PET talaşları en çok lif üretimi için kullanılmıştır. Literatür incelendiğinde toplam PET lif üretiminin %8'nin geri dönüşümden elde edilen PET çapaklarından üretildiği görülmektedir (Shen et al., 2010).



Şekil 2.1. Mavi, beyaz, yeşil PET talaşları (Telli, 2011).

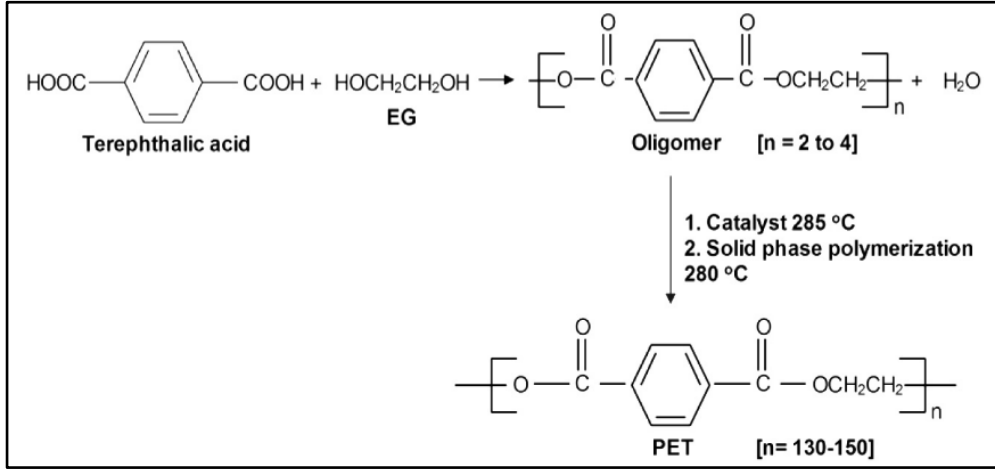
2.1. PET Eldesi

J.R. Whinfield ve J.T. Dickson tarafından 1941 yılında elde edilen Polietilen tereftalat ester grubu içerikli polimer maddeler yapısında yer almaktadır. Polietilen tereftalat'ın molekül yapısı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Polietilen tereftalat'ın molekül yapısı (Feitor et al., 2015).

Günümüzde polietilen tereftalat (PET) esaslı polimerler tereftalik asit veya dimetil tereftalat ile etilen oksit veya etilen glikol monomerlerinin polikondenzasyonu sonucunda elde edilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Tereftalik asit ve Etilen Glikolün polikondenzasyonu (Al-Sabagh, 2016).

Yukarıdaki bilgilere göre üç yöntem ile halen PET üretimi uygulanabilmektedir (Seventekin, 2003). Bu yöntemler:

- Dimetil tereftalat ve etilenglikolün polikondenzasyonu
- Tereftalik asit ve etilenglikolün polikondenzasyonu
- Tereftalik asit ve etilen oksitin polikondenzasyonu

şeklinde sıralanabilir.

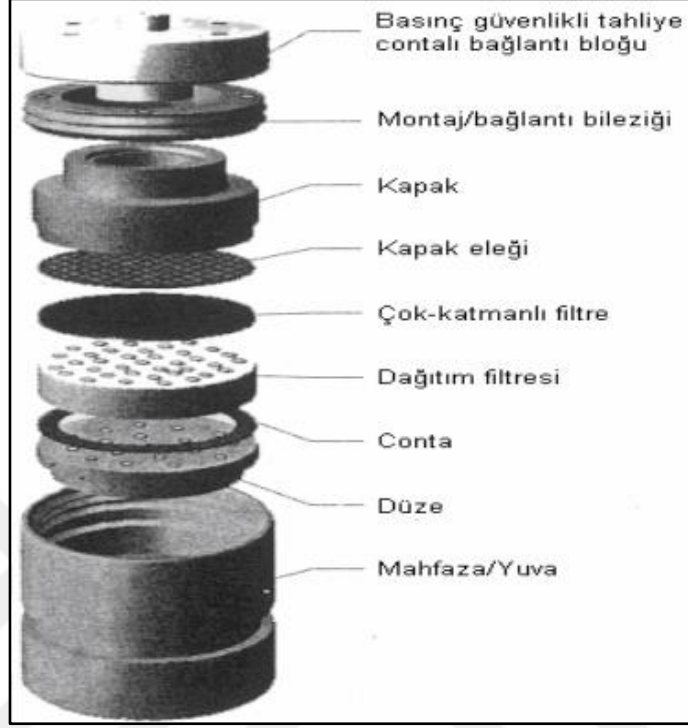
2.1.1. PET Liflerinin Elde Edilmesi

PET liflerin çekimi, eriyikten lif çekim yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Eriyikten PET lif çekimi için, çoğunlukla poliester cipsleri alınarak eritilmekte ve düzelerden geçirilmektedir. Ancak, kesintisiz olarak poliester üreten tesis ile lif çekim tesisinin aynı işletmede bulunması halinde, polikondenzasyon sonucu elde edilen poliester eriyiği, doğrudan lif çekimine de gönderilmektedir.

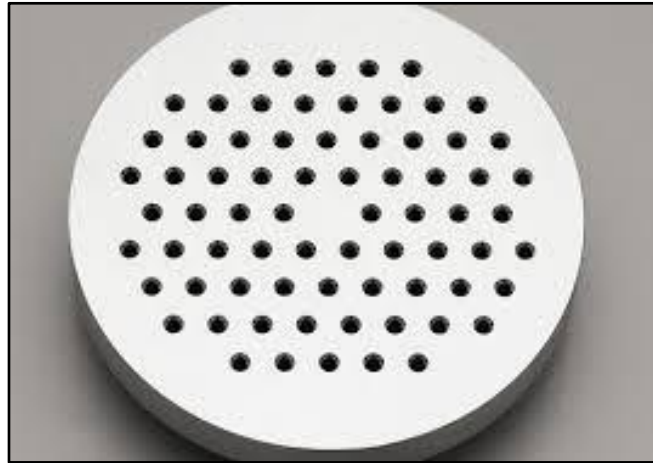
2.1.1.1. Poliester Eriğinden İplik Üretimi

İplik üretimi için polikondenzasyon hattından gelen ergitilmiş polimer, üretim hattına doğrudan ve eşit bir şekilde, özel tasarlanmış ve sıcaklık kaybı olmaması için izole edilmiş dağıtım borusu vasıtasıyla beslenmektedir (Çirkin, 2006). Dağıtım borusu içinde bulunan statik karıştırıcı, polimer eriğinin sıcaklık etkisiyle homojen şekilde dağılmasını sağlamaktadırlar.

Ergimiş polimerlerin filamentler haline getirilmesi, pompalar yardımıyla sistem içerisinde bulunan düzelerden (Şekil 2.4) polimerlerin püskürtülmesi ile sağlanmaktadır (Çirkin, 2006).



Şekil 2.4. Düzeye paketi (Garip, 2005).



Şekil 2.5. Düzeye (Çirkin, 2006).

Normal şartlarda ergimiş polimerler 30-40 bar basınçla akmaktadır. Kullanılan pompalar yardımıyla bu basınç 120 bar'a çıkarılarak düzelerden (Şekil 2.5) gönderilmektedir. Ergimiş polimerler düzeye girmeden önce ilk başta

filtrelerle, ikinci adımda sırasıyla ince ve kalın metal kumla temizlenmektedir. En son aşama ise distribütör plakanın bulunduğu pozisyonudur. Ergimiş polimer 280°C sıcaklıkla düzelerden çıkmaktadır. Üretim malifotları buhar dağıtım sistemi yardımıyla ısıtılmaktadır. Elde edilen filamentlere hava akımı yardımıyla soğutma kabiniinde spin-finish yağı uygulanmaktadır (Çirkin, 2006).

2.1.1.2. Poliester Cipsinden İplik Üretimi

Poliester cipsler, polikondenzasyon tesislerinde üretilmekte, granulatörde kesildikten sonra hava akımı yardımıyla yaş cips silosuna aktarılmaktadır. Bu üretim miktarı piyasanın renk ve ihtiyacına göre ayarlanmaktadır.

Elde edilen yaş cipsler, kurutma tesisinde kurutulduktan sonra, ekstrudere gönderilmektedir. Kurutulmuş cipslerin ergitilebilmesi için, ekstruder sisteminde bulunan sonsuz vida etrafına ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Sonsuz vida yardımıyla cipsler ilerlerken, etrafındaki ısıtıcılar cipsleri ısıtarak ergimelerini sağlamaktadır. Cipslerin ergimesiyle polimer basınç kazanmakta ve filtrasyon aşamasına geçmektedir.

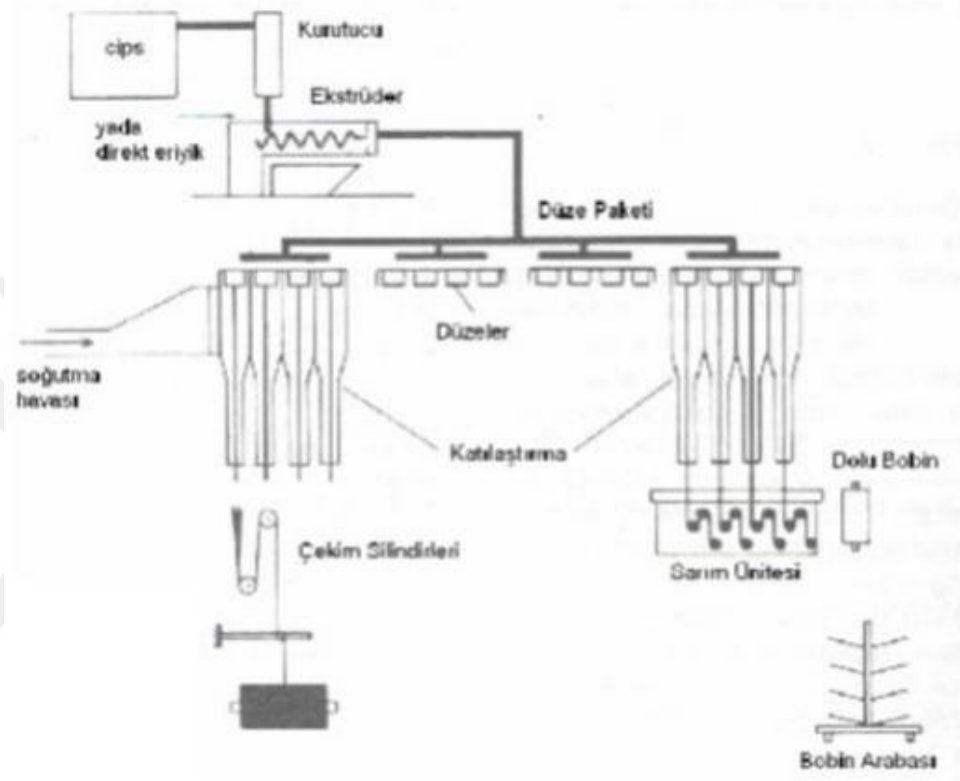
Şekil 2.6'da granül (cips) halindeki PET'ten POY (Partially Oriented Yarn) türü bir iplik üretimi için gerekli olan iş akışı verilmiştir (Garip, 2005).

Üretim hızına bağlı olarak üretilen farklı yapı ve özellikteki iplikler aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

- Low Oriented Yarn (LOY): 1000-2000 m/dak hızla üretilmiş ipliklerdir. Moleküllerinin oryantasyonu çok düşüktür. İki ya da daha yüksek bir oranda yapılacak bir çekme işlemi ile oryantasyon artırılmaktadır.
- Medium Oriented Yarn (MOY): 2000-3000 m/dak hızla üretilmiş ipliklerdir. Moleküller kısmen oryante olmuştur. Lif elementlerinin yönlendirilmiş yerleşimi iyi olduğundan daha sonra yapılacak çekme işlemi sırasında 2'nin altında oranlar kullanılabilir.
- Partially Oriented Yarn (POY): 3000-4000 m/dak hızla üretilmiş ipliklerdir. Moleküller oryantasyon artırılmıştır. İplik üretiminden

sonra uygulanacak germe işleminde 1.2-1.27 arasında çekme uygulanabilmektedir.

- Fully Oriented Yarn veya Fully Drawn Yarn (FOY veya FDY): 5000 m/dak ve üzerindeki hızlarda üretilmiş ipliktir. Moleküler oryantasyon tamamlanmıştır (Garip, 2005).



Şekil 2.6. Poliester cipsten POY (Partially Oriented Yarn) iplik üretiminin şematik görünümü (Garip, 2005)

FDY (Fully Drawn Yarn) iplik üretim sistemlerinin her işlem aşamasında iki adet alt ve bir adet üst indüktif çekme silindiri bulunmaktadır. Filamentlerin ilk çekme işlemi birinci galet tarafından yapılmaktadır. Ayrıca çekme belirtileri birinci ve ikinci galet arasında ortaya çıkmaktadır. Prosesin devamı POY (Partially Oriented Yarn) iplik üretim metoduyla aynıdır. Spin-finish yağlama işlemi ilk galetlerin önünde bir sistem yardımıyla yapılmaktadır. Spin-finish yağlama prosesinin homojen bir şekilde uygulanması filamentlerin ilerideki işlem aşamaları için önem arz etmektedir. Ayrıca, üretilen FDY (Fully Drawn Yarn) iplikler bu aşamadan sonra kumaş üretim sistemlerinde direkt olarak kullanılabilir (Çirkin, 2006).

2.1.2. PET Liflerinin Özellikleri

PET liflerinin özellikleri şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Ergime sıcaklığı 250°C civarındadır.
- Molekül ağırlığı 18000-25000 aralığındadır.
- Özgül ağırlıkları 1.38 g/cm³'dür. Bu oran amorf bölge oranına göre değişiklik gösterebilmektedir.
- Kopma dayanımları normal lifler için 4,5-5,5 g/denye'dir. Uzama yüzdeleri %15-25 arasında değişir.
- Hidrofobik özellikte olduklarından dolayı nem emme miktarları düşüktür. Nem miktarları normal şartlarda %0,4'dür.
- PET'ler asitlere karşı dayanıklıdır. Fakat yüksek sıcaklıklarda kuvvetli asitler liflere zarar verebilmektedir.
- Yapılarında bulunan ester bağlarından dolayı bazlara karşı düşük dayanımlara sahiptirler. İşlem süresi, sıcaklık ve bazın konsantrasyonu bu dayanımı etkilemektedir.
- Yükseltgen ve indirgen maddelere karşı dayanıklıdır.
- PET'ler benzinalkol ve fenol içeren ortamlarda kolaylıkla çözünürken, organik çözücü içeren ortamlara dayanıklıdırlar.
- Güneş ışığı dayanımlarını çok etkilemez. 3000 saat güneşe maruz kaldıklarında kopma dayanımı açısından %50 oranında bir düşüş göstermektedirler.
- Açık hava şartlarında dayanımları yüksektir. Bu sebepten dolayı yelken bezi, tente ve halat gibi parçaların üretiminde kullanılabilirler.
- Dispers boyarmaddeler çoğunlukla PET liflerin boyanmasında tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise, lif içerisinde düzgün bir dağılım sergilemesidir (Seventekin, 2003; Telli, 2011).

2.1.3. PET Liflerinin Kullanım Alanları

Tekstil sanayisinde PET lifleri geniş kullanım alanına sahiptir. Bu lifler tek başına kullanılırken, diğer liflerle karıştırılarak da kullanılabilir. Liflerin karışımına, saten, organze ve tafting gibi kumaşların üretimi örnek olarak

verilebilmektedir. PET lifleri sıklıkla pamuk lifiyle karıştırılmasının yanısıra, akrilik, yün, viskoz, ipek ve keten lifleriyle de karıştırılabilmektedir (Telli, 2011; Scheirs et al., 2003).

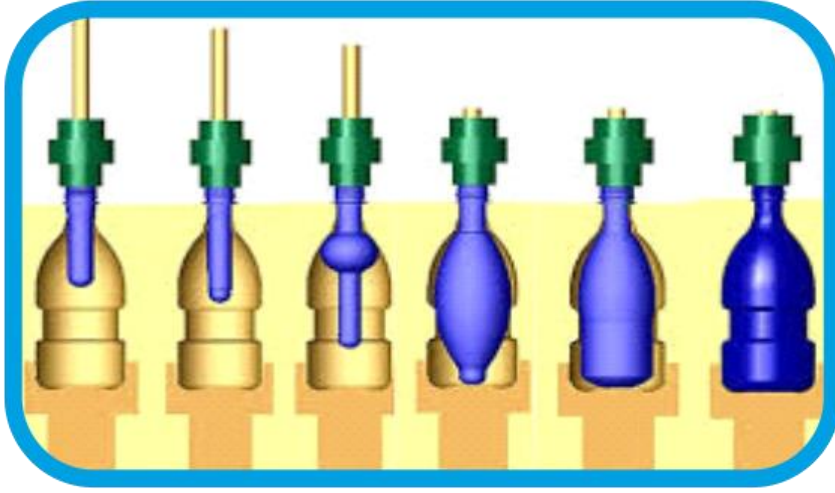
Kullanım alanları;

- Endüstriyel alanlar: Balık ağı, araba lastikleri, halat, dikiş ipliği ve yelken bezi yapımı,
- Ev tekstili: Yatak örtüsü, masa örtüsü, yastık, nevresim, perdelik kumaş ve halı yapımı,
- Giyim: Takım elbise, iç giyim, gömlek ve dış giyimde mont, kaban, pardesüdür.

2.2. PET Şişe Üretimi

Plastik şişelerin üretilmesinde sıklıkla kalıplama teknolojisi kullanılmaktadır. Plastik ürünleri üretim amacıyla kullanılan bu metotlar, ekstrüzyonlu kalıplama, sıkıştırımlı kalıplama, enjeksiyonlu kalıplama, hava basınçlı kalıplama ve termovakum kalıplama olarak bilinmektedir. PET şişelerin üretimi günümüzde preform enjeksiyon teknolojileriyle yapılmaktadır. Üretimi planlanan her PET şişenin şekli ve kalıp ağırlığı şişenin litresine göre hesaplanmaktadır.

Üretim hattında ilk başta, PET cipslerinin kurutucuda nemleri alınmaktadır. Bir sonraki adımda, nemi alınmış PET cipsleri ekstrudere gönderilerek ergitilmektedir. Ergitilmiş hammadde ara ürünü elde edilebilmesi için şekil (preform) kalıbına enjekte edilmektedir. Preform ısıtıldıktan sonra bir mil yardımıyla uzatılmakta, bir sonraki adımda hava basıncı yardımıyla şişirilmekte ve böylece tasarlanmış olan kalıp şeklini almaktadır.



Şekil 2.7. Pet şişe şişirme makinesinin şeması (GiridharReddy, 2013).

Üretilmiş olan şişeler ambalajlama sektörünün hammaddesini oluşturmaktadır. PET şişeler her ne kadar hayatımızı kolaylaştırırsa da, beraberinde bazı sorunları da getirmektedir. Yapılan araştırmalara göre, doğada bir PET şişenin biyolojik olarak çözünmesi 300 sene almaktadır. Ayrıca düşük hacim ve yoğunluğa sahip olduklarından, çöp depolama alanlarının hacmini ciddi derecede azaltmışlardır. Ekonomik açıdan ve çevre sorunlarını azaltmak adına PET şişe atıklarının geri dönüştürülmeleri ve bu konuyla ilgili teknolojilerin geliştirilmesi, ayrıca geri dönüşümden elde edilen malzemelerin kullanım alanlarının artırılması günümüzün önemli konularından biri olmuştur. PET şişe atıklarının yakılması veya depolanması yerine, hammaddelerin elde edilmesi, ekonomiye katkı sağlamasının yanısıra, tekstil endüstrisine de yardımcı olacaktır.

2.3. Geri Dönüşüm İçin Plastiklerin Temin Edilmesi

Geri dönüşüm işlemlerinin uygulanabilmesi için, plastiklerin elde edilmesi ilk aşama olarak bilinmektedir. Atık plastiklerin temini kaynaklarına göre;

- Proses atıkları
- Kullanım sonrası atıklar (Proses dışı atıkları)

olarak, iki ana gruba ayrılabilir (Öncel et al., 2017).

Proses atıkları sınıfı incelendiğinde, plastik imalat hanelerinde, üretim hatasından dolayı meydana gelen atıklar veya üretilen ürünlerin çapaklarının

alınmasından ortaya çıkan atıklardır. Proses aşamalarından elde edilen atıklar toplam üretimin yaklaşık olarak %10'nu olup, temiz atıklardan sayılabilmektedir.

Kullanım sonrası atıklar sınıfında ise, kentsel atıklar, ambalaj, otomotiv, elektrik-elektronik, ziraat, inşaat alanlarında kullanıldıktan sonra meydana gelen atıklar yer almaktadır. Kullanım sonrası atıkların geri dönüşümü dört ana başlıkta detaylandırılmaktadır. Bunlar;

- Birinci yöntem, birincil geri kazanım yöntemidir. Genelde termoplastikler için uygulanır. Ana amacı ise orjinal polimerlerden üretilen ürünlere eşdeğer ürünleri atık plastiklerden elde edebilmektir.
- İkincil geri kazanım'da (mekanik) orjinal polimerlerden üretilen ürünlere nazaran daha düşük kaliteye (ikincil kalite) sahip ürünleri atık plastiklerden elde edebilmektir. Bu yöntemde, atık plastikler küçük parçalara bölünmekte, temizlenmekte, kurutulmakta ve yoğunluğuna göre ayırma işleminden geçirildikten sonra orjinal plastikte uygulanan aşamalar yerine getirilmektedir.
- Üçüncül geri kazanım, kimyasal geri kazanım olarak bilinen bir metottur. Geri kazanımdaki ana amaç, plastiğin orjinal polimerini, üretilen polimerin monomerini veya diğer kimyasalların hammaddesini atık plastiklerden elde etmek veya ara madde olarak kullanılmasını sağlamaktır (David, 2005; Bartolome et al., 2012).
- Plastik atıklardan yakma işlemi sonucunda elde edilen enerji kazanımıdır. Bu geri kazanıma dördüncül geri kazanım ismi verilmektedir. Bu yöntem ısı geri kazanmak için uygulanan bir yöntemdir. Eğer yukarıda bahsedilen yöntemlerden hiç biri kullanılamıyorsa, atık plastiklerin ıslısından faydalanmak adına tercih edilen bir işlemdir (Bartolome et al., 2012).

2.4. PET'in Geri Dönüşüm Prosesleri

PET atıklarının oluşturduğu çevre kirlilikleri her geçen gün daha fazla dikkat çekmektedir. Bu PET atıklarının artması büyük çevre problemlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan sorunların en basitinden, toprağın ve suyun kirlenmesi sayılabilmektedir. Uzun vadede PET atıkların oluşturabileceği sorunların hangi seviyede olabileceği henüz ortaya çıkarılmamıştır. PET şişe kullanımının yaygınlaşması son 30 yılda artmıştır. Bu seneler içerisinde PET atıkların çevrede oluşturabileceği sorunların hangi derecede olabilmesi konusunda yeterli istatistik veriler bulunmamaktadır. Bu konuların yanısıra, her yıl çevreye PET atıklarının karıştığı maddi değeri ve miktarı düşünüldüğünde, geri dönüşümün hem maddi açıdan hem de kaynakların korunması ve etkin kullanılması açısından büyük önem arz ettiği görülmektedir.

PET geri dönüşüm mekanizması, atık PET şişelerinin azaltılmasında en ekonomik yöntem olarak bilinmektedir. Atık PET şişelerin geri dönüşümünü iki ana başlık altında incelemek gerekmektedir. Bu başlıklar, mekanik ve kimyasal olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

2.4.1. PET'in Kimyasal Olarak Geri Dönüşümü

PET atıkların kimyasal olarak geri dönüşümü genel olarak iki şekilde, oligomerler içerisinde parçalı ve monomerler içerisinde toplu depolimerizasyon şeklinde yapılmaktadır.

Kimyasal ve mekaniksel PET geri dönüşüm prosesleri içerisinde, mekanik proses daha ucuz ve basit bir proses olduğu için kimyasal prosese nazaran daha sık tercih edilmektedir (Bilici, 2014).

2.4.1.1. Aminoliz

PET'lerin geri dönüşümünde çeşitli aminler kullanarak depolimerizasyon işleminin yapılmasına aminoliz denir. Bu işlem sonucunda elde edilen ürünler genellikle üretilen reçine ve epoksi üretim alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Bartolome et al., 2012).

2.4.1.2. Amonoliz

Genellikle susuz amonyak yardımıyla etilen glikolun bulunduğu ortamda amonoliz işlemi gerçekleştirilir. Tereftalamid'in tepkimesinden elde edilen diaminler farklı poliamidler elde edebilmek için sıklıkla kullanılmaktadır.

2.4.1.3. Metnoliz

Metnoliz prosesinde molekülün depolimerizasyonu için PET atıklar üzerinde 200 °C'de basınçlı ortamda metanol ile işlem yapılır. Bu işlem sonucunda, etilen glikol ve dimetiltereftalat ürünleri elde edilir. Kristalizasyon ve destilasyon işlemleri ile DMT saflaştırılmış olup tekrar PET üretiminde kullanılabilir duruma getirilebilmektedir. Tekrar PET üretimi ve antifreez üretiminde bir kez saflaştırılmış etilen glikol kullanılabilir (Bartolome et al., 2012).

2.4.1.4. Hidroliz

PET atıklarının hidrolize edilmesi için su, baz veya asit uygulamaları gerçekleştirilir. Bu uygulamalar sonucunda etilen glikol ile tereftalik asit elde edilir. Elde edilen bu ürünlerin tekrar kullanılabilmesi için saflaştırmaları gerekmektedir. Metnolize ve glikoliz'in uygulama alanları ticari hidrolize nazaran daha geniş olmaktadır.

2.4.1.5. Sabunlaştırma

PET atıklarının hidrolize edilmesi için alkali kullanılmaktadır. Bu işlemin ticari olarak yapılabilmesi için Unpet (USA) ve Recopet (Fransa) sistemleri geliştirilmiştir. Recopet sistemlerinde PET atıklarından elde edilen flaketlerin sabunlaşması ve filtre edilmesi uzun uğraş gerektiren işlemlerdir. Boyaların ekstrakte edilmesi tereftalik asidin çökmesinden önce yapılmaktadır. Bu aşamada sodyum sülfat ile etilenglikol'un ekstrakte edilmesi gerçekleştirilmektedir. Unpet sisteminde disodyumtereftalat ve etilen glikol elde edilmektedir.

2.4.1.6. Piroliz

Mixed-stream thermoset polimerlerin bozuşturulmaları için oksijenin olmaması ve yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. İşlem sonucunda hidrokarbon karışımları (naftaya benzer) elde edilmektedir. Piroliz sistemleri ticari olarak geliştirilmiş olup Çizelge 2.2’de uygulama aşamaları ve ekonomik rekabet edilebilirliği, ayrıca üretim maliyet açısından kıyaslamaları verilmiştir (Bartolome et al., 2012).

Çizelge 2.2. Kimyasal geri dönüşüm yöntemlerinin uygulanabilirliği.

Yöntem	Üretim Maliyeti	Ekonomik Rekabet Edilebilirlik	Uygulama
Hidroliz	Yüksek	Yüksek Kapasitede	Endüstriyel Olarak Uygulanmakta
Metnoliz	Yüksek	Yüksek Kapasitede	Endüstriyel Olarak Uygulanmakta
Glikoliz	Orta Düşük	Düşük Kapasitede	Endüstriyel Olarak Uygulanmakta
Aminoliz	Düşük	Yüksek Kapasitede	Endüstriyel Olarak Uygulanması Bulunmamakta
Amonoliz	Düşük	Ürüne Bağlı	Endüstriyel Olarak Uygulanması Bulunmamakta

2.4.2. PET'in Mekanik Geri Dönüşümü

PET atıklarının mekanik olarak geri dönüşümünün yapıldığı tesislerde, ilk önce atık PET’ler üzerinde bulunan çamur gibi istenmeyen maddelerden temizlemek için titreşimli elekten ve ikinci aşamada da, PET’lerin çelik ve tenekelerden ayrılması için elektromanyetik alandan geçirilmesi gerekmektedir. Alüminyum malzemelerin ayrılması için ise konveyör bant sonuna yerleştirilmiş manyetik çubuklar kullanılır (Sevencan et al., 2007). Temizleme aşamasının sonunda elde edilen PET’ler balyalanarak tesislere götürülmektedir.



Şekil 2.8. Hurda PET şişeler (Pınar, 2019).

2.4.2.1. Ayıklama

Ayıklama işleminde balyalar açıldıktan sonra, konveyör bandının üzerine getirilir (Şekil 2.8, Şekil 2.9). Band üzerine getirilen atıklar ilk başta yabancı maddelerden ayklanır. Daha sonra gerektiği durumlarda renklere göre ayıklama işlemi el ile yapılabilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.9. Preslenmiş ambalaj atık balyaları.



Şekil 2.10. Konveyör band üzerinde renklerine göre el ile ayırma işlemi.

PET atıklarının yabancı maddelerden temizlenmesi, ilerideki aşamalarda atık PET'lerin bozunmaması için kritik ve önemli bir aşamadır. Plastiklerin birbirinden ayrılması gerektiğinin en önemli hususlarından biri, farklı plastikleri farklı ergime sıcaklıklarına ve farklı termal parçalanma noktalarına sahip olmalarıdır.

Plastiklerin karışımlarının üniform olması gerekmektedir. Üniform olmayan karışımlar düşük mekanik performans sergilerler. Bu sebepten dolayı, her bir grup kendi içerisinde doğru bir homojenitede ve dağılımda olması gerekmektedir (Goodship, 2007). Atık plastiklerin ayrılmasındaki en önemli amaç, geri dönüşüm prosesinden elde edilen plastiğin olabileceği kadar üstün seviyede (saflıkta) olması ve özellikler açısından değişmeyen bir değerin elde edilmesidir.

Çizelge 2.3. Plastiklerin birbirleriyle karıştırılmasında aralarındaki uniformite (Goodship,2007).

polimer	PS	PA	PC	PVC	PP	LDPE	HDPE	PET
polistiren	Y							
poliamid	N	Y						
polikarbonat	N	N	Y					
Polivinil klorid	N	N	N	Y				
polipropilen	N	N	N	N	Y			

Low-density PE	N	N	N	N	N	Y		
High-density PE	N	N	N	N	N	N	Y	
Polietilen Tereftalat	N	N	N	N	N	N	N	Y
Y= karıştırılabilir, N= karıştırılmaz								

2.4.2.2. Kırma

Atık PET şişeler ön yıkama aşamasından sonra ıslak veya kuru olarak kırılırlar (Şekil 2.11). PET şişeler kırma makinesinde 10-12 mm boyutunda küçük parçalara bölünür. PET sert malzeme olduğu için, bu malzemeleri küçültmek için kullanılan bıçakların ömürleri çok uzun değildir. Bu sebepten dolayı, atık PET şişelerin hem toz oluşturmaması açısından hem de bıçak ömrünün artırılması açısından ıslak olarak kesilmeleri tercih edilmektedir.



Şekil 2.11. Kırma işlemi çıkışı PET malzeme (Telli, 2011).

Yukarıda da bahsedildiği gibi PET kesici aletlerinin ömürlerini kısa olduğu için, bir geri dönüşüm tesisinde kesici aletlerin bakımları için bileme makinelerinin bulunması gerekmektedir (Anabal, 2007; Telli, 2011).

2.4.2.3. Yıkama

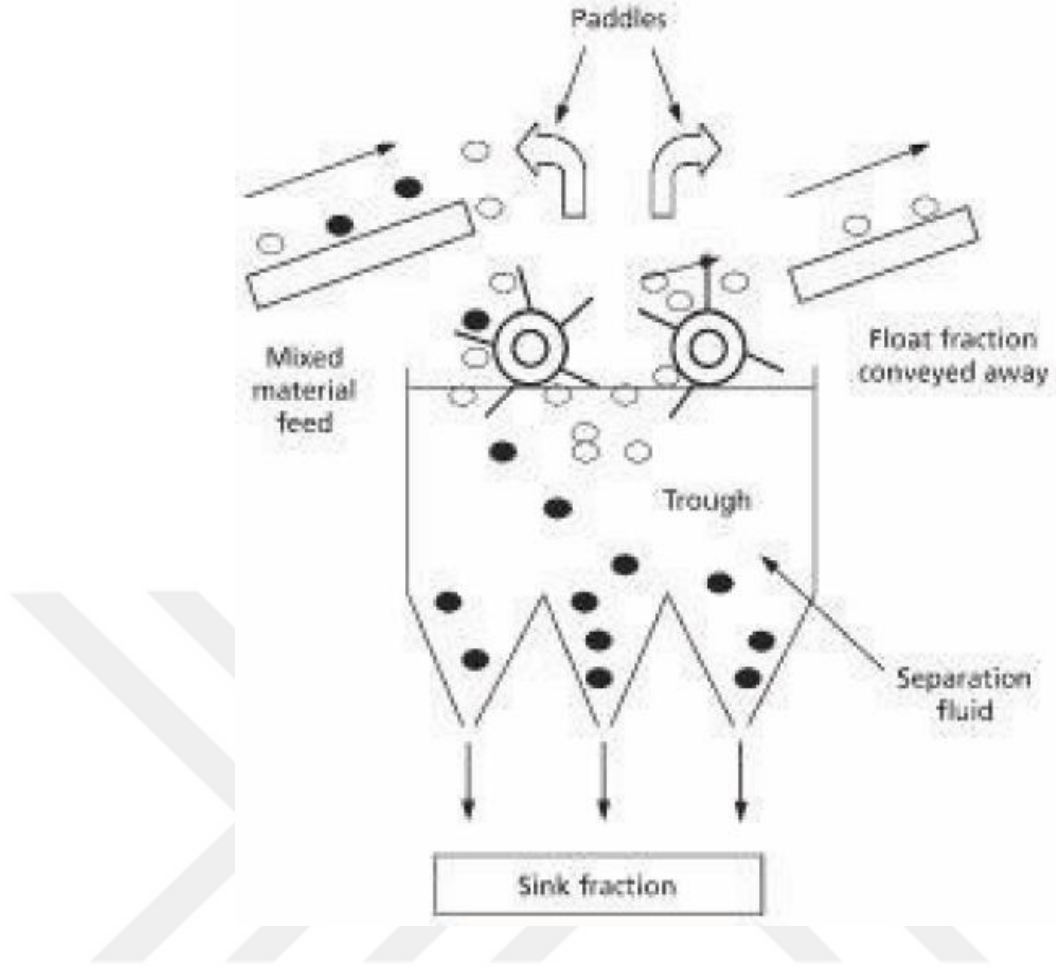
Yıkama işlemi PET şişelerin üzerinde bulunan etiket ve kapak gibi yüzen plastiklerden kurtulmak için geri dönüşüme alınacak olan atık PET'ler üzerine

uygulanır. Bu işlem etiket yapışkanı, şeker, ambalaj içinde kalan yağ ve benzeri kolay çıkmayan maddelerden kurtulabilecek şekilde tasarlanmaktadır (Anabal, 2007; Bilici, 2012; Telli, 2011).



Şekil 2.12. Yoğunluk farkına göre ayırım: Yüzdürme- Batırma banyosu (Telli, 2011).

Kırılmış PET parçacıkları, ilk yıkama havuzundan alındıktan sonra, batırma-yüzdürme ünitesine atılır (Şekil 2.12). Bu aşamada, PET parçalarının yoğunlukları sudan fazla olduğundan suyun altına batacaklardır (Şekil 2.13). Kapak, kağıt ve etiket gibi PET dışı parçaların (PE ve PP malzemeler) yoğunlukları sudan düşük olduğu için suyun üzerinde yüzeceklerdir.



Şekil 2.13. Yüzdürme ve Batırma banyosu şematize görüntüsü (Telli, 2011).

Yapılan işlemler, %2 kostik içeren çözelti kullanılarak yapılmaktadır. Yıkama aşamasını bitirmek için, 93 °C’de ikinci yıkama işlemi yapılır ve yıkama aşaması sonlandırılır (Goodship, 2007; Anabal, 2007; Telli, 2011).

2.4.2.4. Kurutma

Kurutma işlemi, santrifüj kullanılarak yapılmaktadır. Bu aşamada, PET parçacıklarında yıkamadan dolayı oluşan nem miktarını %3 civarına indirgemenin yanısıra, PET kırık parçaları içerisinde kalan tozlarda santrifüj’de bulunan delikler yardımıyla atılmaktadır. Kurutma işlemi geri dönüşüm prosesinin en önemli aşamalarından sayılmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. İnce kıyım işlemi uygulanmış kurutulmuş PET talaşları.

PET geri dönüşümde, hidrolitik parçalanma etkisinin azaltılması için parçacıklardaki nem oranının azaltılması gerekmektedir. Elde edilen kurutulmuş PET parçacıkları uygulama alanı ve tercih'e göre tekrar ince kıyım makinesinden geçirilebilmektedir (Anabal, 2007; Telli, 2011). Yapılan çalışmalar, genellikle 1.33 kg PET şişeden, 1 kg PET parçacıklarının elde edildiğini kanıtlamaktadır (Shen et al., 2010). Bu aşamadan sonra PET malzemesinin geri dönüşümü önem arz etmektedir. Geri dönüşüm işlemleri, kimyasal, maddesel ve termik olmak üzere 3 farklı yöntem ile yapılabilmektedir.

2.5. PET Mekanik Geri Dönüşümünde Kirleticilerin Etkisi

Mekanik geri dönüşüm'de parçacıkların kirliliği PET'in özelliklerini etkileyen ana faktörlerden sayılmaktadır. PET üzerinde bulunan kirlilikler ne kadar azaltılırsa, geri dönüşüm prosesinden elde edilen ürünlerin kalitesi artmış olacaktır.

- **Asit Kirliliği;** PET geri dönüşüm prosesinde farklı asitler oluşmaktadır. Bu asitlerden en önemlisi, asetik asit (polivinil asetatdan kaynaklanan), abiyetik asit (yapıştırıcılardan kaynaklanan), reçine asidi, hidroklorik asit (PVC'den kaynaklanan) olarak sayılabilmektedir. Oluşan asitler, PET parçacıklarının ergime prosesi boyunca katalizör olarak

davranırlar ve böylece PET zincirlerinin parçalanmasına sebep olurlar.

- Renkli maddeler; renkli şişelerden ve etiketlerde kullanılmış olan mürekkeplerden istenmeyen renkler olarak PET geri dönüşüm prosesine dahil olmaktadır. PET geri dönüşüm fabrikalarında, farklı renklerdeki PET şişeler birbirinden ayrılırlar ve birbirinden farklı olarak işlem görürler. Bu ayırma işleminin yanısıra, temizleme işlemi esnasında, etiketler ve etiketlerin yapıştırılması için kullanılan yapıştırıcılar tamamen ortamdaki uzaklaştırılmalıdır. Bu ayırma işleminin sebebi ise, etiket ve yapıştırıcıların farklı plastik malzemelerden olmasıdır. Farklı plastikler PET'lere karıştığında, geri dönüşümden elde edilen malzemelerin özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu şekilde ayırma işlemi yapıldığında, renkli şişelerin yapısında bulunan ve istenmeyen renklendirici kimyasallar diğer PET'lere karışmamaktadır.
- Diğer safsızlıklar; PET'ler farklı kullanım alanlarına ve içerisinde saklanan maddeler farklı olduğundan, değişik safsızlıklara sahiplerdir. Örnek olarak, deterjan, sıvı yakıt, sabun veya turşu ürünleri verilebilmektedir. Geri kazanımdan elde edilen maddeler için bu malzemelerin (deterjan, sabun vb.) sağlıklı olmadığı düşünülmekte olup farkında olmaksızın bazı problemler ortaya çıkabilmektedir. PET'lerin safsızlıklardan arınmasının öneminden bir önceki bölümde kısaca bahsedilmiştir. Bu konudaki diğer önemli husus ise, ambalajlanmış olan şeker içeren maddelerin, atık PET ile fermente olması, alkol, karboksilik asitler ve aldehit gibi ürünleri oluşturabilmesidir. Yıkama prosesi aşamasının sonunda yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı safsızlıkların tamamen giderilmesi gerekmektedir (Demertzis et al., 1997).

2.6. Geri Dönüştürülmüş PET'lerin Kullanım Alanları

Plastik (PE, PP, PET, PVC, PS) hammadde olarak, ikincil ürün üretiminde kullanılmaktadır. Üretim alanlarından, pis su borusu, plastik torba, lif dolgu malzemesi, marley, sera örtüsü ve otomotiv sektöründe kullanımı örnek olarak verilebilmektedir. Otomotiv sektöründe bu ürünler genellikle kompozit malzeme olarak uygulanmaktadır (Anon, 2006). Yukarıda verilen uygulama alanlarının yanı sıra, aşağıda verilen alanlarda da kullanılabilir.

- Farklı kullanım alanlı bantlar, dolgu olarak kullanılan malzemeler, kartvizitler, plastik kartlar, vb.
- Panel, tampon vb. gibi araba parçaları
- Kumaş imalatı, elbiseler, döşemelikler, halılar, vb.
- Temizlik alanında kullanılan farklı malzemeler, yumurta kartonları.

2.7. Tekstilde Geri Dönüşüm PET'in Kullanımı

Dünya çapında geri dönüşümü yapılan PET'lerin %80-85'inin PET lif üretim alanında kullanıldığı düşünülmektedir. Pamuğun alternatifi olarak bilinen PET lifi, pamuğun üretiminin düşük olduğu yıllarda çok daha fazla talep edilmekte olup bu sebeplerden dolayı bu yıllarda fiyatında da artış görülmektedir. Türkiye endüstrisinde, tekstil sektörü ön planda olduğu için Uşak, Gaziantep, Adana ve Bursa gibi illerde, geri dönüştürülmüş PET'lerden lif üretimi yapan fabrikalar ciddi bir şekilde faaliyetlerine devam etmektedirler. Çin dünyadaki poliester imalatının merkezidir. Bunun yanısıra, Türkiye'de PET geri dönüşüm fabrikalarının bir çoğu, PET çapaklarını Çin'deki PET geri dönüşüm tesislerine ihraç etmektedirler (Anabal, 2007; Telli, 2011).

3. POLİESTER LİFLERİNİN BOYANMASI

PET lifleri sentetik lifler gibi sentez yoluyla kazanılan polimerlerden üretilmektedirler. Polimer maddeler, sentetik liflerin yapısını oluşturmaktadır. Bu maddeler doğada direkt olarak bulunmayıp, kömürün veya petrolün damıtılmasından kazanılmaktadırlar. Kazanılan polimer materyaller, sentetik lif haline eğirme metoduyla getirilmektedir.

PET liflerinin boyamaları zordur. Bu zorlukların aşağıda verilen faktörlerden kaynaklandığı bilinmektedir;

- Yüksek lif kristalizasyon özelliğine sahip olan PET liflerin de kristalin bölgelerinin fazla amorf bölgelerin az olması, bu şekilde sıkı molekül yapısındaki liflerin şişme yetenekleri düşük olup, camlaşma noktaları ise (80-100 °C) yüksektir.
- PET lifleri, hidrofob özelliğe sahip olduklarından yapılarında hidrofil gruplar içermemektedirler. Dolayısıyla % 0,4 gibi düşük nem çekme oranına sahiptirler,
- PET liflerinde, boyarmaddelerin bağlanabileceği fonksiyonel gruplar bulunmamaktadır.

PET liflerinin büyük moleküllü boyarmaddeler ile kolay bir şekilde boyanması mümkün değildir. Bunun sebebi ise, PET'lerin kristalin yapısından kaynaklanmaktadır. Çünkü boyarmadde buralara kolayca nüfuz edememektedir. PET liflerin kolayca boyanabilmesi için üç önemli faktör vardır. Birincisi, uygun boyarmadde seçimi, ikincisi, sıkı kristalin lif yapısının gevşetilmesi, üçüncüsü ise carrier adı verilen hızlandırıcıların kullanılması. PET liflerinin yapısını gevşetmek, şişirmek için uygulama alanı bulunan başlıca olanaklar şunlardır.

- Kaynama sıcaklığında Carrier yardımıyla boyama, çektirme metodu kullanılmaktadır.
- HT (basınç altında 100 °C ın üstündeki sıcaklıklar) şartlarında boyama, çektirme metodu kullanılmaktadır.
- Termosol yöntemine göre boyama, emdirme metodu kullanılmaktadır.

3.1. PET Liflerinin Dispersiyon Boyarmaddeleriyle Boyanması

PET ve asetat liflerinin boyanmasında en çok kullanılan boyarmadde grubu dispers boyarmaddeleridir. Bu boyarmaddeler suda çözülmeyen, hidrofop boyarmaddeler olduklarından, boyama bunların sulu dispersiyonları ile yapılır. Dispersiyon boyarmaddeleri piyasada genellikle azo ve antrokinon olmak üzere 2 farklı yapıda bulunmaktadır. Azo esaslı boyarmaddeler aşınabilirken, antrokinon esaslı boyarmaddeler aşınmaya karşı dayanıklıdır. Dispers boyarmaddeler ile PET liflerinin boyanması aşağıdaki yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir.

3.1.1. Dispersiyon Boyarmaddeleriyle Kaynama Sıcaklığında Carrier Yardımıyla Boyama

Carrier kelimesi hızlandırıcı anlamını ifade etmektedir. Tekstil endüstrisinde ise PET liflerinin boyanmasında Carrier, yardımcı madde olarak kullanılmaktadır. PET liflerinin Carrier yardımı ile boyanması, 100 °C'nin altında gerçekleştirilmektedir. Özellikle PET/poliakrilonitril, PET/yün ve PET/poliamid gibi karışım içeren liflerin boyanmasında 100 °C'nin altında işlem yapılması gerektiği için kesinlikle Carrier metodu kullanılmaktadır. Özellikle kaynatılmalarının uzun süre yapılması istenmeyen ürünlerin boyanması Carrier metoduyla yapılmaktadır. Çünkü bu yöntemde 85 °C'de boyarmadde iyi bir çekim sergilemektedir.

Carrier metoduyla boyama her zaman 100 °C'nin altında yapılmamaktadır. Bazı PET liflerin durumlarına göre ilave edilen Carrier miktarının azaltılmasıyla sıcaklık 100-120 °C'nin arasına çıkartılabilmektedir.

Carrier yöntemiyle boyamanın düşük sıcaklıklarda yapılması gibi avantajların dışında bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlardan, boyama maliyetinin yüksek olması, çevre kirliliği, koyu renkte boyamada istenilen boyama kalitesinin elde edilememesi ve boyama işlemi sonrası Carrier atıklarının ürün üzerinden uzaklaştırılması gibi sorunlar sayılabilmektedir.

PET'lerin boyanmasında Carrier ismi verilen ve boyama işlemine yardımcı olan maddenin etki mekanizması aşağıdaki şekildedir:

- Carrier, liflerin şişirilmesini sağlayarak boyarmadde moleküllerinin rahatlıkla PET içerisine yerleşebilmelerini sağlar
- Carrier, boyarmaddenin yerleşebileceği alanları PET lifleri içerisinde artırır.
- Carrier, dispersiyon boyarmaddesinin liflerin içerisine girebilmesi için, liflerin çevresinde film tabakası oluşturarak dispers boyarmaddesini içerisinde çözer.
- Carrier PET 'in camlaşma noktasını düşürür. Bu düşme, lif üzerindeki carrier konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Carrier PET zincir molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinin zarar görmesine neden olur. Böylece moleküllerin hareketlerinin artmasıyla lifin boyarmadde alımı artar.

3.1.2. Dispersiyon Boyarmaddeleriyle HT Şartlarında Boyama

HT boyama yönteminde, PET'in dispersiyon boyarmaddeleri ile boyanması için basınç altında yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 3.1).

Kaynama sıcaklığında uygulanan Carrier metoduna göre, HT yönteminin avantajları aşağıda verilmiştir:

- Liflerde 120-130 °C'de moleküller termal harekete geçmektedirler (Şekil 3.2). Bu hareketler sonucunda oluşan boşluklardan boyarmadde lif molekülleri içerisinde girebilmektedir ve böylelikle boyarmaddenin alımı kolaylaşmaktadır.
- Boyarmaddenin 120-130 °C'de çözünürlüğü arttığından dolayı boyama süreci hızlanmaktadır.
- Boyarmaddenin 120-130 °C'de migrasyon kabiliyeti artmaktadır.

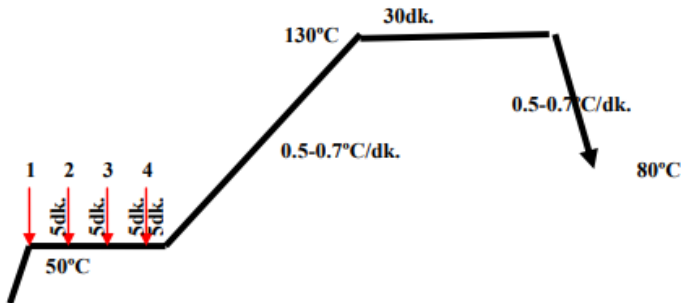
Dispersiyon boyarmaddeler içerisinde migrasyon yeteneğinin düşük olduğu gruplarda, HT boyama yöntemi kullanılarak yapılan boyamalarda sorun yaşanmaz. Bunun sebebi ise, sıcaklık artışı ile birlikte boyar maddenin migrasyon yeteneği de artmaktadır ve böylelikle düzgün boyamalar elde edilmektedir. Bu

yöntem sonucunda elde edilen haslık dereceleri düşük sıcaklıkta yapılan carrier boyama yöntemine göre daha iyidir.

HT yöntemi ile boyamada yardımcı maddeye daha az ihtiyaç duyulmaktadır (Çizelge 3.1). HT metodunda, carrier metoduna göre boyarmadde kullanımı açısından tasarruf yapılır. Bunun sebebi ise HT yönteminde boyarmadde alımının iyi olmasıdır.



Şekil 3.1. HT boyama makinesi.



Şekil 3.2. PET boyama diyagramı.

Çizelge 3.1. PET boyama reçetesi (HT boyama yöntemi).

1,5 g/l	Kırık önleyici
pH 5 – 5,5	Asetik asit
1,5 g/l	Egalizatör
1,5 g/l	Dispergatör
%X	Dispersiyon boyar maddesi

Koyu renkte yapılan boyamalarda boyama sonrası ilk başta sıcak, daha sonra soğuk yıkama bir sonraki aşamada ise indirgen yıkama işlemi yapılır. Bu işlem 20-30 dakika süre ile 70 °C'de gerçekleştirilir (Çizelge 3.2). Açık renk boyamalarda indirgen yıkamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. İndirgen yıkama aşamasından sonra asetik asit ile nötralizasyon işlemi yapılır.

Çizelge 3.2. İndirgen yıkama reçetesi.

5g/l	Sodyum Hidroksit
3g/l	Hidrosülfit
1g/l	Islatıcı
1g/l	Asetik Asit
İşlem Süresi	20–30 Dakika
İşlem Sıcaklığı	70 °C

3.1.3. Dispersiyon Boyarmaddeleriyle Termosol Yöntemine Göre Boyama

Termosol boyama yöntemi genellikle PET veya PET/selüloz karışımli kumaşların boyamasında tercih edilen kontinü bir metottur. Bu boyama işleminin esası PET kumaşların boyanmasında kullanılan dispersiyon boyar maddesinin fulard da emdirilmesine dayanmaktadır. Termosol metodu PET'lerin boyanmasında diğer metodlara nazaran daha çok tercih edilmesinin sebebi kontinü bir metod olduğu için üretiminin hızlı olmasıdır. Termosol metodunda, PET kumaşlar enine açık şekilde işlem görürler. Bu sebepten dolayı, boyarmadde fiksesi ile aynı anda PET kumaşların termofiksesi de gerçekleştirilir. Termosol

boyama metodu, sadece dokuma PET kumaşların boyamasında kullanılabilir. Çözgü yönünde esneme yaptığı için örme kumaşlar, termosol boyama metodu ile boyanmazlar.

Bu yöntemde çalışma şekli:

- Kumaşın boyarmadde banyosu ile emdirilmesi
- Kurutma (Ön kurutma + Esas kurutma)
- Fiksaj (termosolleme)
- Ard işlem adımlarından oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Termosol boyama makinesi.

- Emdirme: Daha önceden belirlenen boyama şartlarına göre hazırlanan emdirme banyosuna kumaşın daldırılmasıyla boyanın kumaşa aktarılması aşamasıdır. Emdirme aşamasının düzgün bir şekilde yapılabilmesi için, kumaşın eninden ve boyundan gerginliğinin doğru bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.
- Kurutma: Kurutma prosesi iki aşamada gerçekleştirilir. Ön kurutma işlemi birinci aşaması olarak yapılmaktadır. Bu aşamadaki amaç: boyanmış kumaşlarda bulunan nem miktarını %20-30 arasına düşürmektir. Kurutma işlemleri hot flue veya infrared makineler kullanılarak gerçekleştirilir. Ön kurutma sonrası, esas kurutma işlemi 100-120 °C'de gerçekleştirilir. Kurutma işlemi bitiminde kumaş üzerindeki nem miktarı tamamen uzaklaştırılır.

- Termosolleme: Termosolleme aşamasında 30-90 saniye süre içerisinde ve 180-220 °C'de kumaş üzerine yerleşen boyar maddenin lif içerisine diffüzyonu sağlanır. Boyama veriminin en iyi olduğu sıcaklığın 200 °C olduğundan dolayı, termosolleme işlemi yaklaşık bu sıcaklıklarda yapılır.
- Ard işlemler: Yapılan işlemlerin sonunda, durulama işlemleri sıcak ve soğuk olmak üzere, boyanan ürünlerin üzerinde bulunan boyarmadde atıkları ve kimyasalları temizlemek adına gerçekleştirilir. Bu işlemlerin ardından, boyanan ürüne mekanik olarak bağlanan boyarmadde atıklarını uzaklaştırmak adına indirgen yıkama işlemi uygulanır. Bu işlem 20-30 dakika sürede ve 70 °C'de gerçekleştirilir. Bu işlemlerin ardından sıcak durulama işlemi ve nötralizasyon işlemi gerçekleştirilir.

4. POLİESTER/SELÜLOZ KARIŞIMLARININ BOYANMASI ve BASKISI

Kontinü yöntemler ile yapılan PET/selüloz karışimli boyamalarda ön terbiye işlemi çok önemlidir. Boyama sonrası ürün üzerinde oluşabilecek lekelenme veya düzgünsüzlükler ile karşılaşmamak için ön terbiye işlemlerinin çok iyi yapılması gerekmektedir, öyle ki PET/selüloz boyanmasında hataların %70'i ön terbiye işlemlerinin iyi yapılmamasından kaynaklanır.

PET/pamuk ürünlerinin ön terbiyesinde, kullanılacak olan haşılama maddesinin türü doğru bir şekilde seçilmeli ve boyama öncesi kumaştan uzaklaştırılmalıdır. Su ile çözünen haşıl maddeleri için nötr pH'da yıkama işleminin gerçekleştirilmesi yeterlidir. Fakat su da çözülmeyen haşıl maddeler için ise önce enzimatik haşıl sökme ve ardından hidrofilleştirme işleminin yapılması uygun olacaktır.

Genellikle PET/pamuk karışım içerikli ürünler 70-80°C'de sodyum karbonat ve anyonik deterjan vasıtasıyla hidrofilleştirilebilir. Peroksit ağartmasının gerçekleştirilmesi için en ekonomik ve uygun yöntem pad-batch yöntemi olacaktır.

Ağartma işlemi sonrası soğuk merserizasyon absorbanın yapılmasının avantajlarından, renk veriminin artması, boyutsal stabilitenin artması ve parlaklığın artması sayılabilmektedir. Merserizasyon, pamuk yerine modal lif ya da viskon kullanıldığında uygulanmaz. Soğuk kostikleme ve devamında yıkama işlemi merserizasyon yerine uygulanabilir.

Boyutsal stabilite, buruşmazlık ve pilling gibi özelliklerin artırılması için PET/pamuk karışımlarının ramözden geçirilerek termofikse işlemi yapılması gerekmektedir. Bu işlem genellikle 180-200°C'de boyamadan önce veya sonra yapılabilir. Termofiksaj boyamadan önce yapıldığı takdirde, kumaşta herhangi bir safsızlığın veya yağ lekelerinin kalmadığından emin olmak gerekmektedir. Bu tarzdaki safsızlıklar eğer fiksaj esnasında lifin üzerinde kalırsa, iyice lif üzerine yerleşmiş olacaktır ve sonraki aşamalarda çıkarılması veya uzaklaştırılması zorlaşacaktır. Boyama işleminden sonra fiksaj işlemi yapılacak olursa, halat

boyamada meydana gelen kırıksıklıkları giderilecek ve elde edilen ürün son eninde sabitlenecektir.

4.1. Reaktif Boyarmaddeler

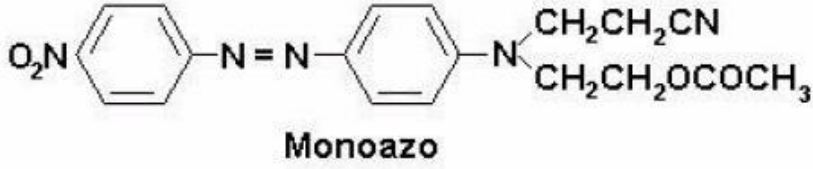
Reaktif boyarmaddeler kovalent bağ özelliğine sahip tek boyarmadde sınıfıdır. Bu boyarmaddeler kimyasal reaksiyonlarını pamuk lifinin –OH gruplarıyla gerçekleştirirler. Molekül yapıları basit ve küçük olup, molekül ağırlıkları 69-221 g/mol civarındadır. Küçük partiküllerden oluştuklarından ötürü, lif yapılarına hızlı bir şekilde nüfuz ederler. Diğer özellikleri, suda kolay çözünebilmeleridir. Kromoforu taşıyan renkli bir grup yanında bir köprü grubu, bir reaktif grup ve bir de çözünürlük sağlayan grupların oluşması tüm reaktif boyar maddelerin ortak özellikleridir. Reaktif grubu molekülün renkli kısmına bağlıdır (Başer ve İnanıcı, 1990).

Kullanılan boyarmaddelerin yıkama işlemi sonrasında, yaklaşık %15'lik bir kısmı çevreye karışmaktadır (Carliell et al., 1995; Phillips, 1996). Azo boyar maddeleri yaygın olarak tekstil sektöründe kullanılmaktadır. Fakat bu boyarmaddelerin problemlerinden biri, biyolojik olarak parçalanmamaları ve potansiyel toksisite teşkil etmeleridir. Bu sebepten dolayı atık su arıtımında sorunlar oluşturmaktadırlar (Yoo et al., 2000). Renk gamlarının tam oluşu ve iyi haslıkların elde edilebilmesi ayrıca reaktif boyarmaddelerin PET'i lekelememesi reaktif boyarmaddeleri PET/pamuk karışımlarının pamuk bileşeninin boyanmasında en önemli sınıf yapar. (Aspland, 1993, Shore, 1998) .

4.2. Dispersiyon Boyarmaddeleri

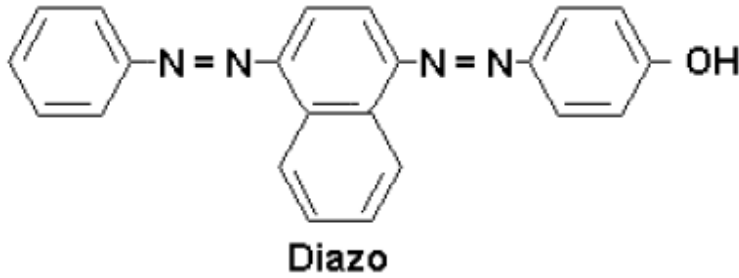
Dispersiyon boyarmaddelerin önemli özellikleri olarak, non-iyonik, hidrofob liflere afiniteye sahip, suda çözünmeyen ve küçük partiküllere sahip olmalarını sayabiliriz. Bu boyarmaddelerin liflere fiksaj özellikleri, üniformiteye, parça boyutlarına ve dispergir maddelerin yapısına bağlıdır (Nunn, 1979; Aspland, 1992). Ayrıca düşük molekül ağırlıklı olup, hidroksil ve amino grupları içeren bileşiklerdir (Bozdoğan, 1984). Boyama prosesi aşamasında, boyar maddeler lif üzerine dispersiyon ortamında difüzyon yolu ile yerleşirler. Boyama işlemi ise, boyarmaddelerin lifler içerisinde çözünmesi ile yapılır. Isıl işlem ile

birlikte dispers boyarmaddeler liflerin yüzeylerine doğru yönlendirilir. Liflerin yüzeylerinde hidrofop bitim kimyasalı bulunduğu durumlarda, dispers boyarmaddeler liflerin dışına yönlendirilir ve böylece lif üzerinde bulunan tabaka içerisinde çözünürler. Lif yüzeyinde boyarmaddenin gereğinden fazla kalması veya yukarıda bahsedilen durumun oluşması elde edilen ürünün, süblimasyon haslığı, yaş haslığı, kuru temizleme haslığı ve yıkama haslığı özelliklerini düşürmek ile birlikte oluşan rengin donuklaşmasına sebebiyet vermektedir (Aspland, 1992; Nunn, 1976). Daha çok tercih edilen ve kullanılmakta olan dispers boyarmaddelerin kimyasal türleri diazo, antrakinin ve monoazo yapılarıdır. Yukarıda adı geçen üç farklı kimyasal türdeki dispers boyarmaddeler en çok tercih edilen boyarmaddelerden olmaktadır ve kullanılmakta olan tüm dispers boyarmaddelerin yaklaşık %85'ini oluşturmaktadır. %15'lik kalan kısmı ise, stiren türevleri, aryl benzimidazoles, aminapthylimides, metin ve naphtholquinonemines'ler oluşturmaktadır (Vigo, 1994). Dispers boyarmaddelerin içeriğininin yaklaşık %50'sini monoazo boyarmaddeler (Şekil 4.1) ve %15'ini diazo boyarmaddeler (Şekil 4.2) oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Monoazo boyarmaddenin kimyasal yapısı.

Monoazo boyarmaddelerin en önemli özelliklerinden, düşük molekül ağırlıklı ve non-iyonik yapısına sahip olmalarıdır (Aspland, 1992; Vigo, 1994).



Şekil 4.2. Diazo dispers boyarmaddelerin formülasyonu (Vigo, 1994).

Dispers boyarmaddelerin farklılaştırılması için, yapılarında bulunan heterokromatik diazo bileşikleri ve benzen halkasında özel bileşenler kullanılır. Son yıllarda, heterosiklik bileşiklerin, diazo ve kenetleme bileşeni olarak dispers boyarmaddelerin sentezinde kullanılmaya başlamıştır. Dispers azo boyarmaddeler, genellikle kırmızı ve parlak mavi renkler oluştururlar. Ayrıca zayıf renk vermekte olan dispers antrakinonlar ile kıyaslandığında daha avantajlılardır (Nunn, 1979; Başer, 1990; Vigo, 1994).

Günümüzde tercih edilmekte olan dispers boyarmaddelerin yaklaşık %25'ini elektron verici grup taşıyan antrakinon bileşikleri oluşturmaktadır (Şekil 4.3). Elektron vericinin kuvveti ile birlikte bu süstitüentlerin absorpsiyon spektrumlarına etkisi'de artmaktadır. Antrakinon bazlı dispers boyarmaddeler çoğunlukla, viole, mavi, yeşil ve mavimsi kırmızı renkler oluşturmaktadırlar (Nunn, 1979; Başer, 1990).

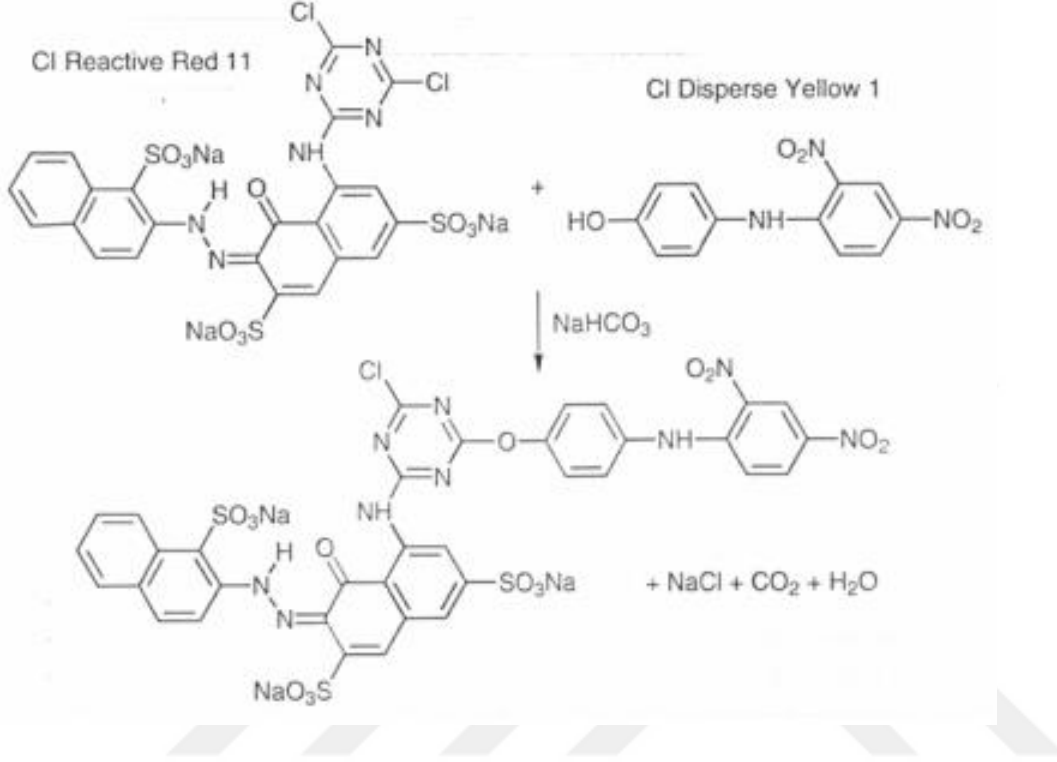


Şekil 4.3. Antrakinon dispers boyarmaddelerin formülasyonu (Vigo, 1994).

4.3. PET/ Selüloz Karışımlarının Boyanmasında Dispersiyon ve Reaktif Boyarmaddelerin Etkileşimi

PET/selüloz karışimli kumaşlarının çektirme metoduna göre tek banyoda boyanmasında iki boyarmadde çeşidinin etkileşimi en önemli faktörlerden biridir. Bazı dispers boyarmaddelerin reaktif boyarmaddeler ile kovalent bağ oluşturması, reaktif boyarmaddeler ile dispergatorlerin etkileşime girmesi ya da alkali ve elektrolit eklenmesi altında banyonun dispersiyon stabilitesini kaybetmesi oluşabilecek problemlerin başlıca sebepleri olarak sayılabilmektedir. Söz konusu etkileşim bazı durumlarda emdirme banyosunun jelleşmesine sebep olabilmemesinin yanı sıra her iki lifin boyama verimliliklerinde düşmesine sebep olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı yüksek derecede reaktiviteye sahip olan reaktif

boyarmaddeler kullanım için uygun değildir. Şekil 4.4’de gösterilmiş olan CI Red 11 ve CI Dispers Yellow 1’in reaksiyonunda sodyumbikarbonat varlığında meydana gelen monoklorotriazin boyarmaddesini buna örnek olarak gösterebiliriz.



Şekil 4.4. Sodyumbikarbonat varlığında CI Red 11 ile CI Disperse Yellow 1’in reaksiyonu.

Elde edilen ürünler stabil olmayıp, alkali şartlarda hızlı bir şekilde bozunmaktadırlar. Bu problemlerin çoğunun üstesinden kolaylıkla gelinebilir. Çünkü bu problemler boyarmaddelerin yapısal özellikleri ile ilgilidir. Fenolik grupları ya da primer amino içermeyen dispers boyarmaddelerin yanı sıra düşük reaktivite özelliğine sahip reaktif boyarmaddelerin tercih edilmesi mümkün olduğu durumlarda en iyi seçenek olacaktır (Aniş, 2003).

Fulard banyosunda, pH değerinin kontrol altında tutulması, iki boyarmadde grupları arasında meydana gelebilecek reaksiyonların engellenmesinde önemli bir faktördür. Reaktif ve dispers boyarmaddelerin karışımlarında, azo grubu reaktif boyarmaddelerin indirgenmesini engellemek adına sodyumnitrobenzen-sülfonat (Iudigol) ve migrasyon engelleyici bir kimyasal kullanılabilir. Dispers boyarmaddenin PET lifine difüzyonunu sağlamak için uygulanan termofikse ve kurutma proseslerinin ardından, elde edilen ürün bir alkali prosesinden geçirilir ve

reaktif boyarmaddenin desorbsiyonu engellenmiş olur. Bir sonraki aşamada reaktif boyarmadde buharlama ile fikse edilir, ardından soğuk durulama ve kaynar sabunlama aşamaları gerçekleştirilir (Shore, 1998). Pamuklu ürünlerin boyanmasında tercih edilen boyarmaddelerden elde edilen boyanın tekrarlanabilirliğinin iyi bir kalitede olabilmesi adına seçilen reaktif boyarmaddelerin kendi içerilerinde boyama profillerinin tam uyumlu seçilmesi gerekmektedir. Bu seçime etki eden en önemli faktörlerden biri, çektirmenin birinci ve ikinci (alkali eklenmesinden sonra) aşamalarındaki boyarmaddelerin reaktiviteleri ve özellikleridir (Bradbury et al., 1995).

Dispersiyon/reaktif boyarmaddeler ile PET/pamuk karışımlarının boyanması 4 farklı metod ile yapılmaktadır:

a) İki Banyolu Metod: İlk başta PET boyanır ve devamında, indirgen yıkama işlemi uygulanır. Bir sonraki adımda pamuk boyanır ve sabunlama işlemi yapılır. Bu metod yaklaşık 9 ile 10 saat arasında sürmektedir ve bu sürecin 2 saatini ard kaynatma işlemi oluşturmaktadır. Uzun zaman alması bu metodun en önemli dezavantajlarından sayılabilmektedir. Bu metotta boyarmadde seçilmesinde bir kısıtlama yoktur. Sebebi ise indirgen yıkama işleminin uygulanmasıdır. Bunun yanı sıra, normal tuz reaktif boyarmadde banyosunda kullanılabilir. Banyoda dispers boyarmadde bulunduğunda, Glauber tuzunun kullanılması tavsiye edilmektedir. Çünkü dispers boyarmadde dispersiyonları yüksek elektrolit konsantrasyonuna dayanıklı değildir. Alkali şartlara dispers boyarmaddeler dayanıksızdırlar. Fakat life bir kez fikse olduktan sonra var olan alkali hassasiyeti kaybolur (Aniş, 2003).

b) Ters İki Banyolu Metod: Bu metotta başta kumaş reaktif boyarmadde ile boyanır. Daha sonra alkali ve tuz artıklarını uzaklaştırmak için 1-2 ılık banyo ile sabunlama işlemi gerçekleştirilir. İkinci adım da ise yapılacak olan dispers boyama ile hidrolize olan reaktif boyarmaddenin uzaklaştırılması sağlanacaktır. Bu metotta işlem süresi yaklaşık 7 saat olup, reaktif boyarmaddenin zarar görmemesi için İndirgen yıkama işlemi uygulanmamaktadır. Bu sebepten dolayı iyi derecede fikse olabilen ve az lekelenme yapan dispers boyarmaddelerin kullanılması gerekmektedir. Eğer ilk başta reaktif boyama yapılacaksa, daha sonra yüksek sıcaklıkta PET'in boyanması aşamasında vinilsülfon boyarmaddelerin

kullanılması tercih edilir. Bunun sebebi ise, bağ kuvvetlerinin yüksek olmasıdır. Çünkü nükleofilik adisyon mekanizmasına göre bağ oluşturmaktadırlar.

c) Hızlı Tek Banyo Boyama: Bu metotta reaktif ve disper boyarmaddeler ilk baştan ilave edilir ve pH değeri 6,5'e ayarlanır. Ortam sıcaklığının 80°C'ye ulaşmasıyla tuz eklenir. PET'in boyama işleminin yapılması için sıcaklık 130°C'ye kadar artırılır. İşlemin devamında pamuğun boyanması için sıcaklık düşürülür ve alkali ilave edilir. Sonraki aşamada kaynar sabunlama işlemi uygulanır. Boyama süresi bu metotta 5 saattir, fakat uygun boyarmaddenin seçilmesi gerekmektedir. Seçilen reaktif boyarmaddelerin çalışılacak olan pH değerine dayanıklı olması gerekmektedir. Ayrıca seçilen dispers boyarmaddeler pamuğu lekelenmemeli ve tuz ilavesi ile dispersiyonları bozulmamalıdır (Shore, 1998). Bu metotta indirgen yıkama işleminin yapılamamasından dolayı dispers boyarmadde pamuğu lekelenmeyecek şekilde seçilmelidir. PET/selüloz karışımlarının boyanmasında indirgen yıkama ihtiyacı çalışılan renk derinliğinin yanında, kullanılan dispers boyarmaddenin selülozik kısmı lekeleme eğilimine de bağlıdır (Cunningham, 1996).

d) Ters-Hızlı Tek Banyo Boyama: Banyo sıcaklığı 125°C'ye kadar artırılır ve pH değeri 9-9,5 değerlerine ayarlanır. Bu metotta aynı anda her iki boyarmadde ile boyama işlemi gerçekleştirilir. İşlem süresi bu metotta 5 saattir fakat boyarmadde kullanımında sınırlamalar mevcuttur.

4.4. Pigment Boyalar ile Baskı

Tekstil boyacılığındaki boyarmadde sınıfları prensip olarak basmacılıkta da kullanılmakla beraber baskıda daha çok pigment, reaktif, küp, asit, metal kompleks ve dispers boyarmaddeler tercih edilmektedir.

Baskıda kullanılan boyarmaddeler içerisinde pigment boyarmaddesi avantajlarından dolayı ayrı bir öneme sahiptir ve dolayısıyla üniversal bir boya olarak adlandırılırlar.

Pigment baskıcılığın temeli, suda çözünmeyen renkli maddelerin binder denilen bağlayıcı maddeler ile birlikte kumaşa tatbik edilmesine dayanır. Bağlayıcı maddeler kumaşın kurutulması ve yüksek sıcaklıkta fikse edilmesi

sırasında, baskı yerlerini film şeklinde bir tabaka ile örterek, boyarmaddeyi adeta lif yüzeyine yapıştırırlar.

Bir pigment baskı reçetesinde iki cins madde dikkati çeker:

1. Reçetenin temelini oluşturan pigment, binder ve kıvamlaştırıcı

- Renk veren boyarmadde -Pigment boyaları
- Pigmentin life fiksesi -Binder
- Baskı patının bölgesel depolanması -Kıvamlaştırıcı

2. Diğer yardımcı maddeler

- White spirit’li sistemlerde -Emülgatör
- Haslıklar -Fiksator
- Tutum -Yumuşatıcılar
- Diğerleri (kolaylığı sağlayan ürünler) -Köpük kesiciler,üre vs.

Baskı patındaki binderin zamanından önce film oluşturmaması ve dolayısıyla baskı şablonlarının tıkanmaması için baskı patının başlangıç pH değerinin 7-8 olması (gerektiğinde amonyak ilavesile) gerekmektedir. Baskı işleminden sonra yapılan kurutma ve fiksaj sırasında sistemden amonyağın uzaklaştırılması ile binder filminin oluşumu için gerekli zayıf asidik ortam (pH 4-5) sağlanmış olur. Basılıp kurutulan kumaşlar 140-150 °C’de 4-5 dakika kondanse işlemine tabi tutularak fikse edilmektedir. Pigment ile baskı işlemi adımları üç adımda gerçekleşir:

- Baskı
- Kurutma
- Fikse

Pigment baskıda yıkama işlemi yapılmaması ve gaz içeren baskı patının kullanımının iyice azalması sayesinde ekolojik açıdan iyi bir düzeye gelmiş olmasına rağmen atık su, atık hava ve formaldehit ile ilgili tüm sorunlar tam olarak çözülebilmemiş değildir.

5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür araştırmalarında, genellikle PET şişe ve PET geri dönüşüm alanında yapılan çalışmaların bir çoğunun PET talaşlarının elde edilmesi aşamasına kadar olan prosesler üzerine yapıldığı görölmektedir. Bu alanda özellikle PVC ve PET atıklarının ayrılması üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan diğer çalışma alanlarından, geri dönüşümden elde edilen PET ile PET üretimi esnasında çevreye olan etkilerinin incelenmesi örnek olarak verilebilmektedir. Ancak r-PET lif alanında araştırma sayısının az olduğu görölmektedir. Aşağıda araştırması yapılan konu ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Matsudaira ve Kondo (1996), PET kumaşların nem taşınım özellikleri üzerine yaptıkları çalışmalarda, yüzey oranı ve lifin yüzey alanındaki artış nedeniyle lifte yivli veya yivsiz oyuklar yaparak PET lif tarafından daha fazla suyun emilebileceğini öne sürmüşlerdir.

Ökten (1998) yaptığı çalışmada PET atıklarının geri kazanılmasından bahsetmiştir. Bu çalışmada PET'ten folyo ve lif üretimi yapan tesislerin atıkları ve PET şişe atıklarının tekrar değerlendirilmesindeki süreçler incelenmiştir. Yapılan çalışmada PET atıklarının geri kazanılması, direkt geri kazanma ve eriterek geri kazanma olmak üzere iki ana başlıkta sınıflandırılmıştır. Direkt geri kazanma başlığı üzerinde daha geniş araştırma yapılan bu çalışmada glikoliz ve metanoliz metotları daha detaylı incelenmiştir. Çalışma sonucunda, PET geri dönüşümden elde edilen ürünlerin ileride otomotiv sektöründe daha çok kullanılacağını öngörmüş ve devlet kurumlarının yapması gereken farklı ve faydalı önerilerde bulunmuştur.

Mannhart (1998) yaptığı çalışmada geri dönüşümden elde edilen PET talaşlarından Rieter kompakt lif çekim cihazlarında 8 farklı deney gerçekleştirmiştir. Bu deneyler farklı çekim pompa hızlarında, sarım hızlarında, çekim sıcaklıklarında ve filament inceliklerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları dikkate alınarak, tekrar granülasyon işlemi uygulamadan, geri dönüşümden elde edilen çapaklardan filament iplik üretilebileceği vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda geri dönüşümden üretilen PET'lerin yüksek nem içeriğine sahip olduğunu tespit etmiş ve bunun sorun yaratacağını vurgulamıştır. Bu

sonuçlara ek olarak, filament ipliğın elde edilebilmesi için, PET polimerin içerdiği nem oranının kontrol edilmesi ve doğru kurutma metotlarının seçilmesine dikkat etmek gerektiğini vurgulanmıştır.

Awaja et al., (2005) yaptıkları çalışmada, ilk başta PET şişe imali yöntemlerinden olan hava basınçlı kalıplama, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyonlu kalıplama uygulamalarından bahsetmişlerdir. Yapılmış olan bu çalışmanın amacı, PET şişelerin geri kazanılmasında kapalı döngü uygulama yönündedir. Bu çalışmada PET şişeler geri dönüştürüldükten sonra tekrar PET şişe olarak üretilebilmeleri yönünde örnekler verilmiştir. PET şişe geri dönüşümünden tekrar PET şişe üretimi yönünde en büyük sıkıntılardan biri yapısal viskozitenin arttırılmasıdır. Çalışmada geri dönüşümden elde edilen polimerlerin özellikle ekstrüzyon ile kalıplanmadaki sıkıntıları ve kısıtlamaları üzerinde durulmuştur. Çalışmanın yapıldığı tarih itibariyle PET şişenin dönüşüm polimerinden üretiminde kullanılabilmesinin çok sağlıklı olmadığı yönünde örnekler verilmiştir.

Abbasi et al., (2007) yaptıkları çalışmada PET ve geri dönüşüm PET polimerlerinden elde edilen filament ipliklerin fiziksel ve iç yapı özelliklerinin eğirme hızına olan etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda eğirme hızının 2500-3000 m/dak aralığında olduğunda r-PET'ten elde edilen ipliklerin PET'den elde edilen ipliklere nazaran daha yüksek yoğunluğa ve kristalin bölgelere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Anabal (2007) yaptığı çalışmada, PET atıklarının geri dönüşümünün, elektrostatik yöntem ile PVC ayırma tekniği üzerinde çalışmış, çalışma sonucunda, ülkede var olan 16 PET geri kazanım tesislerinde gerçekleştirdiği anket sonuçlarını incelemiştir.

Sevencan et al., (2007) yaptıkları çalışmada, plastik atıkların oluşturduğu çevresel etkilerin artmasının oluşturabileceği problemlere dikkat çekmek amacıyla PET ve geri kazanım prosesini 5 aşamada incelemişler. Bu aşamalar incelenirken, PET şişelerin geri kazanılmasında kullanılan teknolojik yaklaşımların yanı sıra, bireylerin bilinçlendirilmesi üzerinde incelemeler yapmışlardır. Çalışma

sonucunda yurtdışında yapılan farklı uygulamalar örnek verilerek çeşitli yasal düzenlemelerin yapılması üzerinde tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Küçükgül et al., (2007) yaptıkları çalışmada, PET şişenin yaşamsal döngü analizini ve PET şişenin üretim aşamalarını ve bu süreçteki tüketimleri, ayrıca meydana gelen karbon salınımlarının dökümlerini oluşturmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada PET şişe üretiminde kütle dengliği oluşturulmuştur. Yapılan kütle dengliği incelemesinde, 1 adet PET şişenin üretilmesi için, 1,2 kg ham petrolün kullanıldığı tespit edilmiştir. Ham petrolün çıkarılmasında kullanılan su miktarının tam olarak bilinmediğinden yaklaşık 65 Lt su kullanıldığı, ayrıca ham petrolü bulma ve çıkartmada tüketilen elektrik miktarının tam olarak tespit edilmediği için yaklaşık 200 wh tüketildiği sonuçlarına varılmıştır.

Mancini et al., (2009) yaptıkları çalışmada, mekanik dönüşümden elde edilen PET talaşlarını kimyasal yıkama prosesine tabi tutmuşlardır. Yapılan işlem sonucunda, elde edilen materyalin saflığının arttığını fakat şişe imalatı için yeterli derecede saflığın elde edilemediği sonucuna varmışlardır.

Al-Salem et al., (2009) çalışmalarında, kimyasal ve mekanik dönüşüm konusunda yapılan yeniliklerden bilgi vermişlerdir ve günümüzde kullanılan metotları birbirleriyle karşılaştırmışlardır.

Shen et al., (2010) yaptıkları çalışmada, açık döngü metodu ile PET şişenin lif şekline geri kazanımının yaşamsal döngü analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu işlemlerin yapılmasında toplamda 4 farklı geri dönüşüm metodu kullanmışlardır. Bu çalışmayı maddesel metot, mekanik ve yarı mekanik olmak üzere iki, kimyasal metot, glikoliz ve metanoliz olmak üzere de iki ana başlıkta gerçekleştirmişlerdir. Yukarıda bahsedilen geri kazanım yöntemleri bu çalışmada 9 farklı çevre etki faktörüne göre karşılaştırılmıştır. Bu faktörler, küresel ısınma tehlikesi (GWP), asidifikasyon, insandaki toksisite birikimi, topraktaki toksisite, sudaki toksisite, ötrofikasyon, abiyotik etki, asidifikasyon, yenilemeyen enerji kullanımı (NREU) ve fotokimyasal oksidasyon oluşumu olmak üzere araştırılmıştır. Bahsedilen faktörler bu çalışmanın birincil amacı olmak üzere geri dönüşümden üretilen liflerin ham PET'ten üretilen liflere nazaran çevreye etkilerinin kıyaslanmasında kullanılmıştır. Bu araştırmalar yapıldığında 3 farklı çevre mühendisliği

yaklaşımından faydalanmışlardır. Bu yaklaşımlar sistem expansion yaklaşımı, waste valution yaklaşımı ve Cut-off yaklaşımı'dır. Çalışma sonucunda, mekanik dönüşüm yöntemi ile elde edilen PET lifler her 3 yaklaşımda incelenen 9 faktörün en az 8 faktöründe çevresel etkinin en düşük seviyede olduğu vurgulanmıştır. Kimyasal dönüşüm metodu ile geri dönüşümden elde edilen PET'lerin ham PET'lere göre, 9 faktörün en az altısında çevresel etkilerin düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, mekanik geri dönüşüm metodu ile elde edilen liflerin kimyasal metot ile elde edilen liflere nazaran daha az çevresel etki yarattığı tespit edilmiştir. Fakat kimyasal metot ile elde edilen liflerin uygulama alanlarının daha geniş olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmanın ikinci aşamasını, elde edilen lifler ile diğer lifler arasında yaşamsal döngü analizinin gerçekleştirilmesi ve karşılaştırılması oluşturmaktadır. Bu aşamada ise geri dönüşümden elde edilen liflerin diğer liflere nazaran daha iyi sonuç verdiği araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Ayrıca, eğer atıklar enerji elde etmek için yakılarak kullanılacaksa en iyi performansı ham PET'in verdiği çalışmada vurgulanmıştır.

Telli ve Özdil (2013) gerçekleştirdikleri çalışmada, r-PET lif ve karışımlarından üretilen ipliklerin özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada yapılan kıyaslamada, tekstil endüstrisinde üretilmiş olan ipliklerin kullanılabilirliği incelenmiştir. Farklı karışım yüzdelerinde üretilen 9 farklı ipliğin ince-kalın yer ve neps sayısı, düzgünsüzlük ve tüylülük değerleri, ayrıca kopma mukavemeti ve kopma uzaması ölçülerek istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, PET'ten elde edilen ipliklerin r-PET'ten elde edilen ipliklere nazaran daha yüksek mukavemete sahip olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca PET/r-PET ipliklerinin Co/r-PET ipliklerine nazaran daha düşük düzgünsüzlük özelliğine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Çalışmada, diğer liflerin belirli yüzdelerde r-PET liflerine karıştırılması ile istenilen performansın elde edilebileceği vurgulanmıştır.

Telli ve Özdil (2015) çalışmalarında, r-PET liflerinden elde edilen ipliklerin giyim alanında kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada r-PET liflerinden ve ayrıca r-PET liflerinin pamuk ve PET lifleri ile karışımından elde edilen örme kumaşlar üzerinde yüzey sürtünme, boyutsal değişim, hava geçirgenliği, dairesel eğilme direnci ve patlama özelliklerini kıyaslayarak araştırmalar yapmışlardır.

Yüksekkaya et al., (2016) yaptıkları çalışmada orijinal ve geri dönüştürülmüş pamuk ve PET liflerden üretilen iplik ve kumaşların mekanik özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmışlardır. Bu çalışmada genellikle geri dönüştürülmüş malzemedan üretilen iplikler, düzgünsüzlük (% CVm), iplik hataları ve iplik kalite indeksi değeri bakımından daha iyi özellikler gösterdiğini vurgulanmıştır. Geri dönüştürülmüş malzemedan üretilen iplikler ve kumaşların iplik kopma mukavemeti ve kumaş patlama mukavemeti, orjinal malzemedan üretilen iplikler ve kumaşlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Çalışma sonucunda, bütün kumaşlarda kinetik sürtünme katsayısı değerlerine bakıldığında anlamlı fark olmadığı ve orta boncuklanma derecelerine sahip oldukları görülmektedir.

Sarıoğlu (2017) yaptığı çalışmada, farklı oranlarda pamuk, PET ve r-PET lif karışımlarından ring sisteminde üretilen ipliklerin tüm üretim parametrelerini sabit tutarak iplik mukavemeti ve uzama özelliklerini incelemiş ve karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, r-PET lif içeren ipliklerin mukavemet ve uzama özelliklerinin PET'ten üretilen ipliklere nazaran daha düşük olduğu vurgulanmıştır.

Telli ve Babaarslan (2017) yaptıkları çalışmada, pamuk lifi (CO), iplik üretimi sırasında oluşan atıklardan geri dönüşüm pamuk lifi (r-CO) ve PET şişe atıklarından geri dönüştürülen lif (r-PET) kullanılarak iplikler üretmişlerdir. Üretilen ipliklere kopma mukavemeti, kopma uzaması, düzgünsüzlük (CVm), iplik hatası ve tüylülük performans testleri uygulanmıştır. Çalışmada geri dönüşüm pamuk ve PET liflerinin Open-End iplik eğirme sisteminde olumsuz özelliklerini elimine etmek amaçlanmıştır. r-CO / r-PET ikili harmanlarında r-PET artışı ile iplik düzgünsülüğü, tüylülük ve iplik hatası önemli bir azalma olduğu tespit edilmiştir. En iyi sonuç, %25 r-CO / % 75 r-PET 'ten üretilen ipliklerde elde edilmiştir ve kopma uzamaları % 100 CO ipliğinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Beklentilerin aksine bu ipliklerin kopma mukavemeti, ince ve kalın yerler, neps ve tüylülüğü (H) değerler ile % 100 CO ipliği arasında önemli fark bulunmamıştır. % 50 CO / % 50 r-PET ipliği tüm iplikler ile karşılaştırıldığında ön planda görülmüştür. Sonuçlara bakıldığında Open-End iplik eğirme sisteminde CO / PET ipliklerinin yerine bu karışımlar alternatif olarak kullanılacak değerlere sahiplerdir.

Serkan et al., (2018), tekstil malzemelerine uygun olarak PET şişe atıklarından üretilen r-PET liflerini, pamuk ve viskon lifleri ile farklı karışım oranlarında, ring iplikler üretmişlerdir. Bunun yanı sıra, viskon ve pamuk ring iplikleri orijinal pet lif ile de karışımli olarak üretmişlerdir. Bu çalışmada, üretilmiş olan bu ring iplikler, uzama mukavemeti, kopma mukavemeti, hata indeksi, tüylülük ve düzgünsüzlük özellikleri açısından incelenmiş ve sonuçlar istatistiksel olarak kıyaslanmıştır. Yapılan incelemeler sonucu, lif tipinin yukarıda bahsedilen özellikler üzerinde anlamlı etkileri olduğu görülmüştür. Lif karışım oranının, sadece tüylülük özellikler üzerinde anlamlı bir fark yarattığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak çevre sorunlarının giderilmesi ve doğal kaynakların korunması amacıyla, mekanik olarak PET şişelerden elde edilen r-PET liflerinin ve özelliklerinin iyileştirilmesi ile orijinal PET lifinin bir alternatifi olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

6.1. Materyal

6.1.1. Çalışmada Kullanılan PET, r-PET ve Pamuk Lifleri

Bu çalışmada Çizelge 6.1’de özellikleri verilmiş olan PET, r-PET ve pamuk lifler kullanılmıştır. Pamuk liflerinin özellikleri Premier High Volume Tester Fibre Tester cihazı, PET ve r-PET liflerinin uzunluğu Trützschler Lengthmeter cihazı ve mukavemet değerleri Textechno Favigraph Fibretest cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Yukarıda bahsedilen liflerin incelikleri ise Leica projeksiyon mikroskobu kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.1. Deneylerde kullanılan lif özellikleri.

Kullanılan lif özellikleri	Pamuk	PET	r-PET
İncelik (dtex)	1,78	1,57	1,85
Uzunluk (mm)	26,51	28,77	32,62
Mukavemet (cN/tex)	27,30	50,66	26,92
Uzama (%)	7,0	25,74	29,13

6.1.2. Boyarmadde ve Kimyasallar

Boyamada pamuk için reaktif, PET için dispers boyarmaddeler, baskıda ise pigment boyalar kullanılmıştır. Adı geçen boyarmaddeler Setaş firmasından temin edilmiştir. Kullanılan boyarmadde, kimyasal ve yardımcı maddeler Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.2. Uygulamalarda kullanılan kimyasal maddeler.

Maddenin Adı	Üretici Firma
Dispergator	Setaş Kimya
Egalizatör	Setaş Kimya
Islatici	Setaş Kimya

Hidro Sülfid	Kimetsan
Sodyum Sülfat	Kimetsan
Sodyum Karbonat (Soda)	Kimetsan
Sodyum Hidroksit (Kostik)	Merck
Asetik Asit	Merck
Hidrojen Peroksit	Ak-kim
Binder	
Kıvamlaştırıcı	
Fiksator	
Amonyak	
Üre	

Çizelge 6.3. Kullanılan Pigment, Dispers, Reaktif boyarmaddeler.

Ticari Adı	Üretici Firma
Setazol dark blue sx	Setaş
Setapers navy blue psg	Setaş
Imperon blue KB	

6.1.3. Cihazlar

Kullanılan makineler ve cihazlar:

- Türtzschler balya açıcı makinesi
- Türtzschler Harman Hallaç Makinesi
- Türtzschler BRTF Topak Besleme Makinesi
- Türtzschler DK 740 Tarak Makinesi
- Rieter RSB-D 35 Cer Makinesi
- İngolstadt F4310 Fitol Makinesi
- Rieter G30 Ring İplik Makinesi
- Lab Knitter 294E Mesdan Örme Makinesi

- Zimmer MDK Laboratuvar Tipi Baskı Makinesi
- Lawson Hemphill Bursting Strength Tester EC3X (patlama mukavemetini)
- Martindale Aşınma Mukavemeti Test Cihazı
- Textest AG FX 3300 marka cihaz hava geçirgenliği
- Frictorq (Fabric Friction Tester) kumaş yüzey sürtünme katsayısı
- Moisture Management Tester (MMT) test sistemi
- Permetest cihazı
- Perkin Elmer Spectrum 100 FTIR cihazı
- TGA analizi
- Difransiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı
- Bruker AXS D8 Advance XRD cihazı
- Carl Zeiss 300VP Taramalı Elektron Mikroskobu
- Xenotest Alpha Işık haslığı test cihazı
- Krokmetreye test cihazı

6.2. Yöntem

6.2.1. İplik Üretiminde Kullanılan Makine Hattı

Çizelge 6.1’de özellikleri belirlenen liflerden 3 farklı tipte Ne 0,125 tarak bandı elde edilmiştir. Bu işlemler Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Pamuk ipliği işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Farklı karışım oranlarındaki tarak bantları cer makinesinde karıştırılarak 9 farklı tipte cer bandı elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada cer bantları fitil haline getirilmiştir. Ne 20 iplik üretebilmek için ring iplik eğirme sisteminde $a_e = 3,6$ büküm katsayısı uygulanmıştır. İplik imalatı için kullanılan makine hattı Çizelge 6.4’de ve 9 farklı iplik tipi için çalışma planları Çizelge 6.5’de verilmiştir. Bu ipliklerden %100 r-PET ve karışımları önceden başka bir çalışma için üretilmiştir.

Çizelge 6.4. İplik üretiminde kullanılan makine hattı.

İplik Makine Hattı	
Trützschler balya Açıcı Makinesi	
Trützschler Harman Halaç Makinesi	
Trützschler BRTF Topak Besleme Makinesi	
Trützschler Dk 740 Tarak Makinesi	
Rieter RSB-D35 Cer Makinesi	
Ingolstadt F4301 Fıtil Makinesi	
Rieter G30 Ring İplik Makinesi	

Ring iplik makinesinde iplik üretimi 10.000 dev/dak iğ devrinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca makinede bilezik çapının 42 mm olduğu bilinmektedir. Üretimde 90 numaraya sahip kopça kullanılmıştır. Ayrıca, 5,5 mm boyutunda açık gri klips kullanımı tercih edilmiştir. Giriş silindirlerinde manşon sertliği 75 Shore, çıkış silindirlerinde 68 Shore olarak ayarlanmıştır. Ayrıca ön çekim değerinin 1,18 ve toplam çekimin 20 olduğu şartlarda çalışılmıştır.

Çizelge 6.5. Deneyleerde kullanılan iplik tipleri ve özellikleri.

Hammadde	Eğirme sistemi ve iplik numarası
% 100r-PET	Ring İplik Eğirme Sistemi Ne 20
% 70r-PET % 30Co	
% 50r-PET % 50Co	
% 30r-PET % 70Co	
% 100Co	
% 100PET	
% 70PET % 30Co	
% 50PET % 50Co	
% 30PET % 70Co	

Yukarıdaki aşamalardan elde edilen iplikler kumaş imalatında kullanılmıştır. 1971 Model Ingolstadt aktarma makinesi yardımıyla kumaş imalatında kullanılacak iplikler kopstan bobin formuna çevrilmiştir.

6.2.2. Örme Makinesi

Örme işlemi için LAB KNITTER 294E MESDAN marka cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz, 100 mm çapında, 201 iğneye sahip yuvarlak örme makinası olarak bilinmektedir. Bu makinede aynı sıklık değerinde, aynı iplik numaralarında süprem düzeninde örme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Laboratuvar tipi örne makinesi.

6.2.3. Boyama ve Baskı İşlemi

Çalışmadan elde edilen 9 tip örne kumaş, dispersiyon ve reaktif boyarmaddeler kullanılarak HT boyama metoduna göre boyanmıştır. Boyama işlemi ATC 150 HT boyama makinesinde tek banyo ve iki adım olmak üzere gerçekleştirilmiştir. PET liflerinde boyama işlemi yapıldıktan sonra indirgen yıkama yapmak gerektiğinden ve bu yıkamada kullanılan maddeler pamuğu boyayan boyarmaddeleri lif içinden dışarı çıkardığından dolayı, pamuk/PET içeren kumaşın öncelikle PET kısmı Çizelge 6.6'da verilen boyama reçetesine göre boyanmıştır (Şekil 6.2).

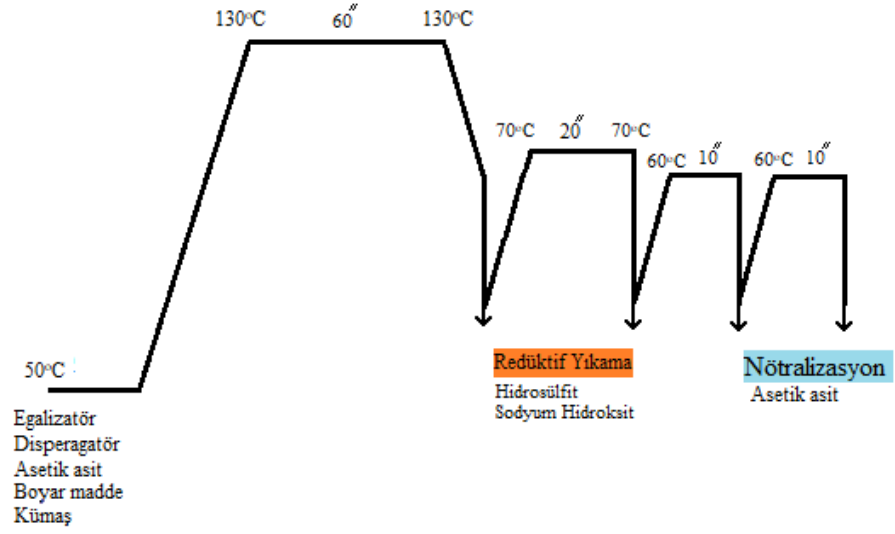
Çizelge 6.6. Dispers boyarmadde ile kumaşların boyanmasında kullanılan kimyasal maddeler ve konsantrasyonları.

Koşullar ve Kimyasal Maddeler	Konsantrasyon/Proses Koşulları
Boyarmadde	%0,3
Dispergator	0,5 g/l
Egalizatör	0,5 g/l
pH	4-5 (Asetik asit ile)
Banyo Oranı	1:20

Boyama işlemi sonrası, kumaş üzerinde kalan boyarmaddelerin uzaklaştırılması için 20 dakika süre ile 70 °C'de yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem hidrosülfid ve sodyum hidroksit kullanılarak uygulanmıştır. İşlemin devamında, durulama ve nötralizasyon işlemi 1 g/l asetik asit kullanarak yapılmıştır. Yapılan yıkama şartları Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. İndirgen yıkama işlemi için gerekli koşullar ve kimyasal maddelerin konsantrasyonu.

Kimyasal Maddeler/Koşullar	Konsantrasyon/Koşul
Hidrosülfid	3 g/l
Sodyum Hidroksit	5 g/l
Sıcaklık	70 °C
Banyo Oranı	1:10
Süre	20 dak.

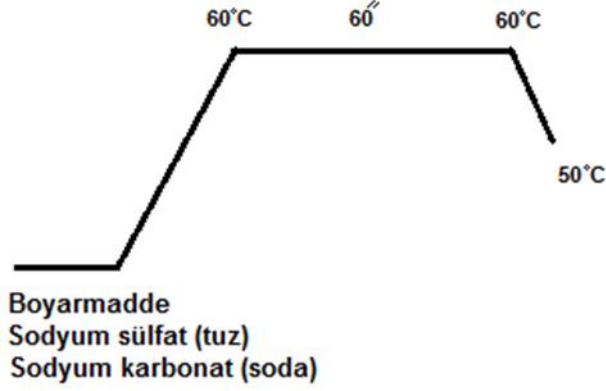


Şekil 6.2. Dispersiyon boyarmaddeleriyle boyama grafiği.

Pamuk kısımların boyanması Şekil 6.3'te gösterilen diyagrama uygun bir şekilde ve Çizelge 6.8'de verilen boyama reçetesine göre gerçekleştirilmiştir.

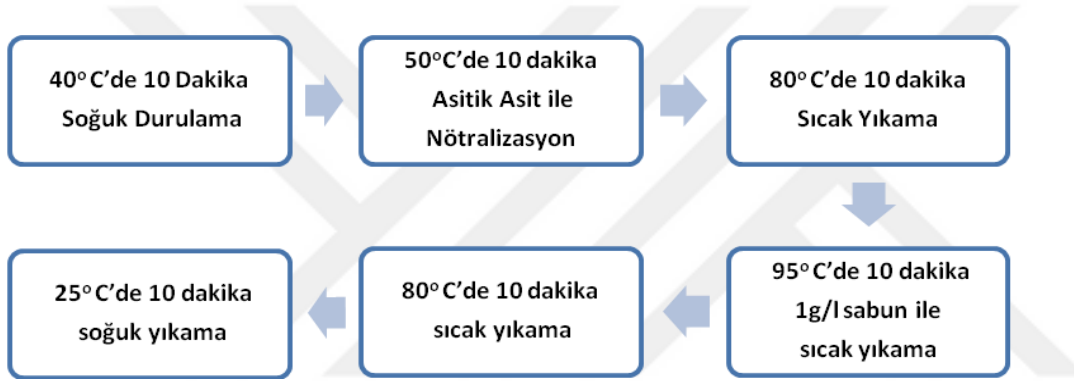
Çizelge 6.8. Reaktif boyarmadde ile kumaşların boyanmasında kullanılan kimyasal maddeler ve konsantrasyonları.

Koşullar ve Kimyasal Maddeler	Konsantrasyon/Proses Koşulları
Boyarmadde	%0,8
Sodyum Sülfat (tuz)	20 g/l
Sodyum Karbonat (soda)	10 g/l
Banyo Oranı	1:20



Şekil 6.3. Reaktif boyarmaddeleriyle boyama grafiği.

Boyama işlemi sonrası yapılan art işlem uygulaması aşağıdaki şekildedir.



Şekil 6.4. Boyama sonrası yapılan art işlemleri.

Laboratuvar baskı deneyleri, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon ve Araştırma-Uygulama Merkezinde mevcut Zimmer MDK laboratuvar tipi baskı makinesinde 54 numara Poliester gaze bezi ve 10 mm çapındaki magnet rakleler kullanılarak 4 pres, 6 rpm hızda, Çizelge 6.9'da belirtilen reçeteye göre yapılmıştır.

Çizelge 6.9. Baskı patında kullanılan kimyasal maddeler ve konsantrasyonları.

No	Kimyasal	Miktar
1	Binder	160
2	Köpük kesici	0,5
3	Kıvamlaştırıcı	16
4	Fiksator	8
5	Çapraz bağlayıcı	8
6	Amonyak	5
7	Üre	10
8	Su	800

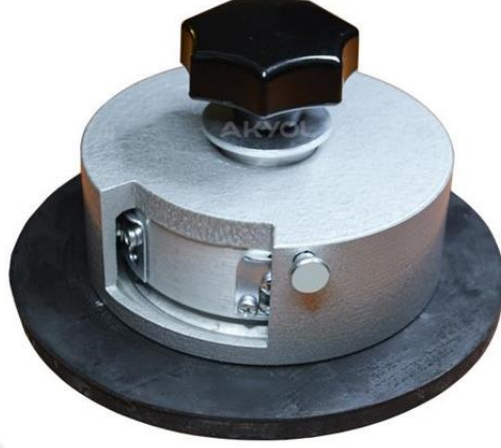
6.2.4. Kumaş Özelliklerinin Ölçümü

Kumaşların üretimi Çizelge 6.5'te belirlenmiş olan karışım oranlarına göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kumaşlar TS EN ISO 392 standartına göre kondisyonlanmıştır. Testler 20 ± 2 °C sıcaklıkta ve $\%65 \pm 4$ bağıl nem ve standart atmosfer koşullarında yapılmıştır. Testler, Ege Üniversitesi, Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezine bağlı olan Fiziksel Tekstil Muayeneleri Laboratuvarı ve 55. Yıl Fiziksel Tekstil Muayeneleri Laboratuvarında yapılmıştır.

6.2.4.1. Gramaj Tayini

Gramaj tayininde, dokunmuş kumaşların birim alan kütlesi ve birim uzunluğunun tayininde kullanılmakta olan TSE 251 standardı esas alınmıştır. Gramaj tayini için aynı çözümleri ve atkılarını içermeyecek şekilde 100 cm^2 alana sahip numuneler kesilmiş ve hassas terazide tartılmıştır. Bu numuneler 24 saat süre ile 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 2$ bağıl nem ortamında kondüsyonlanan kumaşlardan elde edilmiştir. Ayrıca, numune alma aparatı Şekil 6.5'te verilmiştir.

Yapılmış olan 5 farklı ölçüm sonuçlarının ortalaması alınmıştır ve böylelikle deneye tabi tutulmuş kumaşların ortalama gramajı tespit edilmiştir.

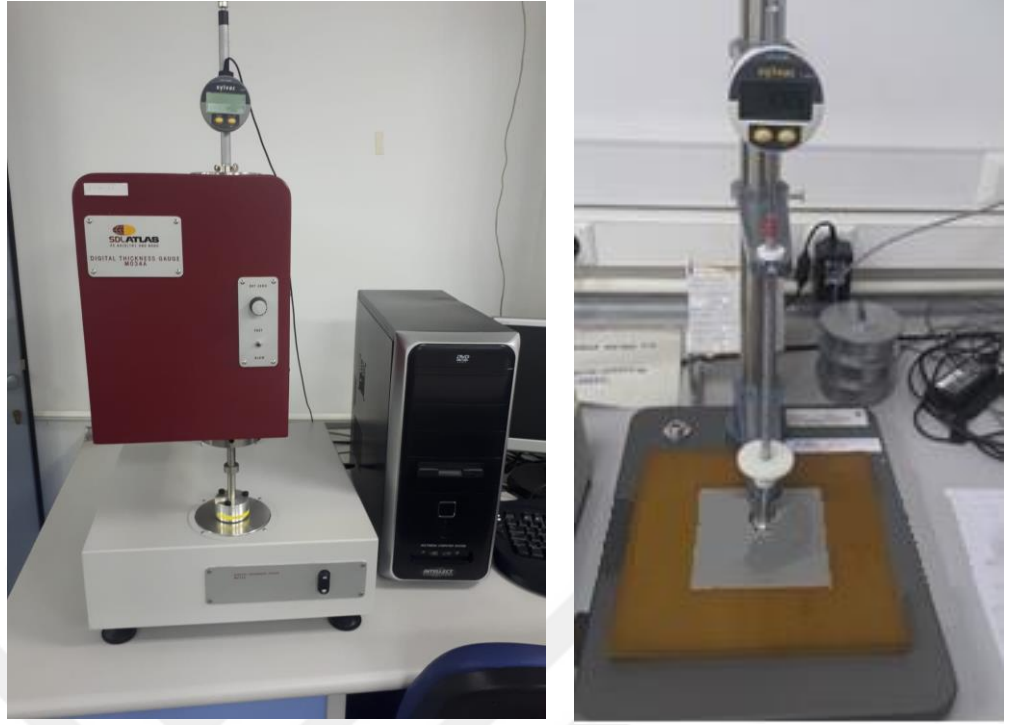


Şekil 6.5. Kumaş Kesme Aparatı.

6.2.4.2. Kalınlık Tayini

Bu deney vasıtasıyla, tekstil ve tekstil mamullerinin kalınlıklarının ölçülmesi yapılmaktadır. Bu yöntemde, kumaşların en alt ve en üst yüzleri arasındaki mesafeye belirlenen bir basınç altında uygulanmaktadır ve mekanik veya dijital kalınlık ölçer yardımıyla kumaş kalınlığı tespit edilmektedir. Kumaşlardaki kalınlık tayinini en önemli sebebi, kumaş kalınlığının kumaşların ısı tutuculuk ve hacimsel özellikleri üzerinde etkisidir.

Bu çalışmada üretilen kumaşların kalınlığı, TS 7128 EN ISO 5084 standardına göre belirlenmiştir. Numuneler, $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%65\pm 2$ bağıl nem ortamında 24 saat süreyle kondüsyonlandıktan sonra hazırlanmış ve testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerin yapılmasında kullanılan dijital tekstil kalınlık ölçüm cihazı Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Dijital veya mekanik kumaş kalınlık ölçer cihazı.

6.2.4.3. Kumaşların Patlama Mukavemetinin Ölçümü

Bu çalışmada patlama mukavemetini hesaplamak için Lawson Hemphill Bursting Strength Tester EC3X marka cihaz kullanılmıştır. Kullanılan patlama mukavemeti test cihazı görünümü Şekil 6.7’de verilmiştir. Yapılacak olan test için gerekli sıvı miktarı cihazın üst tarafında bulunan yağ tankından eklenebilmektedir. Cihazın hidrolik olmasından dolayı çalışma kapasitesi 6000 kPa seviyelerine kadar ulaşabilmektedir. Bu test cihazında TS 393 EN ISO 13938-1 standart kullanılmaktadır.



Şekil 6.7. Hidrolik patlama mukavemeti cihazı.

Patlama testleri, üretilmiş olan her bir kumaş için diyagonal şekilde 5 farklı bölgede gerçekleştirilerek tekrarlanmıştır ve elde edilen 5 farklı sonucun ortalaması kumaşın patlama mukavemeti olarak belirlenmiştir.

6.2.4.4. Kumaşların Aşınma Mukavemetinin Ölçümü

Üretilmiş olan kumaşların aşınma mukavemeti testleri Martindale Aşınma Mukavemeti Test Cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu testler ISO 12947-3 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır. Aşınma testi için bir aşındırma kumaşı kullanılmıştır. Bu test kapsamında özel bir yöntem ile cihaz tarafından Lissajous hareketi yapılmaktadır ve böylelikle kumaş her yönde aşındırılmaktadır. Ölçümler 9 kPa yük altında gerçekleştirilmiştir. Kumaşlarda ilk kopuşu oluşturmak adına 120000 devir çalışılmış fakat herhangi bir kopuş meydana gelmemiştir. Kopuşun

meydana gelmesi için kumaşlar 2500, 5000, 10000, 15000, 20000, 25000 ve 120000 devirdeki ağırlık kayıpları esas alınarak karşılaştırılmıştır. Deneylerin gerçekleştirildiği cihaz Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Martindale aşınma mukavemeti ölçüm cihazı.

6.2.4.5. Hava Geçirgenliği Ölçümü

Bu çalışmada Textest AG FX 3300 marka cihaz hava geçirgenliği ölçümü için kullanılmıştır. Deneyler TS 391 EN ISO 9237 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Standart gereği, kumaşların belirli alanlarından, belirlenmiş olan bir süre içerisinde kumaşın iki yüzü arasında belirli bir basınç farkı oluşturulur. Kumaş yüzeylerine dik bir vaziyette uygulanmış olan hava akımının hızı belirlenir. Testler 5 tekrar ile 100 Pa hava basıncı farkı altında ve 20 cm² ölçüm alanında gerçekleştirilmiştir. Testlerin gerçekleştirildiği cihaz Şekil 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.9. FX 3300 (TexTest AG) hava geçirgenliği test cihazı.

6.2.4.6. Kumaş Yüzey Sürtünme Katsayısının Ölçülmesi

Farklı karışım oranları oluşturularak üretilmiş olan kumaşların yüzey özelliklerinin belirlenmesi adına kumaş yüzey sürtünme katsayısı testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testler Portekiz Minho Üniversitesinde geliştirilmiş olan Frictorq (Fabric Friction Tester) cihazında gerçekleştirilmiştir. 1 mm çapında çelik çubukların bir araya gelmesi ile kare şekline yakın, 3.5 kPa'lık bir basınç oluşturan ve 3 farklı temas noktası içeren bir kontakt sensörü elde edilen kumaş numuneleri üzerine yerleştirilmektedir. Sözü geçen kontakt sensörü yatay ekseninde sabit açısal bir hızda döndürülüp, oluşan moment hesaplanmaktadır. Bu hareket 20 saniye boyunca devam etmektedir. İlk harekete geçtiği andan itibaren hesaplanmış olan döndürme kuvveti vasıtasıyla değişen döndürme kuvveti ve statik sürtünme katsayısı hesaplanıp, böylelikle kinetik sürtünme katsayısı değeri elde edilmektedir (Lima et al., 2005). Bu işlemlerin gerçekleştirildiği sürtünme katsayısı hesaplama makinesi Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.10. Frictorq yüzey sürtünme katsayısı test cihazı.

6.2.4.7. Kumaşların Çok Yönlü Nem İletim Özelliklerinin Ölçümü

Moisture Management Tester (MMT) test sistemi, %100 PET ve %100 r-PET kumaşların çok yönlü nem iletim özelliklerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu test neticesinde üretilmiş olan kumaşların ıslanma yarıçapı, ıslanma süresi, yayılma hızı ve absorpsiyon hız değerleri 3 tekrar ile gerçekleştirmiş olup elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak belirlenmiştir. MMT testinin gerçekleştirildiği makine Şekil 6.11’de verilmiştir.

Islanma süresi iki farklı ana başlıkta gerçekleştirilmektedir. Birincisi üst yüzeyin ıslanma süresi ve ikincisi alt yüzeyin ıslanma süresidir. Islanma süresi alt ve üst yüzeylerde ıslanma oluşana kadar geçen süre olarak ifade edilmekte olup birimi “saniye” olarak belirlenmektedir. Testler alt ve üst yüzeylerde bulunan toplam su içeriği eğrisinin eğimi, $\tan 15^\circ$ ’nin üstüne çıkıncaya kadar devam ettirilir ve bu aşamaya kadar geçen süre hesaplanır.

Üst yüzeyin absorpsiyon hızı ($TAR_{üst}$) ve alt yüzeyin absorpsiyon hızı (BAR_{alt}), kumaş üzerine suyun pompalanması ile kumaşın ortalama nem absorpsiyon yeteneği, absorpsiyon hızı olarak tanımlanmaktadır.

Üst yüzey maksimum ıslanma çapı ($MWR_{üst}$) ve alt yüzey maksimum ıslanma çapı (MWR_{alt}) yüzeylerdeki toplam su içeriği eğrisinin $\tan 15^\circ$ 'ye ulaştığı andaki alt ve üst yüzeylerde meydana gelen en geniş ıslanma çapı olup, birimi “milimetre” olarak ifade edilmektedir.

Yayılma hızı, üst yüzey yayılma hızı ($SS_{üst}$) ve alt yüzey ıslanma hızı (SS_{alt}) olmak üzere, ıslanma çapının merkezinden dışarıya doğru akümülatif yayılma hızı olarak tanımlanıp birimi “mm/S”dir.

Maksimum ıslanma çapına ulaşabilmek için geçen süreyi ifade etmek üzere t_{wrt} ve t_{wrb} ,

$$SS_{üst} = MWR_{üst} / t_{wrt} \text{ ve } SS_{alt} = MWR_{alt} / t_{wrb} \text{ olmaktadır.}$$

Kumaşlarda Çok Yönlü Nem İletim Kapasitesi (OMMC), sıvı nemi iletebilirliğini gösteren bir indekstir. Bu indeks kumaşın alt yüzeyinde oluşan absorpsiyon hızı, maksimum yayılma hızına ve tek yönlü nem iletim yeteneğine bağlı olarak değişmektedir. Çok yönlü nem iletim kapasitesi aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$OMMC = 0.25BAR + 0.5OWTC + 0.25SS_{alt}$$

BAR: Alt yüzeyin absorpsiyon hızı

OWTC: Tek yönlü nem iletim kapasitesi

SS_{alt} : Yayılma/kuruma hızı

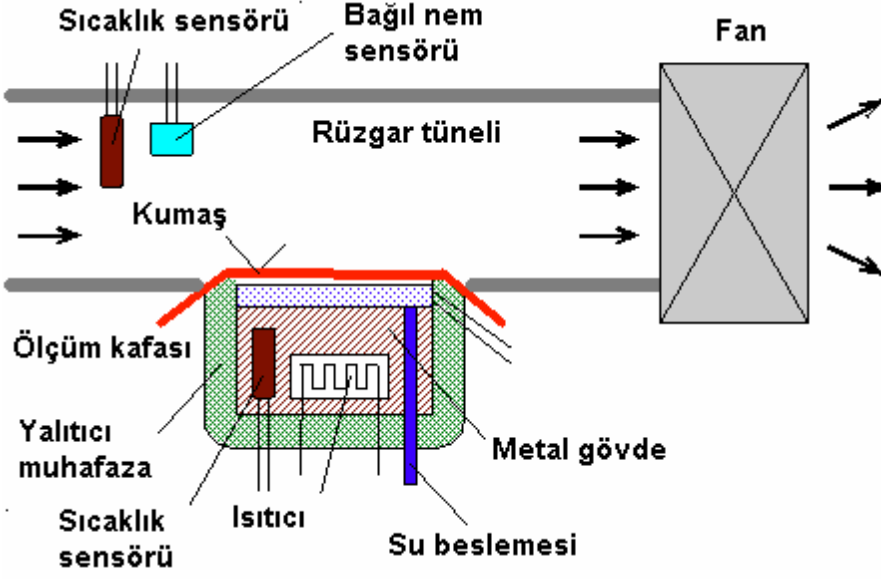
OMMC değeri artmasıyla birlikte kumaşlardaki çok yönlü nem iletim yetenekleri de artmaktadır (Hu et al., 2005; Özdil et al., 2009). OMMC testi sonucunda elde edilen değerler hazırlanmış olan skalaya göre değerlendirilmektedir. Bu skalaya göre, $>0,8$: mükemmel, $0,6-0,8$: çok iyi, $0,4-0,6$: iyi, $0,2-0,4$: düşük, $0-0,2$: çok düşük olarak değerlendirilir (Özdil et al., 2009; Süpüren et al., 2011).



Şekil 6.11. Moisture management tester (MMT).

6.2.5. Kumaşların Termal ve Su Buharı Direnç Değerlerinin Ölçümü

Dolezal ve Hes'in (2003) geliştirdiği bir sistemde termal ve su buharı direnç değerlerinin ölçümü için kullanılan Permetest cihazıdır (Şekil 6.12). Deri-kumaş arasındaki etkileşimi simüle etmek üzere tasarlandığı için deri modeli olarak da adlandırılan sistemde levha yüzeyi vücut yüzeyine benzetilmek üzere eğimli olarak tasarlanmıştır. Test edilecek kumaşla sıcak levha arasında bir hava tabakasının bırakıldığı sistemin üst kısmında belirli hava hızlarının oluşturulabildiği bir rüzgar tüneli mevcuttur. Sistemde test kumaşının bulunmadığı ve bulunduğu durumlarda kaydedilen ısı akış değerlerinden hesaplanan geçirgenlik değerlerinin oranlanmasıyla bağıl su buharı geçirgenliği değeri belirlenebilmektedir. Ayrıca sisteme nefes alabilir bir yüzeyin yerleştirilmesiyle kumaşın ısı ve su buharı direnç değerleri de belirlenebilmektedir.



Şekil 6.12. Permetest (Dolezal ve Hes, 2003).

6.2.6. Renk Ölçümü Analizi

Renk ölçümleri HunterLabUltra ScanPro marka spektrofotometresinde, EasyMatch QC yazılım kullanılarak renk koordinatları, renk farklılıkları (ΔE^*) ve K/S değerleri tayin edilmiştir (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. HunterLabUltra ScanPro.

6.2.7. İç Yapı Analizi

Tekstil endüstrisinde tercih edilen lifler makromoleküllerden diğer bir deyişle uzun molekül zincirlerinden oluşmaktadır. Makromolekül zincirleri hem doğal hem de kimyasal liflerde yerleşim planlarına göre, liflere özgü karakteristik özellikler vermektedir. Bu sebepten dolayı makromoleküllerin oluşturduğu iç yapıyı incelemek büyük önem arz etmektedir. Tekstilde tercih edilen lifler genellikle yarı kristalin polimerler için iki fazlı model yardımıyla tanımlanabilen bir biçime sahiptir. Makromolekül zincirlerinin birbirlerine paralel olup veya paralel olmayan durumları mevcuttur. Makromoleküller dizilim tiplerine göre kristalin (makromoleküllerin birbirlerine paralel olduğu) bölgeler ve amorf (makromoleküllerin birbirlerine düzensiz oldukları) bölgeler olmak üzere iki ana başlığa ayrılmaktadırlar. Tek polimer zincirleri genellikle 1000 ile 2000 Å arasında bir büyüklüğe sahiplerdir. Bir zincirde iki veya daha fazla komşu kristal bulunabilir. Bu şekildeki zincire bağ molekülü ismi verilmekte olup, bu bağların kristaller arası alanlardaki toplulukları amorf fazını meydana getirir (Bozdoğan, 2005; Frushour, 1995; Frushour and Knorr, 1985).

Liflerin fiziksel özelliklerini belirlemek için genellikle sözü geçen iki fazlı model ana model olarak tercih edilir. Bu modele göre lif özelliklerinin gerek ilişkilendirilmesi ve gerekse izahında yapı-özellik ilişkilerine başvurulur. Bu durumda, tek bir molekül zincirinin ele alınması ve zincirlerin birbirlerine göre yerleşimlerinin belirlenmesi uygun bir metot olacaktır. Konfigürasyon ve içyapı açısından düzenli bir esnek polimer zincirlerinden elde edilmiş yarı-kristalin liflerin iç yapısı genel olarak kristalin olmayan ve kristalin bölgeler olmak üzere iki ayrı faz modeli olarak değerlendirilirler (Bozdoğan, 2005; Frushour, 1995).

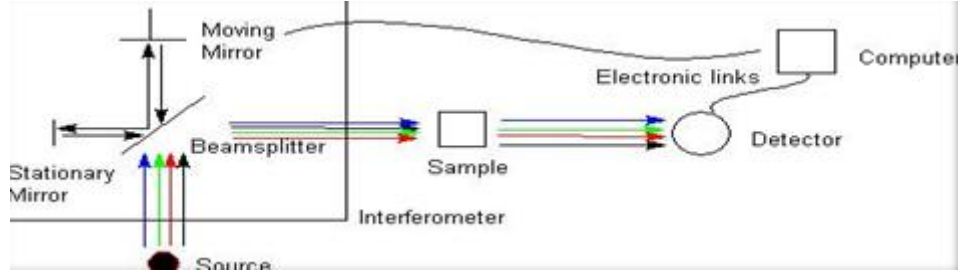
Gerçekleştirilmiş olan çalışmalar ile liflerin amorf bölgelerindeki makromoleküllerin yönlendirildiğine bağlı olarak isotrop ve anisotrop amorf bölgeler şeklinde değerlendirildikleri saptanmıştır. Bu sebepten dolayı, makromoleküllerin açılmış ve düzenli bir yerleşimde olduğu bölge “anisotrop kristalin” ve çok karışık ve düzensiz bir yerleşimde olduğu bölge “isotrop kristalin olmayan” bölgeler olarak sınıflandırılmıştır (Tarakçıoğlu, 1984).

Bu çalışmada liflerin boyamadan önce %100 PET ve %100 r-PET iç yapı analizlerinin gerçekleştirilmesi için TGA, SEM, FTIR, DSC ve XRD analizleri elde edilmiş olan numuneler üzerinde yapılmıştır.

6.2.7.1. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Analizi

Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopisi 1970'lerin ilk yıllarından beri araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. FTIR spektroskopisi, interferometre prensibine dayanmakta ve geleneksel IR spektroskopisinde kullanılan ayna ve prizma sistemleri tarafından meydana getirilen bireysel dalga boylarından ziyade bütün kaynak spektrumunu kullanmaktadır (Voort, 1992). Bir FTIR spektroskopi aygıtının en önemli kısmı, ışık yayıcı, sabit ayna ve hareketli ayna olarak tanımlanabilecek üç temel parçadan oluşan interferometredir (Truckerman, 1994) (Şekil 6.14). Girişim etkisi ile oluşturulan düzensiz şiddet değişimleri, bir detektör tarafından ölçülmekte, aynı zamanda da sayısal olarak kaydedilmekte ve örnek ile ilgili spektral bir interferogram elde edilmektedir. Yorumlanabilir bilgi elde etmek için bilgisayar yardımıyla Fast Fourier Transform algoritması kullanılarak IR emittans spektrumu elde edilmektedir. Emittans spektrumu, bir zemin emittans spektrumunun örneğin emittans spektrumuna oranlanması ile absorbansa çevrilmektedir (Voort, 1992). Fourier Transform tam anlamı ile bir integral hesaplamasıdır ve bu hesap bütün FTIR enstrümanlarının temel prensibini oluşturmaktadır (Truckerman, 1994).

Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi bir tür titreşim spektroskopisidir. IR ışınları molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. Matematiksel Fourier dönüşüm spektroskopisinde ışın şiddeti, zamanın bir fonksiyonu olarak alınmaktadır. Her dalga boyunda ayrı ayrı tarama gereksizdir hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilebilmektedir. Bu yöntem ile moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak; katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağ enerjileri ve bağlanma yerleri belirlenebilmektedir (Truckerman, 1994).



Şekil 6.14. FTIR Spektroskopisi Çalışma Prensibi (www.biyokure.org).

Tez projesi kapsamında PET ve geri dönüşüm PET kumaşların FTIR analizleri Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Perkin Elmer Spectrum 100 FTIR cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.15). Cihaz üzerinde bulunan ATR başlığı numunelerin katı formda analiz edilebilmesine olanak tanımıştır.



Şekil 6.15. Perkin Elmer Spectrum 100 FTIR cihazı.

6.2.7.2. TGA Analizi (Termogravimetrik Analiz)

Bir malzemenin ısı, sıcaklık, entalpi, kütle ve hacim gibi termodinamik özellikleri; sertlik ve Young Modülü gibi malzeme özellikleri ile kimyasal bileşim ya da kimyasal yapı gibi numune özellikleri, farklı termal analiz metotlarıyla elde edilebilmektedir.

Termogravimetrik analiz metodu, farklı türlerdeki malzemelerin karakterizasyonu için tercih edilen yöntemlerden biridir. TGA analizinden elde edilen sonuçlar, DSC analizlerinden elde edilen sonuçlar ile birlikte kullanıldığında, incelenen polimerlerin sıcaklık değişimine bağlı olarak değişen özelliklerinin analiz edilmesi mümkün olmaktadır.

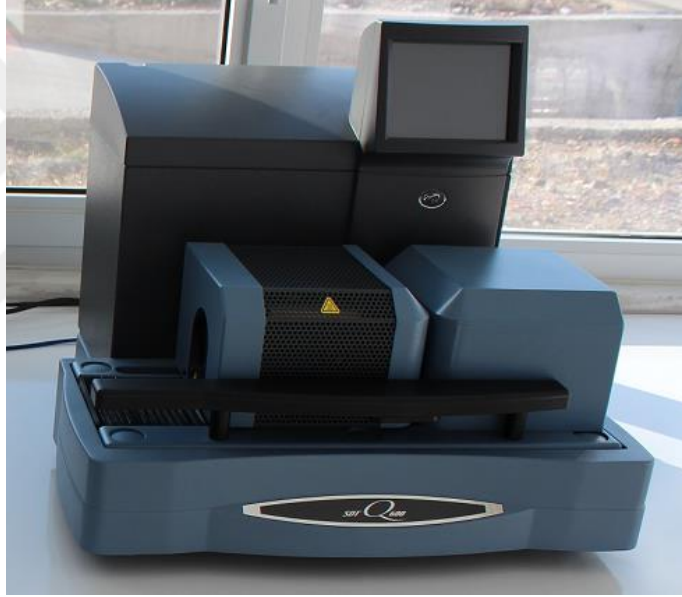
TGA test metodu ile polimer esaslı parçaların kimyasal bileşim analizleri gerçekleştirilebilmektedir. TGA testi esnasında, analiz yapılacak olan numunenin sıcaklığa ve zamana göre kütleinde oluşan değişimler kontrollü atmosfer ortamda ölçülmektedir. TGA testi en sık tercih edilen kullanım alanlarından, istenilen numunenin ısı ve oksidatif dengesinin hesaplanmasının yanısıra bileşen özelliklerin karakterize edilmesidir. TGA tekniği vasıtasıyla, malzemelerin oksidasyonuna, bozunmasına ve bileşenlerinden uçucu moleküllerin kaybına bağlı olarak kütlede meydana gelen azalış ya da artış miktarları belirlenebilir (Demirbağ ve Aksoy, 2013).

TGA testi analizleri malzeme hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bu bilgiler ışığında, malzemenin kullanılacağı yere göre malzemenin performansını öngörebilme avantajı doğmaktadır. Böylelikle ürün kalitesini artırmak gibi hedeflere ulaşmak için önemli testlerden biri sayılmaktadır. TGA testinin faydalı olduğu analizler aşağıda verilmektedir:

- Çok bileşenli malzemelerin ve alaşımların bileşim analizi,
- Isıl denge,
- Oksidatif denge,
- Ürün ömrünü öngörme,
- Bozunma kinetiği ve malzemenin hangi sıcaklık değerinde bozunduğu,
- Malzemelerin reaktif ortamlarda verdiği tepkiler,
- Malzemenin içindeki katkı maddelerinin tespiti,
- Malzeme içindeki nem ve uçucu bileşen oranının tespiti,

Olarak sıralanabilmektedir (www.polimer.com).

Bu çalışma kapsamında, PET ve geri dönüşümden elde edilen liflerden üretilmiş olan kumaşların TGA analizleri Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan cihaz vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.16). Kumaş halindeki örneklerin ağırlığı 5-10 mg arasında alınmıştır. Isıtma işlemi, 100 mL/dak hızındaki N₂ gazı akışı altında, 10 °C/dak ısıtma hızında ve 30-600°C arasında gerçekleştirilmiştir. Bozunmanın başladığı sıcaklık (T_b) ve bozunmanın sonlandığı sıcaklık (T_s), TGA termogramlarından, yüzde ağırlık kaybı ve sıcaklık ekseninden çizilen bir doğrunun kesim noktasına denk gelen sıcaklık olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.16. Eşzamanlı Termogravimetrik Çözümleyici ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre(TGA-STD).

6.2.7.3. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) Analizi

Liflerin en önemli termal özelliklerinden biri camsı geçiş özelliğidir. Çünkü üretilmiş olan liflerin önemli mukavemet ve fiziksel özellikleri, lifin camsı geçiş sıcaklığına yaklaştıkça değişmektedir. Bu durumda lifin esneklik modülü düşmüş ve lif esnek hale gelmiştir. Boyama işlemlerinin yapılmasında, yaş lif sıcaklığının camsı geçiş sıcaklığı üzerinde olması gerekmektedir. Liflerin bu sıcaklığa

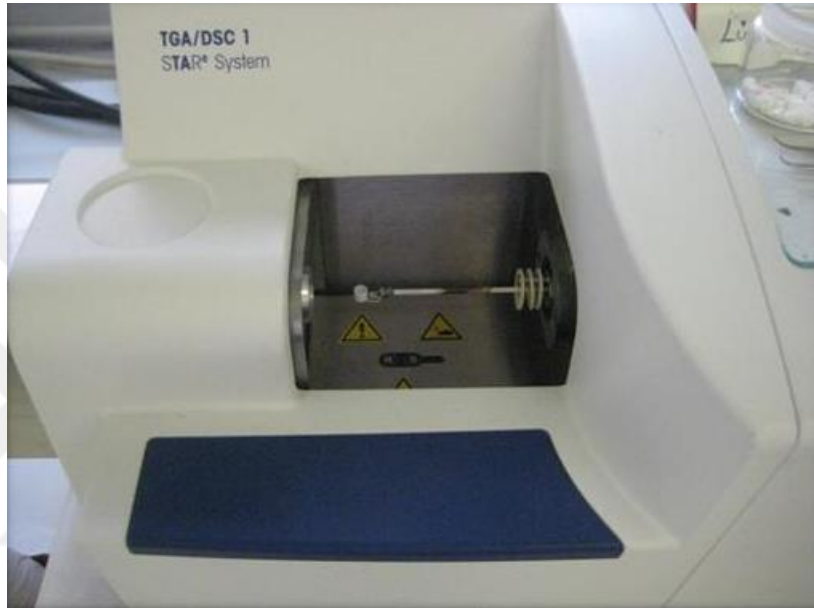
getirilmesindeki ana amaç, boya moleküllerini lif içerisine nüfuz ettirebilmek ve boyanın life bağlanmasını sağlamaktır (Frushour, 1995).

Farklı yöntemler ile malzemelerin camsı geçiş sıcaklıkları T_g , belirlenebilmektedir. Bu test'te genel olarak sıcaklığın fonksiyonu ile fiziksel özelliklerin değişimi dikkate alınır. Bir sonraki adımda özellikteki değişimin başlangıç veya orta noktası T_g olarak belirlenir. Liflerde ve yarı kristalin polimerlerde camsı geçiş amorf bölgeler ile ilgilidir. Polimerlerin erimesi genel olarak diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) vasıtasıyla incelenir. Kristalin morfolojisi hakkında bilgiler DSC termogramlarından çıkarılabilir. Camsı geçiş sıcaklığı, DSC termogramında oluşan temel çizgide bir dalgalanma olarak ortaya çıkar (Frushour, 1995).

Malzemelerin ısı analizi için termo analitik bir metot olan Diferansiyel Taramalı kalorimetri veya DSC (Differential Scanning Calorimetry) tekniği kullanılır. Açıklayacak olursak, polimerler ısıtıldığında nasıl fiziksel değişimlere uğrayacağını ortaya çıkartan bir metottur. DSC analiz cihazı, biri referans olmak üzere diğeri numunenin bulunduğu iki adet ısıtıcıdan, ısı kaybının olmadığı bir hücreden ve ısı akışını kontrol edebilen bir bilgisayardan oluşmaktadır. DSC test metodunda elde edilen kumaşların ve referansın sıcaklığını arttırmak için gereken ısı miktarı, sıcaklığın zamana bağlı bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir. Ölçümü yapılan numune ve referans numune test süresince sabit sıcaklıkta tutulmaktadır. Ayrıca, numune ve referans aynı hızda ısıtılır ve ısı akışının hızı ölçülüp sonuçlar karşılaştırılırlar. Referans ve elde edilen numunelerin arasındaki fark, kristallik derecesi, malzeme bileşimi, oksidasyon ve camsı geçiş sıcaklığı gibi özelliklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. DSC testleri sonucunda "sıcaklık-ısı akışı" eğrisi elde edilmektedir.

Endotermik ve ekzotermik ayrışma gibi faz değişimleri üzerindeki çalışmalar DSC testinin temel uygulama alanlarını oluşturmaktadır. Özgül ısı kapasitesi, değişim sıcaklığı, faz (hal) değişimi ısı ve tepkime ısı gibi ölçümler için DSC analizler kullanılmaktadır (www.polimer.org).

Bu çalışmada, PET ve geri dönüşüm PET'ten elde edilen kumaşların DSC analizleri Ege Üniversitesi, Deri Mühendisliği Araştırma Laboratuvarının bünyesinde bulunan Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazda yapılmıştır (Şekil 6.17). Kumaşlar makas ile ağırlığı 3–13 mg aralığında, küçük parçalar halinde kesilerek alüminyum kap içerisine konulmuştur ve analizler 30°C'den 300°C'ye kadar 10°C/dak sıcaklık artışı ile azot ortamında termogramlarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.17. Mettler Toledo TGA/DSC 1 Star System Termal Analiz Cihazı.

6.2.7.4. X-ışını Kırınımı Analizi

X-ışını kırınımı desenleri kullanılarak, kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişleri ilk kez Max van Lave tarafından incelenmiştir. 3 boyutlu uzayda düzenli atom dizilimine sahip malzemelerde görülen yapıya kristal yapı denir. Katıların kristal yapısı, yapılarında bulunan moleküllerin veya atom gruplarının katıya özgü olacak biçimde geometrik düzende oluşmasıyla meydana gelmektedir.

Kristal yapı üzerine X-ışınları yönlendirildiğinde, ışınlar katı yüzeyden küçük geliş açılarıyla yansımaya uğramakta ve atomların paralel düzlemleri tarafından saçılmaktadırlar. Bu saçılımlar kırınım olarak adlandırılırlar. Çok sayıda atom içeren saçılmalardan kırınım meydana gelmektedir. Bu kırınimleri

açıklamak için Bragg kanunu kullanılmaktadır. Söz konusu kanun aşağıdaki şekilde ifade edilir (Şekil 6.18).

$$n\lambda = 2.d.\sin\theta \quad [1]$$

Burada;

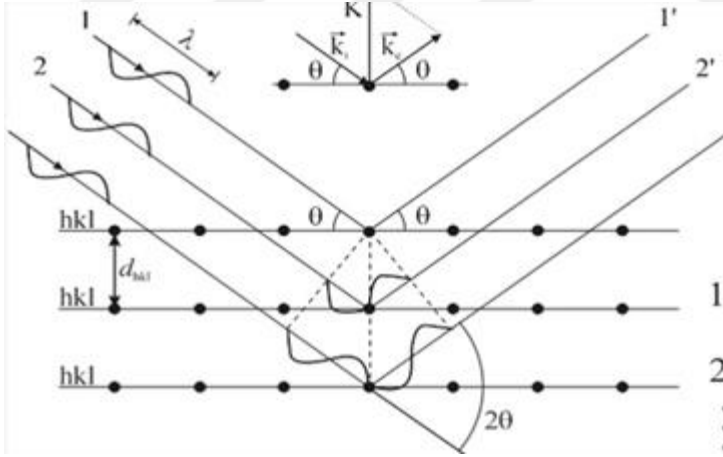
n: Kırınım sabiti,

λ : X-ışını dalga boyu,

d: Kafes aralığı,

θ : Kırılma açısı olarak ifade edilmektedir.

(<http://www.kuark.org/2014/08/x-isininlari-difraksiyonu-ve-kristal-yapitayini/>)



Şekil 6.18. X-ışını kırınım ve yansıma geometrisi.

PET liflerin birim hücre oryantasyonunu, birim hücre yerleşim düzeninin ve kristallik derecesinin incelenmesi X-ışını difraksiyon vasıtasıyla yapılabilmektedir.

Bu çalışmada PET ve geri dönüşüm PET'ten elde edilen kumaşların XRD analizi Katip Çelebi Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı bünyesinde

bulunan Bruker AXS D8 Advance XRD cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.19). 2 farklı PET ve r-PET kumaşlarına ait düzlemler arası d-mesafeleri (\AA), $2\theta^\circ$ pik pozisyonu açısı ve yarı yükseklik tam genişliği (β) ($^\circ$) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler yardımıyla formüsel hesaplamalar yapılarak kumaşlara ait kristal büyüklüğü (t_c) (\AA) değerleri elde edilmiştir. Aşağıda açıklanmakta olan Scherrer denklemi yardımıyla, kristal büyüklüğü (t_c) (\AA) değerleri hesaplanmıştır.

$$t_c = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos\theta} \quad [2]$$

t_c = Kristal büyüklüğü (\AA)

$K = 0,89$ (Scherrer sabiti)

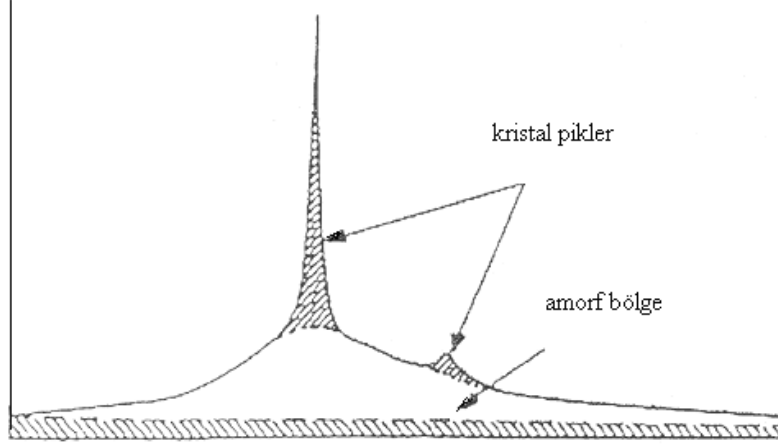
β = Tepe noktası yarı yükseklik tam genişliği (rad.)

2θ = Bragg açısı (rad.) (Maksimum tepe noktası yüksekliğine karşılık gelen açı)

λ = X-ışınının dalga boyu (\AA)



Şekil 6.19. Panalytical Empyrean X-Işını Kırınımı cihazı.

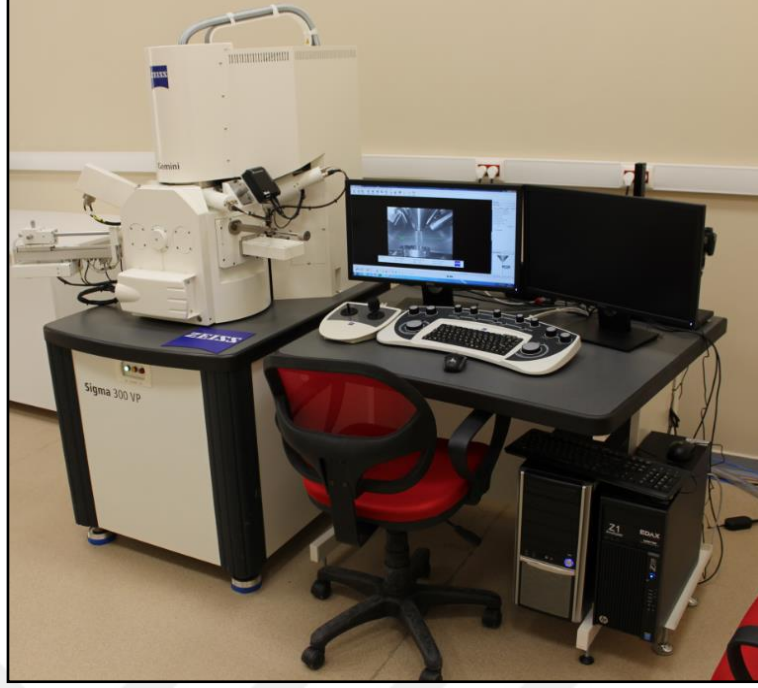


Şekil 6.20. X-ışını difraktogramında kristal ve amorf bölgelerin tespiti.

6.2.7.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

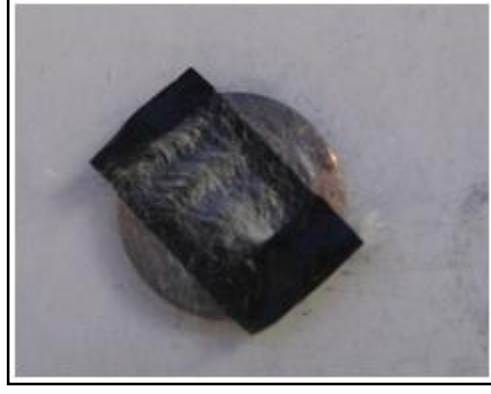
SEM mikroskopları, elektronlar vasıtasıyla numunenin yüzeyinden yüksek çözünürlükte görüntüler alabilmeyi sağlayan sistemlerdir. SEM mikroskoplarının kullanımı, numunelerden üç boyutlu görüntü alabilmek için kullanılan en yaygın metotlardan biridir. Bu mikroskoplar, yüksek enerjiye sahip elektronların yardımıyla çok küçük bir yüzey alanın taraması prensibi ile çalışmaktadır. Taramalı elektron mikroskopları, numune hücresi, optik kolon ve görüntüleme sistemi olmak üzere 3 ana kısımdan oluşmaktadır.

Bu çalışmada PET ve geri dönüşüm PET numuneleri üzerinde SEM analizleri Carl Zeiss 300VP model taramalı elektron mikroskobu kullanarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.21). Bu analizler Katib Çelebi Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan cihazda tungsten filament kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 6.21. Carl Zeiss 300VP Taramalı Elektron Mikroskobu.

SEM analizleri için üretilen kumaşlardan numuneler küçük parçacıklar halinde kesilerek hazırlanmıştır. Kesilen kumaşlar karbon bantlar yardımıyla numune tutma aparatlarına sabitlenmiştir (Şekil 6.22). Karbon bant'ın kullanımındaki amaç, elektron bombardımanının yapıldığında numune üzerinde yüksek iletkenliği oluşturabilmek ve böylelikle net görüntüler elde edebilmektir. Ayrıca, kesilen kumaşların iletkenliğini artırabilmek ve cihazdan gelen elektronların detektörlere yansımalarını engelleyerek direkt olarak aşağı akmasını sağlamak ve böylelikle daha net görüntülere ulaşabilmek için yüzeyine nano seviyede altın yüzey kaplaması yapılmıştır (Şekil 6.23). Bu işlemin gerçekleştirilmesi için BAL-TEC SCD 005 cihaz kullanılmıştır.



Şekil 6.22. Karbon bant üzerine sabitlenmiş numune.



Şekil 6.23. BAL-TEC SCD 005 yüzey kaplama cihazı.

6.2.8. Haslık Testleri

Son aşamada elde edilen numune kumaşlara haslık testleri uygulanmıştır. Işık, yıkama ve sürtünme haslığı testleri aşağıda açıklanan standartlar dikkate alınarak yapılmıştır. Bu testler Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği laboratuvarlarının bünyelerinde bulunan cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

6.2.8.1. Işık Haslığı Testi

Boyalı kumaşların ışık haslığı testi, Xenotest Alpha markalı cihaz kullanılarak TS EN ISO 105-B02 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde mavi yün skala kullanılmıştır. Boyalı kumaşların testlerinin gerçekleştirilmesi için cihaz % 40 nem oranına ve 50 °C'ye ayarlanmıştır. 5. mavi yün skalasının gri skalada 4 kadar solduğunda test sonlandırılmıştır.

6.2.8.2. Yıkama Haslığı Testi

Boyalı numune kumaşlara B2S kodlu ticari ve ev tipi yıkamalara karşı renk haslığı testi, TS EN ISO 105- C06 standardına göre yapılmıştır. Boyalı kumaşlar yıkama haslığı test cihazına yerleştirildikten sonra, 30 dakika süre ile 40 °C’de yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. İlgili standarda göre yıkama tüpleri içerisine, 4g/l ECE ve 1 g/l Sodyum Perborat içerikli 150 ml yıkama çözeltisinin yanısıra sürtünmeyi sağlamak için 25 elik bilye ve hazırlanan test kumaşları yerleştirilmiştir.

6.2.8.3. Sürtünme Haslığı Testi

Boyalı numune kumaşların sürtünmeye karşı renk haslığı testi TS EN ISO-X12 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Boyalı kumaşlar kesildikten sonra krockmetreye yerleştirilmiştir (şekil 6.24). Testler 10 saniye sürede ve 10 kez gidiş dönüş hareketi yaparak, yaş ve kuru olmak üzere kumaşların sürtünme haslıkları incelenmiştir. Yaş sürtünme testinde kendi ağırlığı kadar ıslatılmış pamuklu refakat bezi kullanılmıştır.



şekil 6.24. Sürtme haslık cihazı (crockmeter) detaylı.

Test sonunda sürtme bezini lekelemesi, gri skala kullanılarak kontrol edilir ve değerlendirilir. 9 ölçekli gri skalada haslık değerleri izelge 6.10’da görüldüğü gibidir:

Çizelge 6.10. 9 lekli gri skalada haslık değerleri.

1 En düşük
1-2
2
2-3
3
3-4
4
4-5
5 En yüksek

6.2.8.4. Renk lm

Renk verimini belirleyebilmek için boyanmış kumaşların, 400-700 nm boyutlar arasında ve spektral alanında reflektans değerleri hesaplanmaktadır. Bu lm için spektrofotometre cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz renk verimi değerlerini, Kubelka-Munk denkleminden faydalanarak hesaplamaktadır. Renk verimi ölçümleri bilgisayarlı renk ölçüm özelliğine sahip Hunterlab Color Quest II marka cihazında (P65/10⁰) yapılmıştır. Her numune için 3 farklı ölçüm gerçekleştirilmiştir ve ortalama değerleri alınmıştır. Böylelikle, renk değişimi (ΔE) ve renk verimi (K/S) değerleri elde edilmiştir.

$$K/S = (1-R)^2 / 2R = A \cdot c \quad [3]$$

Bu denklemi, absorpsiyon katsayısı olan K, kumaş yansımaları R ve saçılma katsayısı S oluşturmaktadır. Bir nesnenin renkliliği olarak adlandırılan K/S değeri, boyarmaddenin absorpsiyon konsantrasyonu c ile absorpsiyon katsayısı A nin çarpımına eşittir. Bir kumaşın boyama verimliliği, Kubelka-Munk eşitliği ile teşpit edilmektedir. Bu eşitliğe göre K/S değerinin artması, kumaşın boyama verimliliğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir.

6.2.9. İstatistiksel Değerlendirme

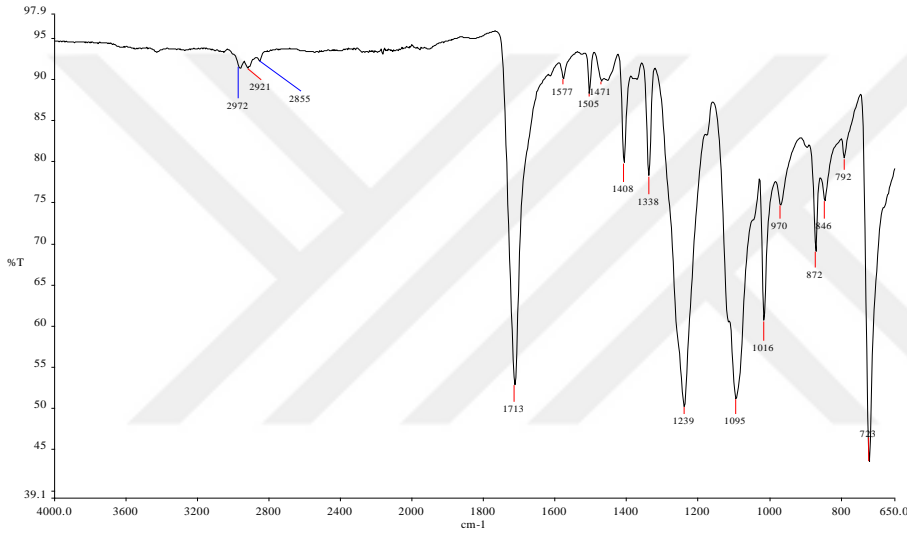
Çalışmadan elde edilen verilerin istatistik olarak değerlendirilmesi için SPSS istatistik paket yazımı kullanılarak varyans analizler gerçekleştirilmiştir. Boyama işlemi öncesi ve sonrasından elde edilen ölçüm sonuçları arasında fark olup olmadığını tespit etmek amacıyla “bağımsız iki örnek T-testi” yapılmıştır.



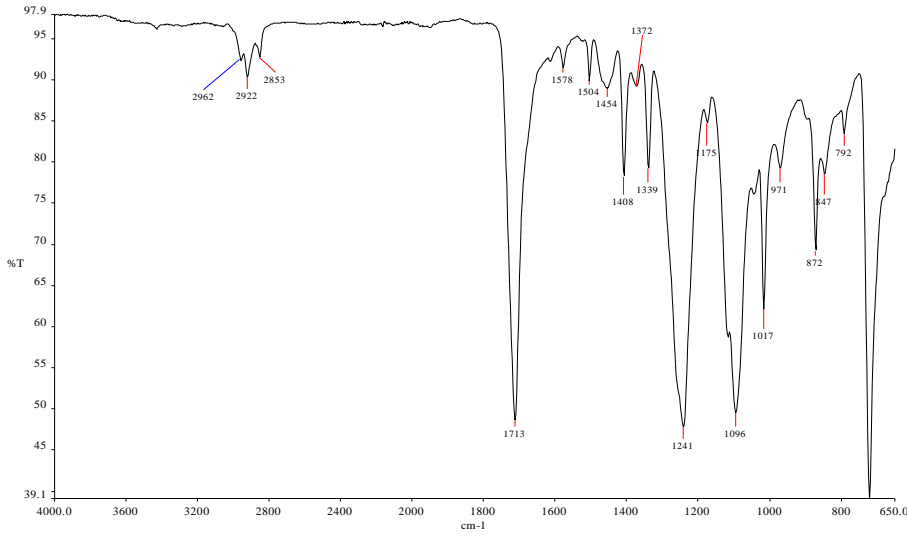
7. BULGULAR ve TARTIŞMA

7.1. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Analizine İlişkin Bulgular

Tez projesi kapsamında PET ve geri dönüşüm PET liflerinden yapılan kumaş numunelerinin yapısal özelliklerini incelemek için EGE Üniversitesi Tekstil Mühendisliği laboratuvarında bulunan Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektrometre cihazı kullanılmıştır ve FTIR analizlerine ait grafikler Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.1. PET numunesinin FTIR spektrumu.



Şekil 7.2. Geri dönüşüm PET numunesinin FTIR spektrumu.

721-792-846 cm^{-1} 'de gözlemlenen pikler benzen halkasındaki C-H ve C-C titreşimlerine aittir. 1095-1243-1339-1372 cm^{-1} 'deki pikler C-O ve C-O-C titreşimlerine aittir. 1578 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik karboksilat anyonunun C-O bağındaki gerilmeye aittir. 1713 cm^{-1} 'de gözlemlenen güçlü pik ester bağındaki karboksil grubun C=O gerilmesine aittir. 2800-3000 cm^{-1} arasındaki pik CH_2 , CH_3 ve C-H gerilmelerine aittir (çizelge 7.1).

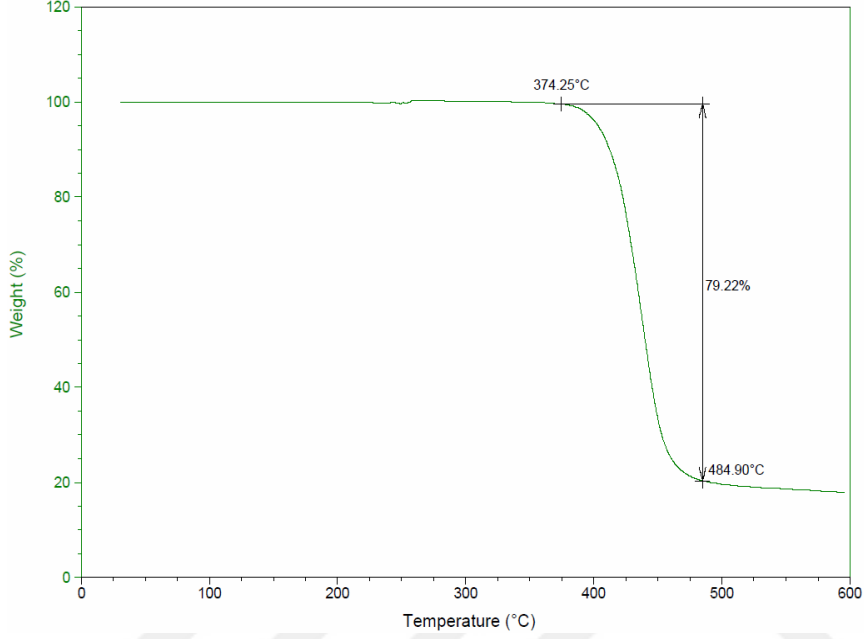
Çizelge 7.1. PET ve r-PET liflerinin 4000 – 600 cm^{-1} bölgesindeki FTIR spektrum pikleri.

Pik No	Dalga Sayısı (cm^{-1})	Fonksiyon Gruplarının
1	723	aromatik halkada C-H eğilmesine
2	792	aromatik halkada C-H eğilmesine
3	847	Ring C-Cstretching+ vibration of ester group+ CH_2 rocking
4	872	aromatik halkada C-H eğilmesine
5	970	Trans C-O stretching +vibration of ester group
6	1017	aromatik halkada C-H eğilmesine
7	1095	O- CH_2 stretching
8	1175	vibration of aromatic ring
9	1239	C-O gerilmesi
10	1339	CH_2 eğilmesi
11	1372	O=C-O gerilmesi
12	1408	aromatik halka
13	1471	CH_2 eğilmesi
14	1504	aromatik halkada gerilme
15	1578	C=C çift bağ gerilmesi
16	1713	C=O gerilmesi
17	2853	C-H gerilmesi (doymuş)
18	2922	C-H gerilmesi (doymuş)

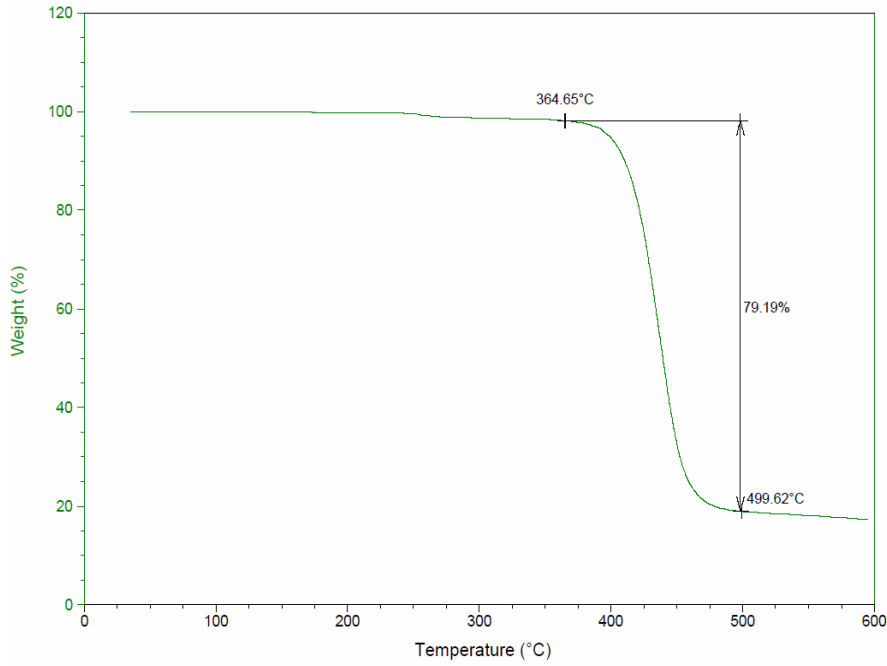
PET ve r-PET 'in FTIR piklerini analiz ettiğimizde, fonksiyon gruplarının çok fazla değişmediği ve hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

7.2. TGA (Thermogravymetric Analysis) Analizine İlişkin Bulgular

Tez projesi kapsamında PET ve geri dönüşüm PET liflerinden yapılan kumaş numunelerinin TGA analizlerine ait grafikler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 7.3. PET numunesine ait TGA grafiği.



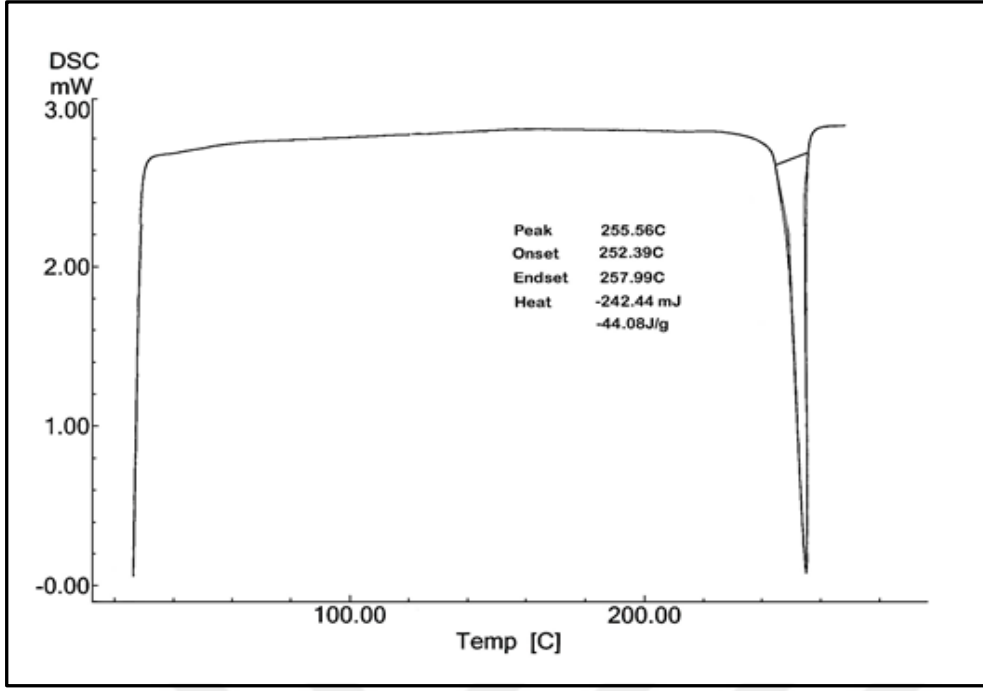
Şekil 7.4. r-PET numunesine ait TGA grafiği.

r-PET lifinde birinci aşamada gerçekleşen kütle kaybı yaklaşık olarak 250°C civarında gözlenmektedir. Burada yaşanan kütle kaybı miktarı %5 ile %10 aralığında değişmekte olup, lif numuneleri içerisinde bulunan yağ ve nem gibi uçucu maddelerden ileri gelmektedir. Ancak PET'te bu bölge görünmemektedir. En büyük kütle kaybı ise ikinci aşamada yaşanmış olup, kütle kaybı 355-360°C sıcaklık aralığında başlamış ve 500°C sıcaklık değerlerine kadar sürmüştür. Bu aşamada yaşanan kütle kayıpları lifin bozunması sonucu meydana gelen zincir parçalanmaları ve kütle kayıpları sonucu ortaya çıkmaktadır. İkinci aşamada bozunma sonucu lif kütlelerinin yaklaşık olarak %80'ini kaybetmektedirler.

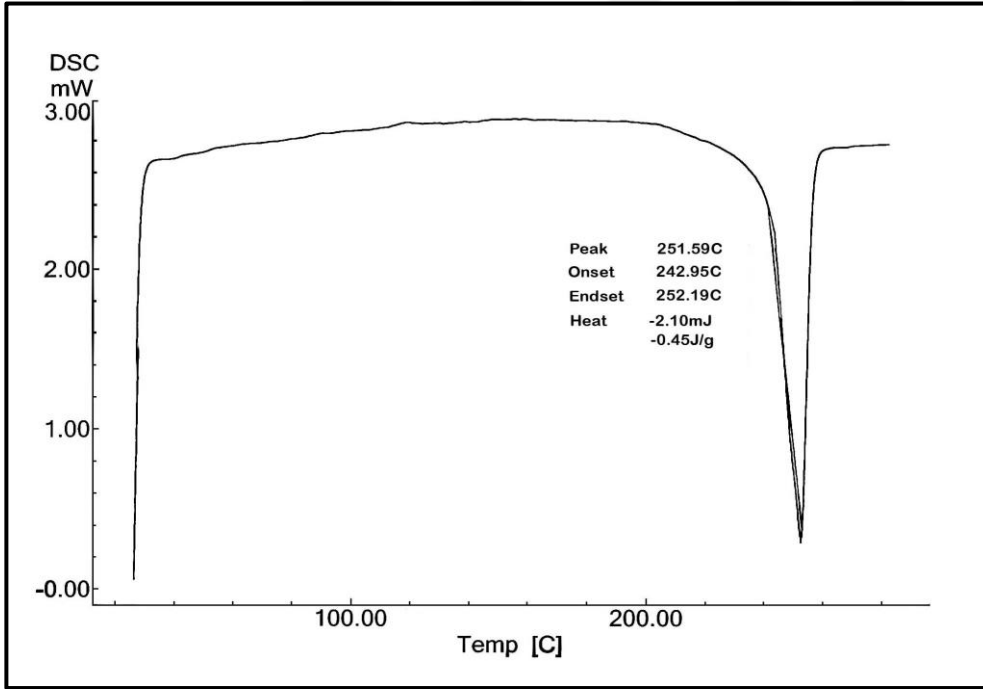
Çömlekçi ve arkadaşları çalışmalarında PET filmin ısı gravimetrik analiz (TGA) eğrisinde 380°C'de bozunmaya başladığını ve ağırlığının yaklaşık %87'sini kaybettiğini söylemişlerdir. DSC termogramları ile TGA termogramları karşılaştırıldığında, PET ve r-PET lif numunelerinin erime sıcaklığının DSC termogramlarında da 250°C sıcaklık aralığında yer aldığı görülmektedir.

7.3. DSC (Differential Scanning Calorimeter) Analizine İlişkin Bulgular

Tez projesi kapsamında PET ve geri dönüşüm PET liflerinden yapılan kumaş numunelerinin DSC analizlerine ait grafikler Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da verilmiştir.



Şekil 7.5. PET numunesine ait DSC grafiği.



Şekil 7.6. r-PET numunesine ait DSC grafiği.

DSC grafiğine baktığımızda PET numunesine ait erime noktası pikinin $255,64^{\circ}\text{C}$ 'de, r-PET numunesine ait erime noktası pikinin ise $251,59^{\circ}\text{C}$ 'de ortaya çıktığı gözlenmektedir. PET lifine ait DSC grafiği ile r-PET lifine ait DSC grafiği karşılaştırıldığında PET lifine ait erime pikinin ve daha sivri bir yapı sergilediği

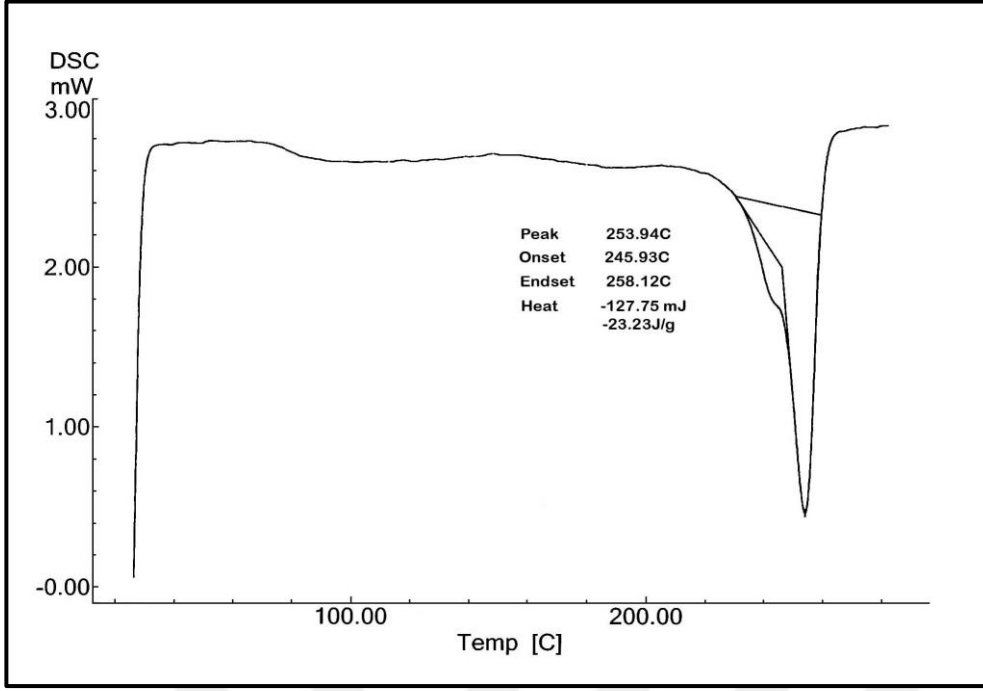
görülmektedir. DSC grafiklerinin erime piklerinde meydana gelen yayılma ve genişleme, malzemenin kristalin yapısında meydana gelen düşüşle ilişkilendirilmektedir. Bu durum bizim numunelerimizde de r-PET lifinin PET lifine göre daha amorf bir yapıya sahip olduğu anlamına gelmektedir.

Çizelge 7.2. PET ve r-PET ait DSC analizlerinden hesaplanan bozunma sıcaklığı ve ekzotermik entalpi değerleri.

Numune	Camsı Geçiş Sıcaklığı (T _g) (°C)	On set	End set	Erime Sıcaklığı (°C)	Ekzotermik Entalpi (ΔH) (J/g)
PET	-	252,39 °C	257,99 °C	255,56°C	-44,08
PET-	-	245,93 °C	258,12 °C	253,94°C	-23,23
r-PET	-	242,95 °C	252,19 °C	251,59°C	-0,45

Numunelerin DSC cihazından elde edilen termal analiz grafiklerinden alınan camsı geçiş sıcaklığı, ekzotermik entalpi ve bozunma sıcaklığı değerleri Çizelge 7.2’de verilmektedir.

Ekzotermik entalpi değeri liflerin bozunması sonucunda açığa çıkan enerji miktarını, ekzotermik pik değeri ise lif yapısının bozunma sıcaklığını ifade etmektedir.

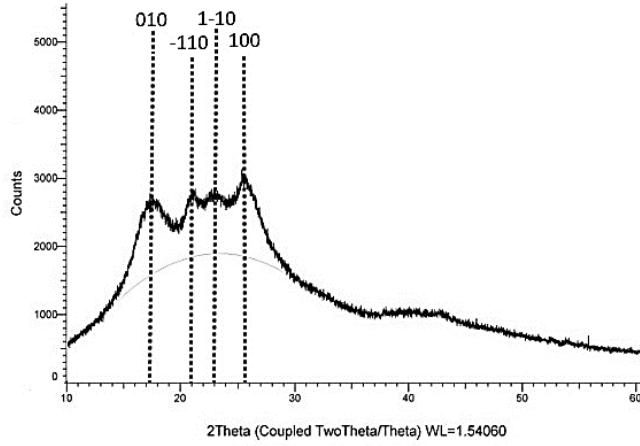


Şekil 7.7. İki kere ısıtılan PET numunesine ait DSC grafiği.

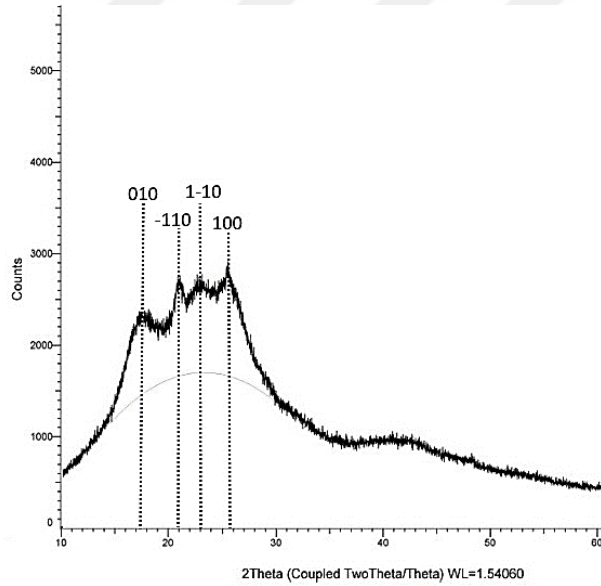
Tez çalışmasında PET şişeden elde edilen lifi simüle etmek için PET lifinden DSC analizi yaptıktan sonra tekrar soğutup ve ikinci kez DSC analizi yaptıktan sonra DSC analizini incelediğimizde erime noktasının $255,56^{0C}$ dan $253,94^{0C}$ düşüşü görülmüştür (Şekil 7.7). Buradan anlaşılacağı üzere, PET ve r-PET liflerinin erime noktalarındaki farklılığın, r-PET liflerinin endüstriyel üretim işlemleri sırasında gördüğü ısıl işlemler sonucu olduğu söylenebilmektedir.

7.4. X-Işını Kırınımı Analizine İlişkin Bulgular

Lif numunelerinin geniş açı x-ışını difraksiyonu cihazından elde edilen grafiklerinden kristal yapı özellikleri ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Numunelerin x – ışını grafiklerini elde etmek için yapışkan şerit üzerine numuneler düzgün bir şekilde yapıştırılarak x-ışını difraktometresine yerleştirilmiştir. Daha sonra cihaz tarafından x-ışınlarıyla taranan liflerin x-ışını difraksiyon grafikleri elde edilmiştir. Buradan elde edilen geniş açı x – ışını difraksiyon grafiğindeki 2θ pik verileri kullanılmak suretiyle, PET ve r-PET'in kristal yapısı ile ilgili bazı parametrelere ulaşılmıştır.



Şekil 7.8. PET numunesine ait XRD grafiği.



Şekil 7.9. Geri dönüşüm PET numunesine ait XRD grafiği.

Şekil 7.8 ve 7.9’de görüldüğü gibi, 2θ değerinin 17.1° , 22.6° ve 26.2° açılarna ulaştığında hem PET hem de r-PET grafiklerinde pikler oluşmuştur. Bu pikler sırasıyla (010), (110) ve (100) kafes düzlemlerinde olduğu tespit edilmiştir. Grafiklere bakıldığında, genel kristalin derecesi PET numunelerinde 26.2° bileşik için r-PET’ten daha yüksek olduğunu görülmektedir. Ayrıca en yüksek kristalin oluşumu (100) yönündedir. r-PET’in bu davranışı, genişletilmiş r-PET zincirlerinden kaynaklanmaktadır. Benzer davranışlar literatürdeki çalışmalarda da yer almaktadır.

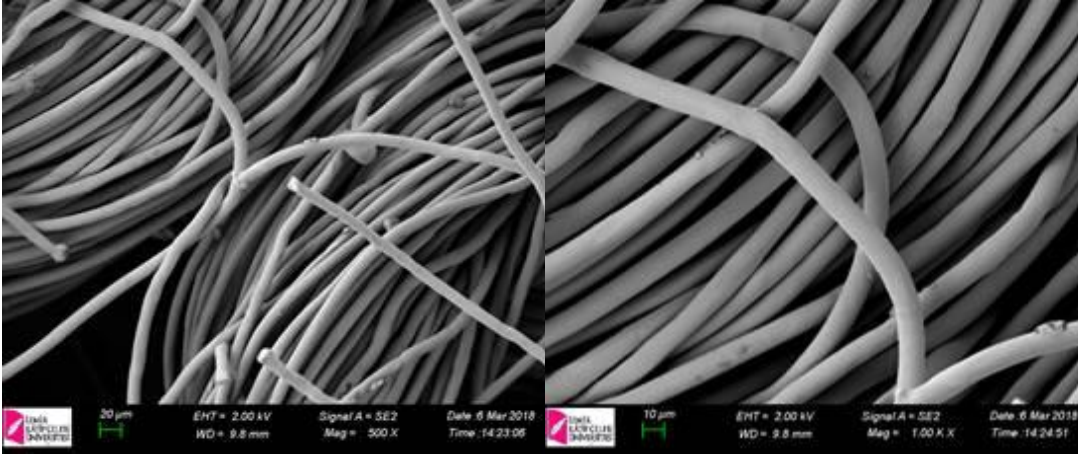
Çizelge 7.3. PET ve r-PET'in kristalin bölge ve amorf bölge oranları.

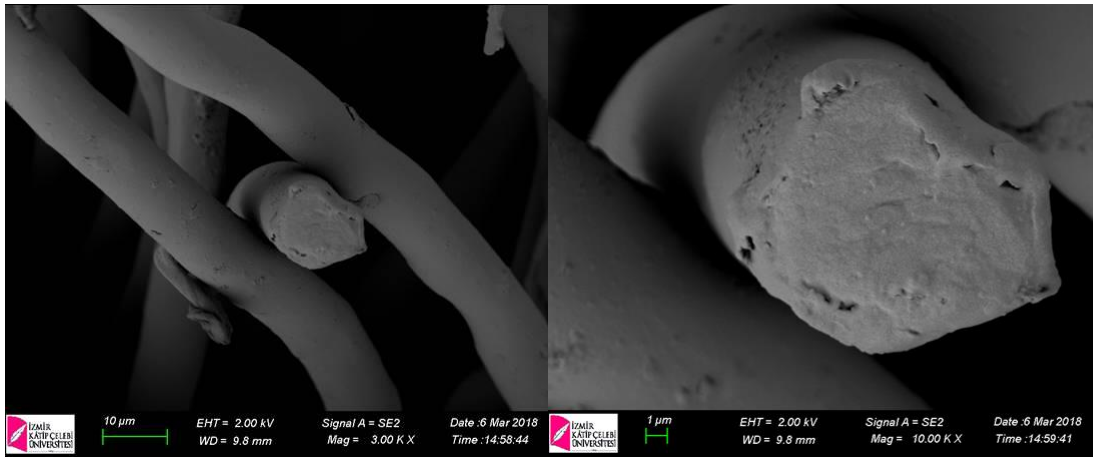
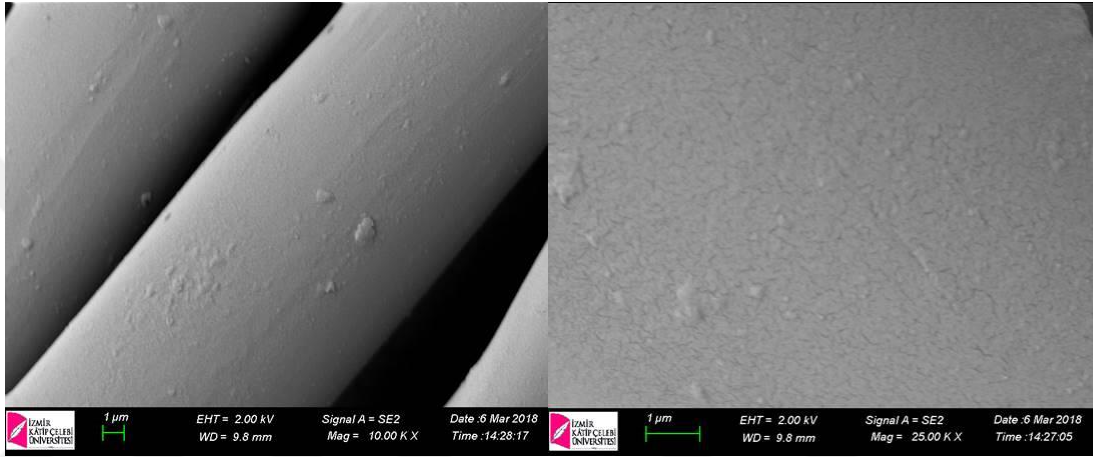
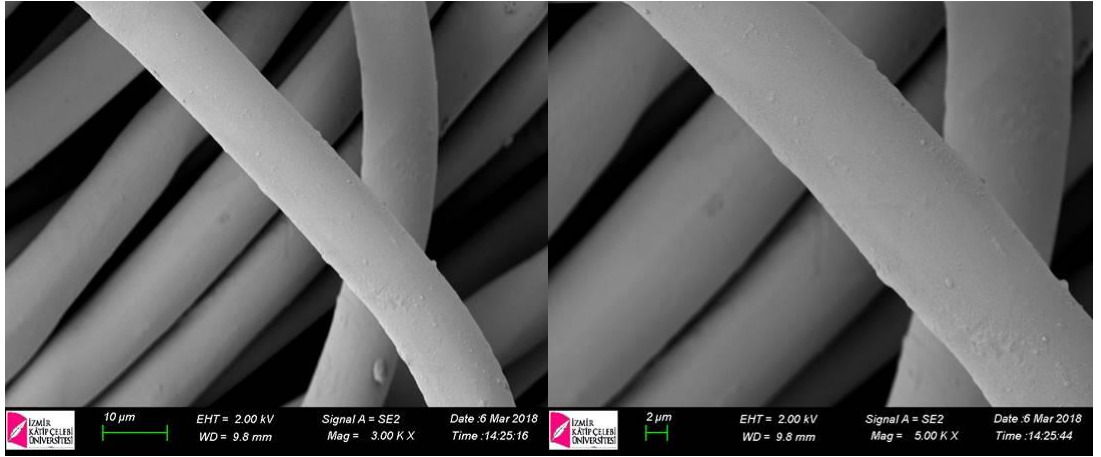
	Amorf %	Kristal %
PET	26.5	73.5
r-PET	27.5	72.5

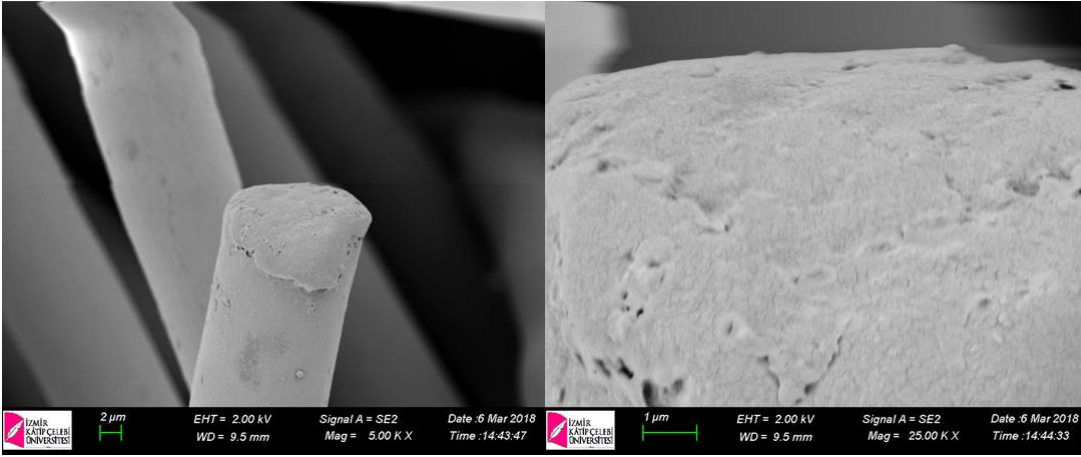
Çizelge 7.3' e bakıldığında, PET'in kristal yüzdesi 73.5 ve amorf yüzdesi 26.5 olmuştur. Ayrıca r-PET lifinin kristal yüzdesi 72.5 ve amorf yüzdesi 27.5 saptanmıştır. Sonuçlara bakıldığında iki numune arasında çok fark olmadığını tespit edilmiştir. Bu sonuç şekil 7.8 ve 7.9 grafiklerinde verilen XRD dataları tarafından desteklenmektedir.

7.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizine İlişkin Bulgular

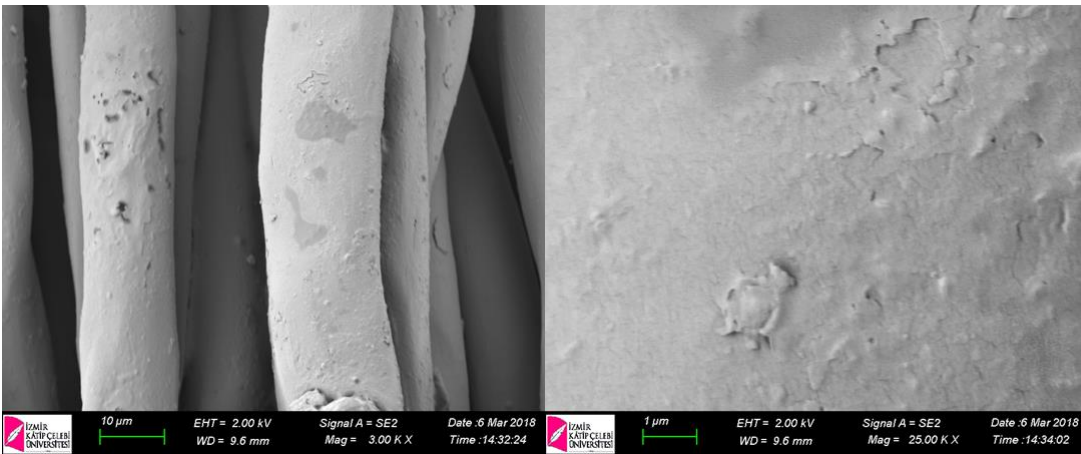
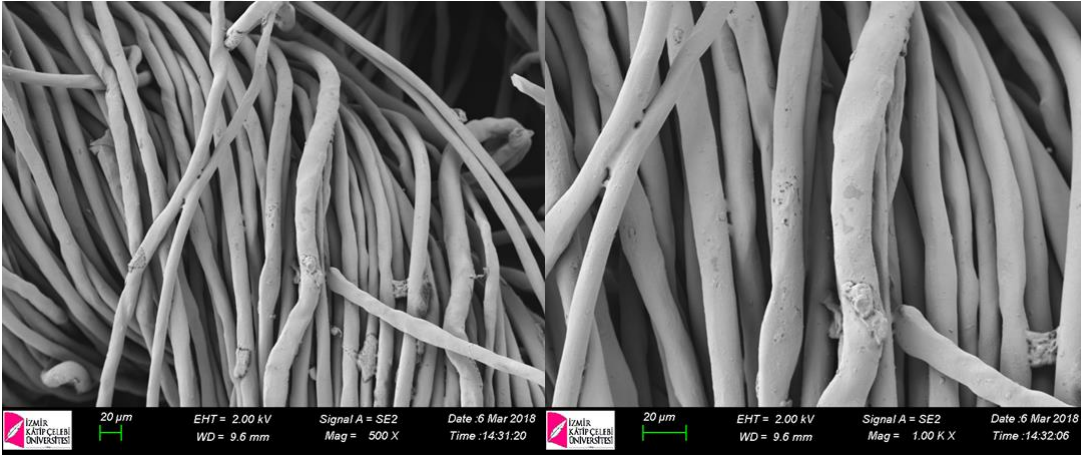
Tez projesi kapsamında üretilen kumaşlara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 7.10 – Şekil 7.11'de verilmektedir.





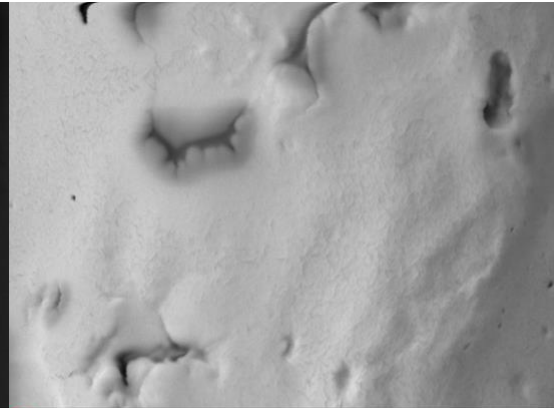


Şekil 7.10. PET numunesine ait SEM görüntüsü.

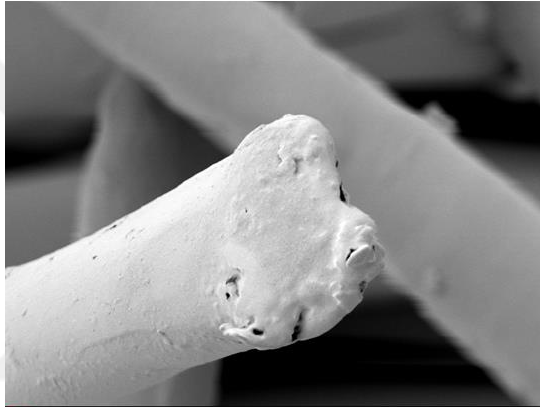




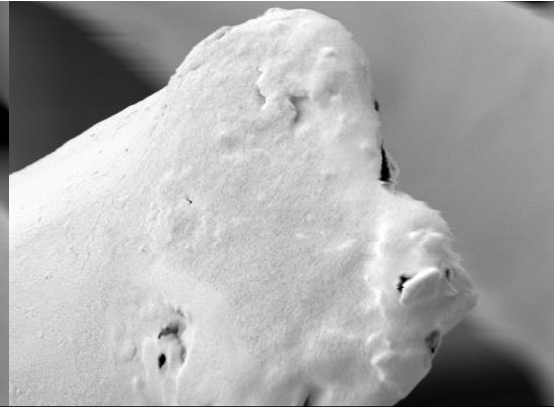
IZMIR KATIP CELIKLERI UNIVERSITESI
2 μm EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Date :6 Mar 2018
WD = 9.7 mm Mag = 10.00 K X Time :14:34:45



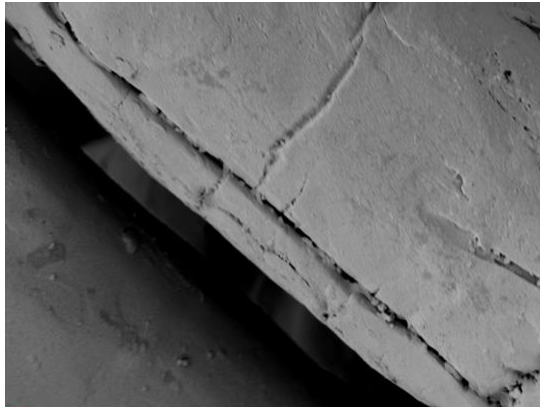
IZMIR KATIP CELIKLERI UNIVERSITESI
1 μm EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Date :6 Mar 2018
WD = 9.7 mm Mag = 25.00 K X Time :14:35:20



IZMIR KATIP CELIKLERI UNIVERSITESI
2 μm EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Date :6 Mar 2018
WD = 9.4 mm Mag = 5.00 K X Time :14:36:24



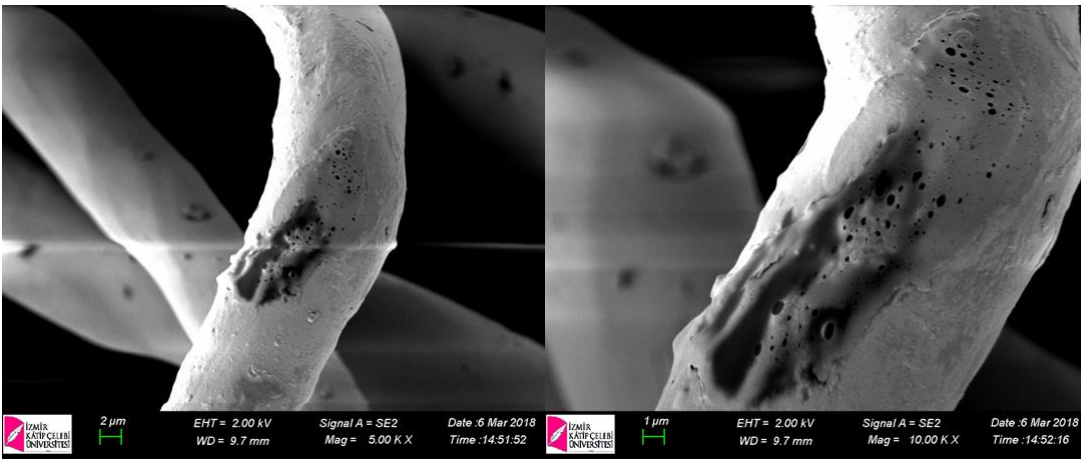
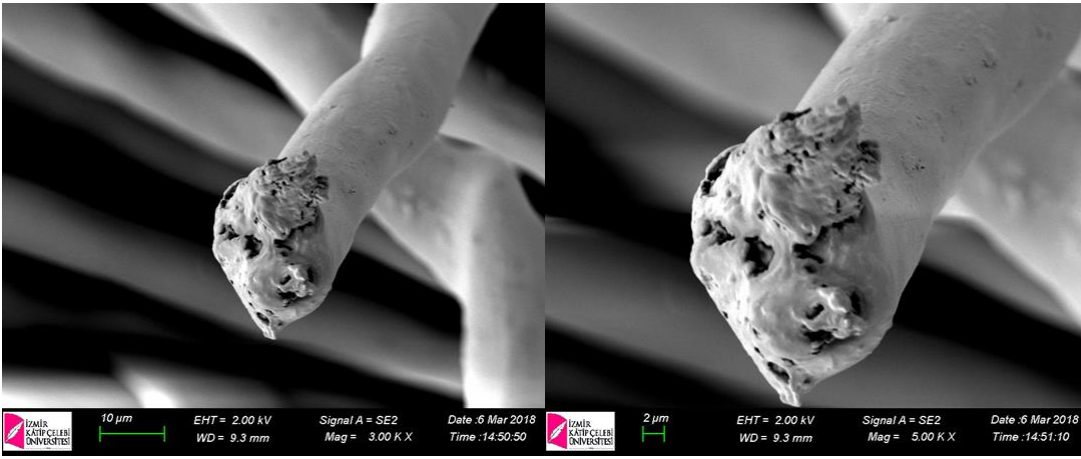
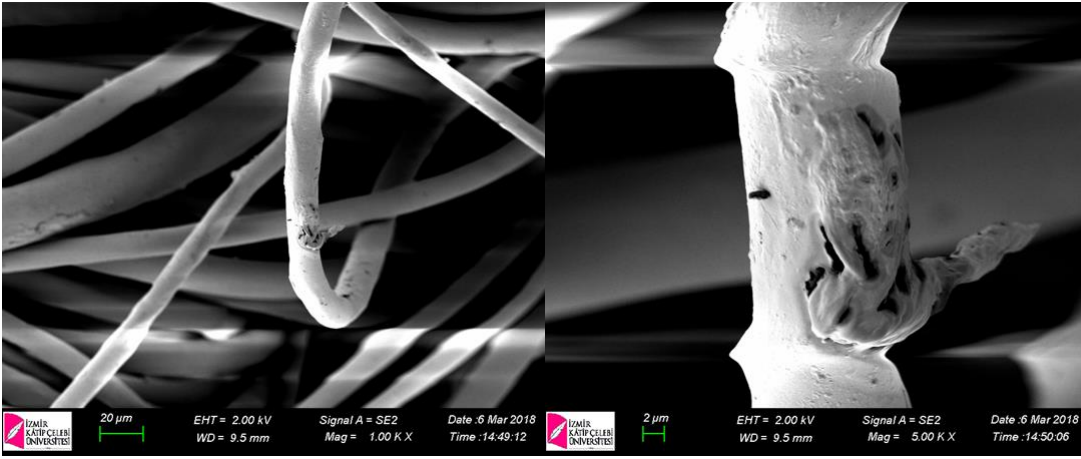
IZMIR KATIP CELIKLERI UNIVERSITESI
2 μm EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Date :6 Mar 2018
WD = 9.4 mm Mag = 10.00 K X Time :14:36:46

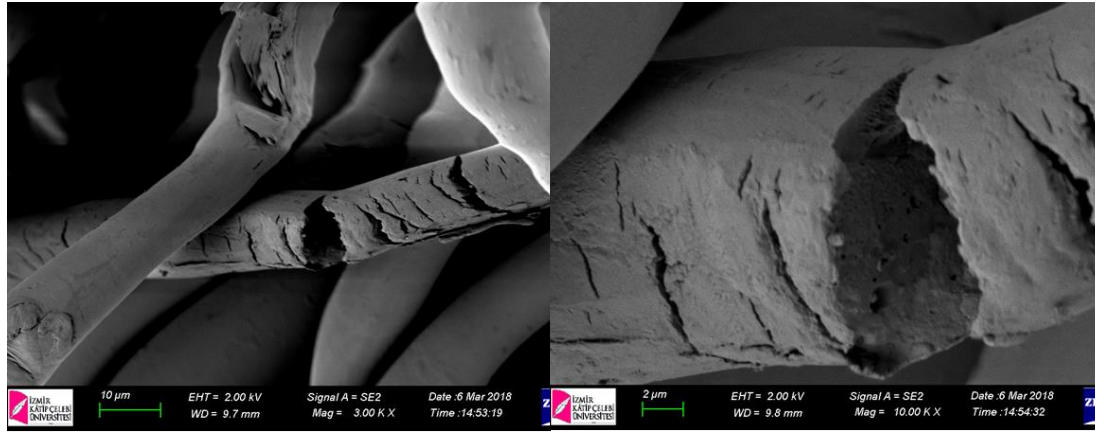


IZMIR KATIP CELIKLERI UNIVERSITESI
1 μm EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Date :6 Mar 2018
WD = 9.5 mm Mag = 10.00 K X Time :14:38:05



IZMIR KATIP CELIKLERI UNIVERSITESI
2 μm EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Date :6 Mar 2018
WD = 9.6 mm Mag = 5.00 K X Time :14:40:01





Şekil 7.11. r-PET numunesine ait SEM görüntüsü.

Proje kapsamında kullanılan PET ve r-PET liflerinin mikroskopik açıdan yapılan incelemelerinde, PET liflerinin son derece düzgün, saf ve pürüzsüz bir yüzey yapısına sahipken, r-PET lifinin üretimi sırasında maruz kaldığı ısıl ve mekanik etkiler nedeniyle yüzey morfolojisindeki hasarlar ve bozulmalar olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, r-PET liflerinin yüzeyi daha pürüzlü hale gelip ve yüzey pürüzlülüğü arttıkça, liflerin yüzey alanı da artmaktadır.

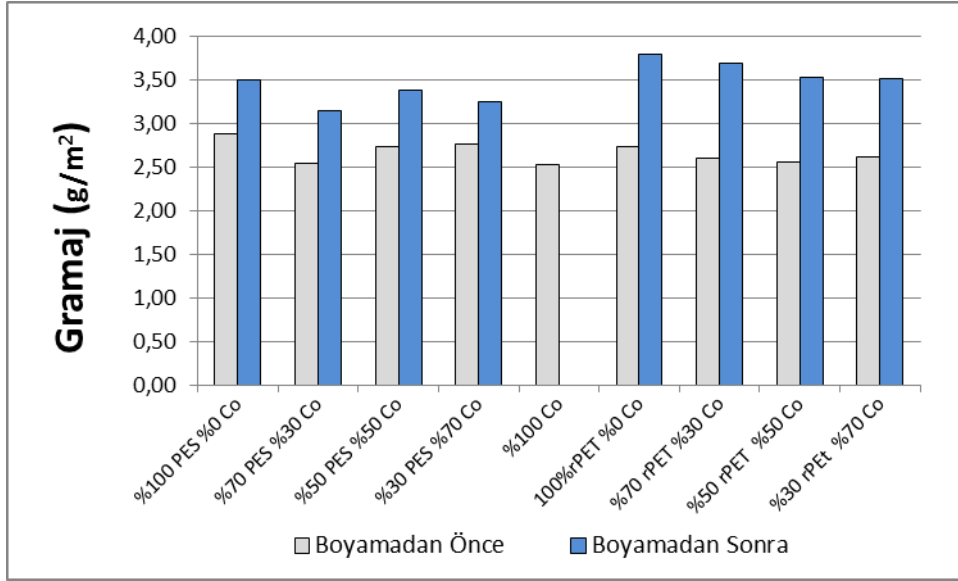
7.6. Kumaşların Gramajlarına İlişkin Bulgular

Çizelge 7.4’de kumaşların gramajlarına ilişkin bulgular verilmiştir

Çizelge 7.4. Kumaşların gramajlarına ilişkin test verileri.

Materyal	Gramaj (g/m ²) (Boyama Öncesi)	Gramaj (g/m ²) (Boyama Sonrası)	Önemlilik (p)
%100PET	287,8	350,8	0,000
%70PET %30Co	260,5	314,4	0,000
%50PET %50Co	273,8	337,6	0,000
%30PET %70Co	276,3	324,4	0,000
%100Co	253,6	253,7	-
%100r-PET	274,1	379,7	0,000
%70r-PET %30Co	254,2	369,7	0,000
%50r-PET %50Co	256,5	352,4	0,000
%30r-PET %70Co	262,4	351,2	0,000

* $\alpha = 0,05$ 'e göre önemli.



Şekil 7.12. Kumaşların ortalama gramaj değerleri.

Kumaşların gramajlarına ilişkin test sonuçları incelendiğinde, tüm kumaş tiplerinde boyama işleminden sonra kumaşlarda meydana gelen çekme ve boya alımı sebebiyle gramajlarının arttığı görülmektedir. Tüm kumaşların gramajlarında meydana gelen artış istatistiksel açıdan önemlidir.

Boyama işleminden önce tüm kumaşların gramajları genel olarak birbirine yakınken, r-PET içeren kumaşların gramajı boyama işleminden sonra daha yüksek bulunmuştur.

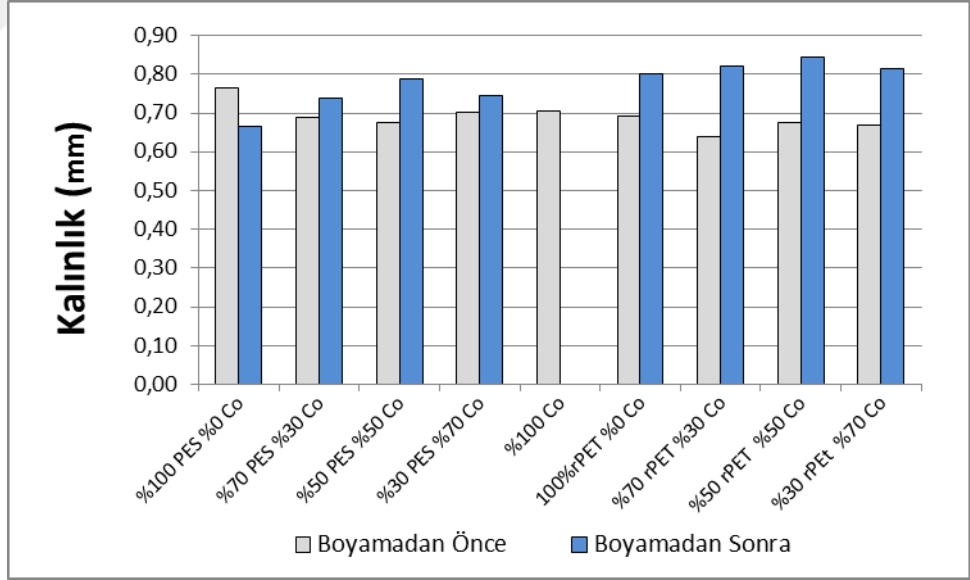
7.7. Kumaşların Kalınlıklarına İlişkin Bulgular

Çizelge 7.5’ te kumaşların kalınlıklarına ilişkin bulgular verilmiştir.

Çizelge 7.5. Kumaşların kalınlıklarına ilişkin test verileri.

Materyal	Kalınlık (mm) (Boyama Öncesi)	Kalınlık (mm) (Boyama Sonrası)	Önemlilik (p)
% 100PET	0,764	0,667	0,000
% 70PET % 30Co	0,689	0,737	0,001
% 50PET % 50Co	0,676	0,789	0,000
% 30PET % 70Co	0,701	0,745	0,000
% 100Co	0,707	-	-
% 100r-PET	0,692	0,8	0,000
% 70r-PET % 30Co	0,639	0,82	0,000
% 50r-PET % 50Co	0,675	0,843	0,000
% 30r-PET % 70Co	0,668	0,814	0,000

* $\alpha = 0,05$ ' e göre önemli.



Şekil 7.13. Kumaşların ortalama kalınlık değerleri.

Kumaşların kalınlıklarına ilişkin test sonuçları incelendiğinde elde edilen test sonuçlarının kumaşların gramaj testlerinin sonuçlarıyla paralellik gösterdiği görülmektedir. Boyama işleminden sonra kumaş yapısında meydana gelen

çekmeye bağlı olarak kumaşların kalınlığı da istatistiksel açıdan önemli derecede artmaktadır.

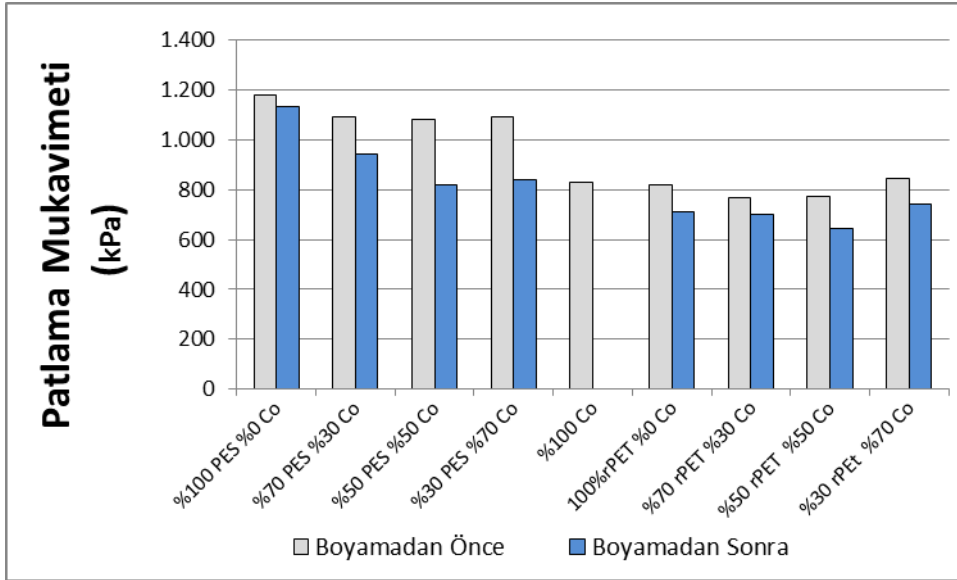
7.8. Kumaşların Patlama Mukavemetlerine İlişkin Bulgular

Çizelge 7.6’da kumaşların patlama mukavemetlerine ilişkin bulgular verilmiştir.

Çizelge 7.6. Kumaşların patlama mukavemetlerine ilişkin test verileri.

Materyal	Patlama mukavemeti (kPa) (Boyama Öncesi)	Patlama Mukavemeti (kPa) (Boyama Sonrası)	Önemlilik (p)
%100PET	1177,22	1131,56	0,341
%70PET %30Co	1092,02	944,56	0,006
%50PET %50Co	1081,3	816,76	0,000
%30PET %70Co	1090,78	841,52	0,000
%100Co	831,94	-	-
%100r-PET	818,66	712,46	0,00
%70r-PET %30Co	767,6	700,06	0,012
%50r-PET %50Co	771,0	644,86	0,000
%30r-PET %70Co	846,8	744,08	0,000

* $\alpha = 0,05$ 'e göre önemli.



Şekil 7.14. Kumaşların ortalama patlama mukavemeti değerleri.

Kumaşların patlama mukavemeti test sonuçlarına göre, en yüksek patlama mukavemeti değeri %100 PET içeren kumaşta elde edilmektedir. Bu durum, PET lifinin en yüksek lif mukavemetine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Geri dönüşüm işlemi sırasında liflerin termal ve mekanik açıdan zarar görmesi nedeniyle liflerin mukavemetlerinde de bir miktar düşme meydana gelmektedir. Dolayısıyla r-PET ve karışımlarında PET kumaşa göre daha düşük patlama mukavemeti değeri elde edilmektedir.

Boyama işleminin etkisi incelendiğinde ise, %100 PET içeren kumaş dışındaki kumaşlarda boyama sonrasında kumaşların patlama mukavemetlerinde önemli bir azalma olduğu görülmektedir.

PET ve r-PET lifleri pamuk lifiyle karışım halinde kullanıldığında pamuk lifinin özgül mukavemetinin PET'ten daha düşük olması nedeniyle karışım kumaşların mukavemetleri genel olarak %100 PET ve %100 r-PET lifinden daha düşük bulunmaktadır.

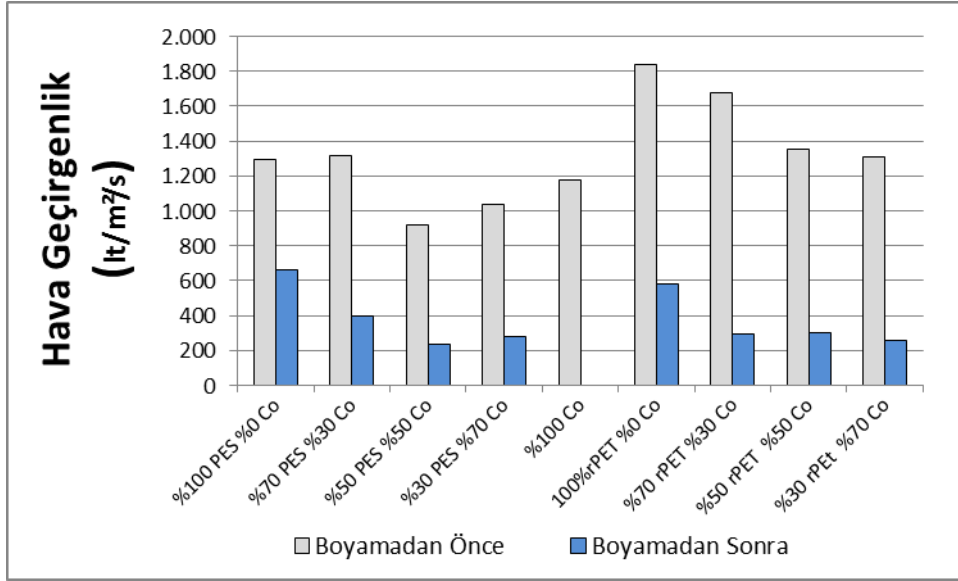
7.9. Kumaşların Hava Geçirgenliklerine İlişkin Bulgular

Çizelge 7.7'de Textest AG FX 3300 Hava Geçirgenliği Cihazından elde edilen kumaşların hava geçirgenliklerine ilişkin bulgular verilmiştir.

Çizelge 7.7. Kumaşların hava geçirgenliklerine ilişkin test verileri.

Materyal	Hava geçirgenliği (lt/m ² /s) (Boyama Öncesi)	Hava geçirgenliği (lt/m ² /s) (Boyama Sonrası)	Önemlilik (p)
%100PET	1296	662	0,000
%70PET %30Co	1314	394,6	0,000
%50PET %50Co	922,5	232,4	0,000
%30PET %70Co	1037,6	281	0,000
%100Co	1179,5	-	-
%100r-PET	1841	580,8	0,000
%70r-PET %30Co	1680	296,6	0,000
%50r-PET %50Co	1351	299,6	0,000
%30r-PET %70Co	1307	259,4	0,000

* $\alpha = 0,05$ 'e göre önemli.



Şekil 7.15. Kumaşların ortalama hava geçirgenliği değerleri.

Kumaşların hava geçirgenliği testine ilişkin bulgular incelendiğinde, r-PET içeren kumaşların hava geçirgenliğinin genel olarak PET içeren kumaşlardan daha yüksek olduğu görülmektedir.

Proje kapsamında kullanılan PET ve r-PET liflerinin mikroskopik açıdan yapılan incelemelerinde, PET lifi son derece düzgün bir yüzey yapısına sahipken, r-PET lifinin üretimi sırasında maruz kaldığı ısıl ve mekanik etkiler nedeniyle lif yüzeyinde bozulmalar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.10, Şekil 7.11). Bu bozulmalar nedeniyle r-PET malzemeden üretilen liflerin gözenekliliği artmaktadır.

Boyama işleminin ardından kumaşa meydana gelen çekme sebebiyle kumaşın yapısı daha sık ve daha az gözenekli hale gelmektedir. Bu da hava geçirgenliğinin boyama sonrasında düşmesine neden olmaktadır. Ancak boyama işleminden sonra PET ve r-PET kumaşların hava geçirgenliği açısından birbirine yakın nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

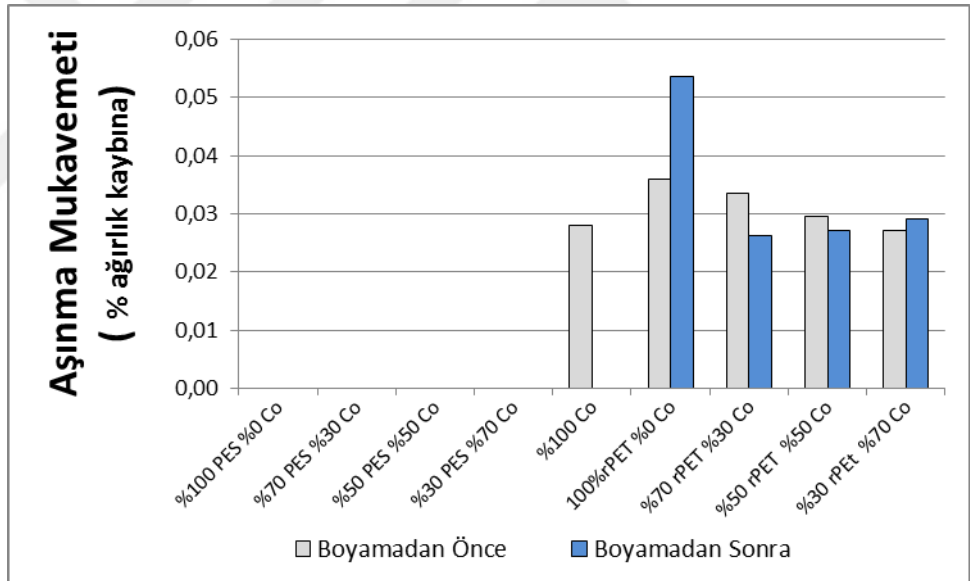
7.10. Kumaşların Aşınma Mukavemetlerine İlişkin Bulgular

Martindale Aşınma Mukavemeti Ölçüm Cihazında 2500 -120000 tura kadar kumaşlarda oluşan ortalama % ağırlık kayıpları Çizelge 7.8'de gösterilmiştir.

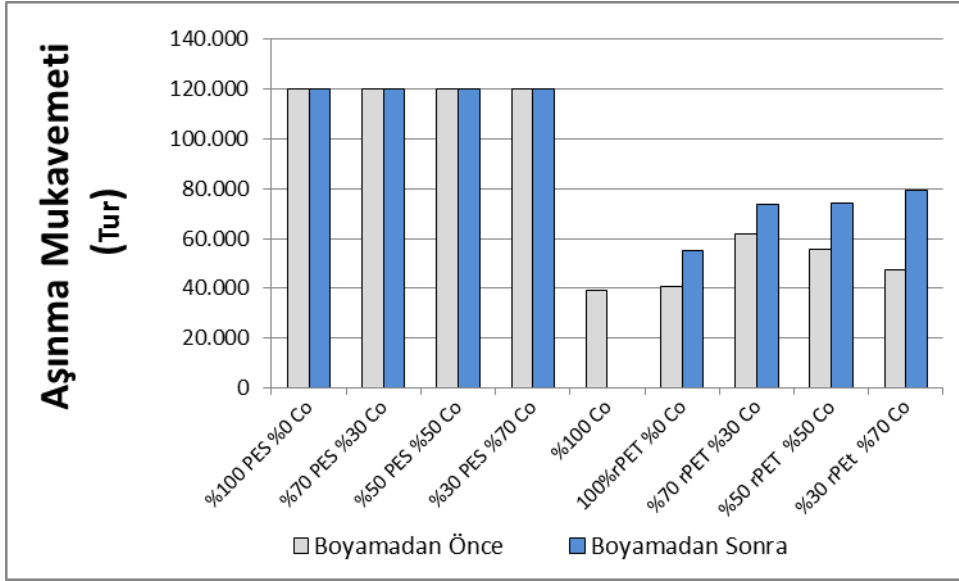
Çizelge 7.8. Kumaşların aşınma mukavemetlerine ilişkin test verileri.

Materyal	Boyamadan Önce		Boyamadan Sonra	
	Tur	% Kütle kaybı (mg)	Tur	% Kütle kaybı (mg)
% 100PET	12000	0,00000	12000	0,00000
% 70PET % 30Co	12000	0,00000	12000	0,00000
% 50PET % 50Co	12000	0,00000	12000	0,00000
% 30PET % 70Co	12000	0,00000	12000	0,00000
% 100Co	39250	0,02803	-	-
% 100r-PET	40633	0,03607	55050	0.05367
% 70r-PET % 30Co	61767	0,03363	73750	0.02627
% 50r-PET % 50Co	55637	0,02963	74167	0.02713
% 30r-PET % 70Co	47467	0,02720	79330	0.02917

* $\alpha = 0,05$ 'e göre önemli.



Şekil 7.16. Kumaşların aşınma mukavemetlerinin ortalama % ağırlık kaybına göre değerleri.



Şekil 7.17. Kumaşların aşınma mukavemetlerinin ortalama tur sayısına göre değerleri.

Aşınma test sonuçları incelendiğinde PET ve karışımı kumaşların r-PET ve karışımı kumaşlara göre daha yüksek mukavemette olduğu tespit edilmiştir. PET ve karışımı kumaşlarda 120.000 tura kadar kopuş tespit edilmemiştir. Boyalı kumaşlarda karışım içerisindeki r-PET oranı arttıkça kumaşın aşınma dayanımında da azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Aşınma dayanımı testi sonucunun bir diğer değerlendirme yöntemi olan kütle kaybı test sonucu incelendiğinde (Şekil 7.16), kumaş içeriğindeki r-PET lifinin miktarının artmasıyla numune koptuğu anda tespit edilen kütle kaybının da arttığı görülmektedir.

r-PET içeren kumaşlarda kumaş içerisindeki pamuk oranı arttıkça kütle kaybı artmaktadır. Bu da pamuk lifinin, r-PET'e göre aşınmaya daha az dayanıklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Kumaşların aşınma dayanımı test sonuçları (Şekil 7.17) incelendiğinde, PET lifinin yüksek mekanik dayanıma sahip olması sebebiyle, PET içeren kumaşlarda oldukça yüksek tur sayılarına kadar kopuş gözlemlenmediği görülmektedir. Bu kumaşın yapısındaki liflerin yüzeyleri daha düzgün ve pürüzsüzdür. Dolayısıyla da daha düşük yüzey sürtünme katsayısına sahip olduğundan, sürtünme hareketi esnasında bu liflerden üretilen kumaşların oluşturacağı sürtünme kuvveti de daha düşük olmaktadır. Bu nedenle kumaş yüzeyinde de daha az yıpranmaktadır.

r-PET içeren kumaşların tümünde daha kısa sürede iplik kopuşu gözlemlenmektedir. Bu da geri dönüşüm liflerinin daha düşük mekanik dayanıma sahip olması ve liflerin yüzeylerinin daha pürüzlü olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

r-PET içeren kumaşların genel olarak mekanik özelliklerinde bir miktar düşüş görülmektedir. Ancak en yüksek düşüşün incelenen fiziksel özellikleri içerisinde aşınma dayanımında olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu liflerden üretilen kumaşların kullanımı sırasında yoğun sürtünme kuvvetine maruz kalacağı alanlar için bir dezavantaj oluşturma ihtimalinin bulunduğu göz ardı edilmemelidir.

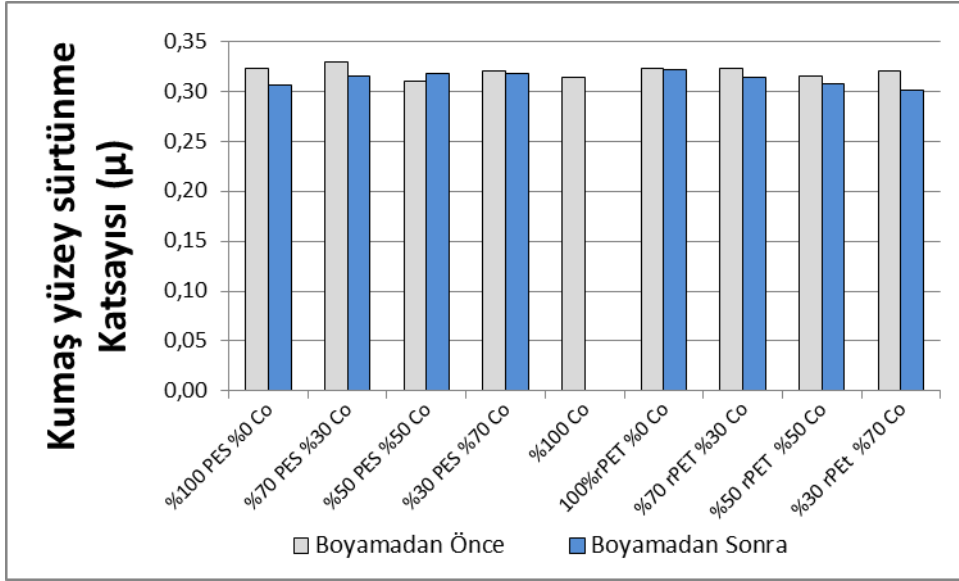
7.11. Kumaşların Yüzey Sürtünme Katsayısı Ölçümlerine İlişkin Bulgular

Kumaşların, Frictorq kumaş yüzey sürtünme katsayısı test cihazında ölçülen kinetik sürtünme katsayıları (μ) Çizelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.9. Kumaşların yüzey sürtünme katsayısı ölçümlerine ilişkin test verileri.

Materyal	Kumaş yüzey sürtünme Katsayısı (μ) (Boyama Öncesi)	Kumaş yüzey sürtünme Katsayısı (μ) (Boyama Sonrası)	Önemlilik (p)
%100PET	0,32308	0,30675	0,003
%70PET %30Co	0,32932	0,31555	0,003
%50PET %50Co	0,31033	0,3177	0,041
%30PET %70Co	0,3208	0,31875	0,688
%100Co	0,3148	-	-
%100r-PET	0,32353	0,3226	0,856
%70r-PET %30Co	0,323117	0,3143	0,084
%50r-PET %50Co	0,31585	0,30778	0,079
%30r-PET %70Co	0,320283	0,30127	0,000

* $\alpha = 0,05$ 'e göre önemli.



Şekil 7.18. Kumaşların yüzey sürtünme katsayısı ölçümleri.

Kumaşların kinetik sürtünme katsayısı değerlerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Şekil 7.18), genel olarak tüm kumaşların birbirine yakın yüzey özelliklerine sahip olduğu ve bu değerlerin de 0.30 ile 0.33 arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak boyama sonrasında kumaşlarda küçük de olsa kinetik sürtünme katsayısında bir düşüş görülmektedir. Ancak, istatistiksel açıdan yapılan değerlendirmede, boyama işleminin etkisi tüm kumaşlarda önemli bulunmamıştır. %100 PET, %70 PET %30 Co, %50 PET %50 Co ve %30 r-PET %70 Co kumaşlarda boyama işleminden sonra yüzey sürtünme katsayısında istatistiksel açıdan önemli düşüş görülmektedir.

Frictorq cihazı ölçüm hassasiyeti açısından daha çok makro pürüzlülükleri tespit edebilen bir cihazdır. Lif bazında meydana gelen değişiklikler sebebiyle oluşan yüzey pürüzlülükleri daha mikro düzeyli pürüzlülükler olduğundan, bu farklılıklar Frictorq cihazının ölçüm kapasitesinin altında kalmaktadır.

7.12. Kumaşların Çok Yönlü Nem İletim Özelliklerine İlişkin

Bulgular

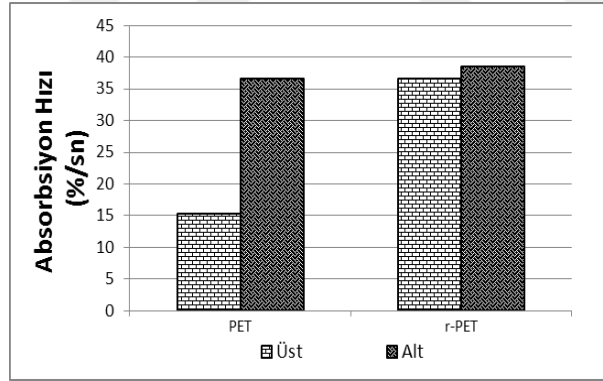
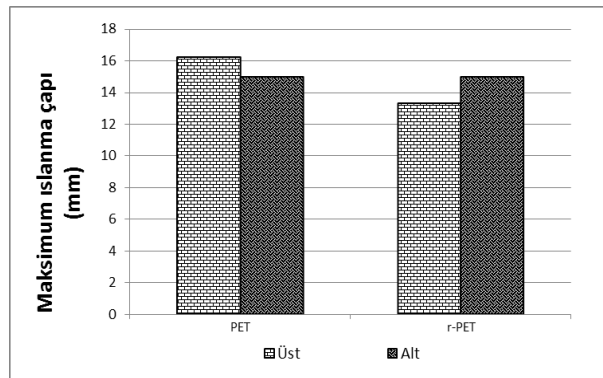
%100 PET ve %100 r-PET kumaşların çok yönlü nem iletim özelliklerine ilişkin bulgular Çizelge 7.10'da verilmektedir.

Çizelge 7.10. Kumaşların çok yönlü nem iletim özelliklerine ilişkin test verileri.

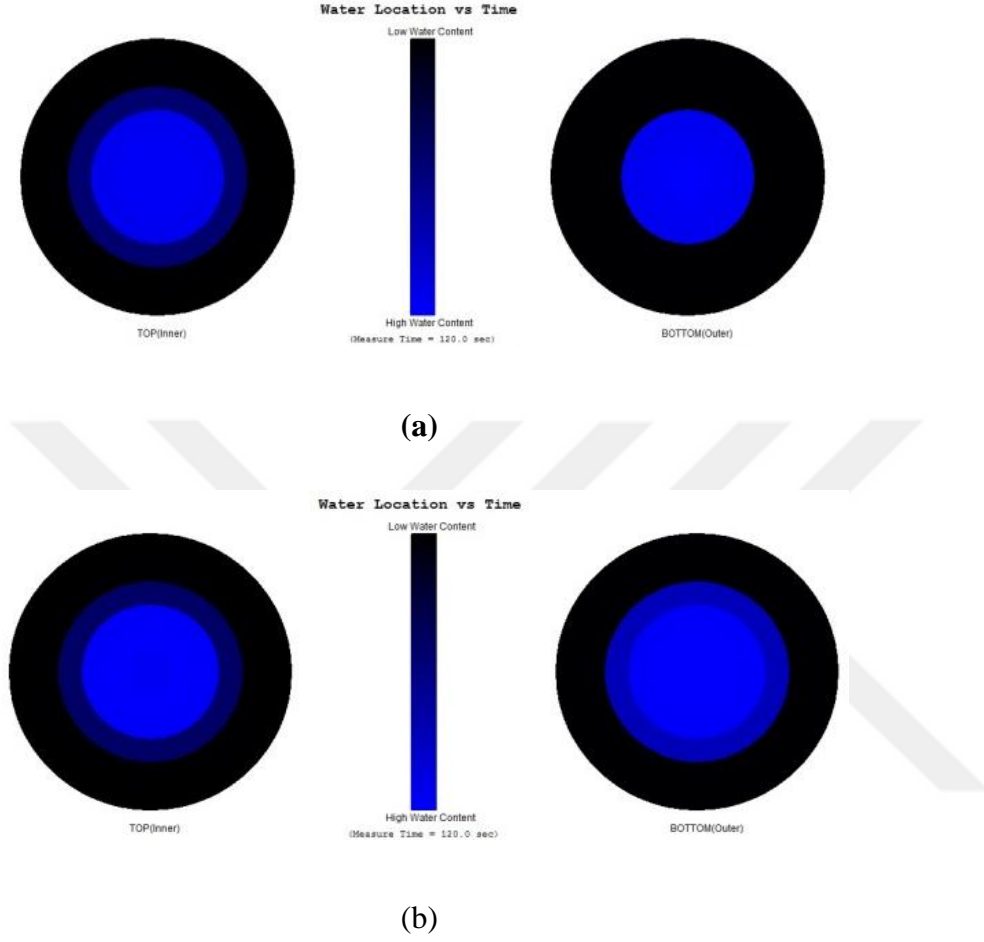
	PET	r-PET	Önemlilik (p)
Üst yüzey ıslanma süresi (sn)	7,96	7,34	0,629
Alt yüzey ıslanma süresi (sn)	8,02	7,88	0,918
Üst yüzey absorpsiyon hızı (%/sn)	15,37	58,9	0,017*
Alt yüzey absorpsiyon hızı (%/sn)	36,62	38,42	0,886
Üst yüzey maksimum ıslanma çapı (mm)	15	15	1,000
Alt yüzey maksimum ıslanma çapı (mm)	13,33	16,25	0,066
Üst yüzey sıvı yayılım hızı (mm/sn)	1,19	0,88	0,460
Alt yüzey sıvı yayılım hızı (mm/sn)	1,22	0,91	0,464
OMMC	0,52	0,53	0,851

* $\alpha = 0,05$ 'e göre önemli.

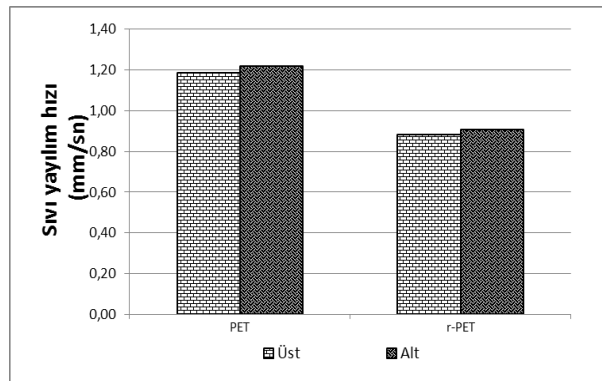
% 100 PET ve % 100 r-PET içeren kumaşların test süresince absorpsiyon hızı Şekil 7.19'da, maksimum ıslanma çapı şekil 7.20 ve şekil 7.21'de, alt ve üst yüzeylerindeki sıvı yayılma Hızı (mm/s) şekil 7.22'de, çok yönlü nem iletim kapasitesi (OMMC) Çizelge 7.23'de verilmektedir.

**Şekil 7.19.** Kumaşların test süresince absorpsiyon hızları (%).

Şekil 7.20. Kumaşların test süresince maksimum ıslanma çapı.



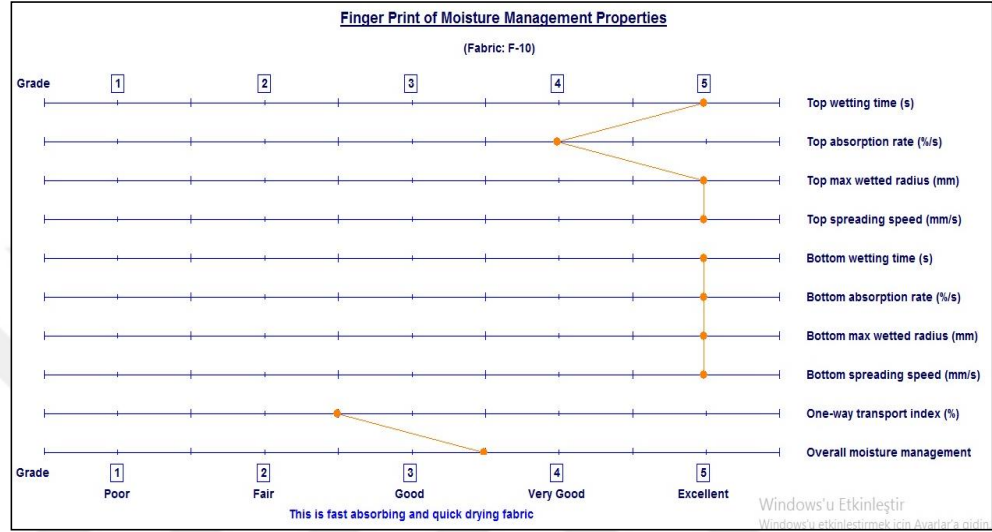
Şekil 7.21. (a) PET kumaşların ve (b) geri dönüşüm PET kumaşların test süresince alt ve üst yüzelerindeki ıslanmış bölgeleri.



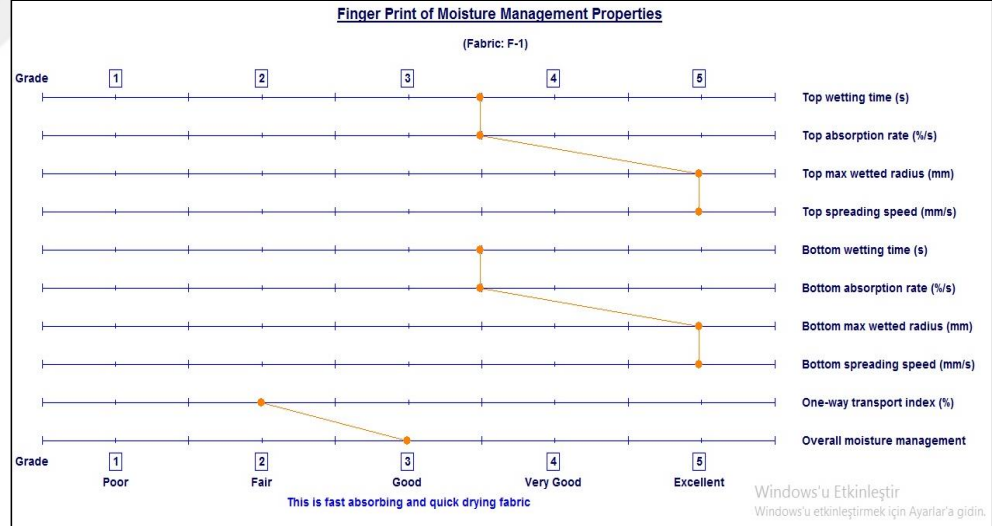
Şekil 7.22. Kumaşlarda sıvı yayılım hızı.

Çizelge 7.11. Kumaşların OMMC (çok yönlü nem iletim kapasitesi) değerleri.

	PET	r-PET
OMMC Value	0,52	0,53
Evaluation	Good	Good



(a)



(b)

Şekil 7.23. (a) PET kumaşların ve (b) geri dönüşüm PET Kumaşlara ait çok yönlü nem iletim özelliklerinin derecelendirilme örnekleri.

PET lifler hidrofobik liflerdir. Bu nedenle, su moleküllerinin iletişimi lif yüzeyinden lifler arasındaki kılcal kapilar boşluklar üzerinden gerçekleşmektedir.

Üretim sırasında uygulanan mekanik ve termal etkilerden dolayı makro moleküllerin, moleküler ağırlığı ve gerilme özellikleri değiştiği için geri dönüşüm PET liflerinin yüzeyi daha pürüzlü hale gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla, liflerin yüzey alanı da artmaktadır. Sonuç olarak, malzemenin ıslanma özelliği değişmektedir. Bu nedenle, kumaşın su transfer özelliğinin değişmesi beklenen bir durumdur.

%100 PET ve %100 r-PET liflerinden elde edilen kumaşların çok yönlü nem iletim özelliklerinin sonuçlarına göre, iki kumaşın absorpsiyon hızı değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yani r-PET liflerinden üretilen kumaşlar ile PET liflerinden üretilen kumaşların absorpsiyon hızı değerlerinin farklı olduğu anlamına gelmektedir.

Ayrıca, ıslanma süresi, maksimum ıslanma çapı ve MMT test cihazı ile ölçülen sıvı yayılma hızı gibi diğer sıvı nem transfer özellikleri arasındaki farklar, istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

PET kumaş, nispeten daha iyi nem yönetim özelliklerine sahiptir. Ancak, geri dönüşüm, sürdürülebilirlik ve çevre kirliliği göz önüne alındığında, r-PET liflerinden üretilen kumaşların, spor giysilerinde kullanılmalarına bile imkan verecek iyi bir nem iletim özelliğine sahip oldukları düşünülmektedir.

7.13. Su Buharı Direnç Değerlerinin Ölçümü

%100 PET ve %100 r-PET Kumaşların su buhar geçirgenlik sonuçları Çizelge 7.12'de verilmiştir. Sonuçlara göre, PET ve r-PET liflerinden üretilen kumaşların su buharı geçirgenliği yakın ve istatistiksel açıdan aralarındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 7.12. PET ve r-PET su buhar geçirgenliği.

	PET	r-PET	Significance (p)
Su buhar geçirgenliği	2,86	2,78	0.587

* $\alpha = 0,05$ 'e göre önemli.

Su buharı geçirgenliği çoğunlukla kumaşların gözenekliliği ile ilgilidir. r-PET liflerindeki lif bozulmaları kumaşların yüzey özelliklerini değiştirir, ancak

kumaşın gözenekliliğini makro ölçekte değiştirmez. Bu nedenle PET ve r-PET liflerinden üretilen kumaşın su buharı geçirgenliği birbirine yakın bulunmuştur.

7.14. Boyanan Kumaşların Yıkama, Sürtünme ve Işık Haslığına İlişkin Bulgular

Pamuk ve PET kumaşların dispers ve reaktif boyarmaddeleri ile boyama sonrası yapılan haslık testi sonuçları izelge 7.13’de verilmektedir.

Çizelge 7.13. Pamuk, PET ve r-PET kumaşlara ait ışık, yıkama ve sürtünme haslığı test verileri.

Numune	Işık Haslığı	Yıkama Haslığı	Sürtünme Haslığı	
			Kuru	Yaş
% 100PET	4-5	4-5	4-5	3-4
% 70PET % 30Co	3	4-5	4-5	3-4
% 50PET % 50Co	3	4-5	4-5	3-4
% 30PET % 70Co	3	4-5	4-5	4-5
% 100Co	4	4-5	4-5	3-4
% 100r-PET	3-4	4-5	4-5	3-4
% 70r-PET % 30Co	3	4-5	4-5	3-4
% 50r-PET % 50Co	3	4-5	4-5	4

Kumaşların haslıklarına ilişkin bulgular (izelge 7.13) incelendiğinde, PET ve r-PET kumaşların yıkama ve kuru sürtme haslıkları arasında herhangi bir fark bulunmadığını göstermektedir. Işık haslığı ve yaş sürtme haslığı açısından yapılan incelemede, aralarında zaman zaman yarım puanlık bir fark olduğu görölmektedir. Ancak bu farklılık oldukça düşük olduğundan, haslıklar açısından r-PET’in PET içeren kumaş kadar iyi bir performans gösterdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

%100 PET ve %100 r-PET kumaşlarda sonuçlar daha iyiyken pamuk ile karışım halindeyken ışık haslığının düştüğü görölmektedir.

7.15. Baskı Yapılan Kumaşların Sürtünme Haslığına İlişkin Bulgular

Pamuk/PET ve pamuk/r-PET kumaşların Pigment boyarmaddeleri ile baskı sonrası yapılan sürtünme haslık testi sonuçları Çizelge 7.14’de verilmektedir.

Çizelge 7.14. Pamuk/PET ve Pamuk/r-PET kumaşlara ait sürtünme haslığı test verileri.

Numune	Sürtünme Haslığı	
	Kuru	Yaş
% 100PET	3-4	1-2
% 70PET % 30Co	4	1-2
% 50PET % 50Co	4	1-2
% 30PET % 70Co	4	1-2
% 100r-PET	4	1-2
% 70r-PET % 30Co	4	1-2
% 50r-PET % 50Co	3-4	1-2
% 30r-PET % 70Co	4	1-2

Kumaşların yaş ve kuru sürtme haslıklarına ilişkin bulgular (Çizelge 7.14) incelendiğinde, PET ve r-PET ve pamuk ile karışımlarının yaş sürtme haslıkları arasında herhangi bir fark bulunmadığını göstermektedir. Kuru sürtme haslığı açısından yapılan incelemede, aralarında zaman zaman yarım puanlık bir fark olduğu görülmektedir. Ancak bu farklılık oldukça düşük olduğundan, haslıklar açısından r-PET’in PET içeren kumaş kadar iyi bir performans gösterdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

7.16. Renk Ölçümü Değerleri

Tez çalışmasında elde edilen numunelerin boyama işlemi öncesi ve sonrası renk farkı (ΔE^*), $L^*a^*b^*$ değerleri Çizelge 7.15 ve çizelge 7.16 ve K/S değerleri Şekil 7.23’te verilmiştir.

Çizelge 7.15. Boyama öncesi numenelerin L*a*b* ve ΔE* değerleri.

Numune	L*	a*	b*	ΔE*
% 100PET	92,7	-0,88	2,49	12,40
% 100r-PET	81,26	0,07	-2,18	
% 70PET % 30Co	88,9	1,07	10,42	9,38
% 70r-PET % 30Co	82,38	0,73	3,69	
% 50PET % 50Co	86,88	2,04	14,05	9,30
% 50r-PET % 50Co	83,12	1,12	5,61	
% 30PET % 70Co	87,78	1,57	12,26	5,17
% 30r-PET % 70Co	83,59	1,64	9,23	

**PET kumaşlar referans kabul edilerek r-PET kumaşlar ile arasındaki renk farkı ΔE* olarak verilmektedir.

HunterLabUltra ScanPro spektrofotometresinde, D65 ışık kaynağı altında, 10° gözlemci açısı kullanılarak, numunelerin renk koordinatları, renk farklılıkları (ΔE*) ve K/S değerleri 3 tekrar olacak şekilde ölçülmüştür.

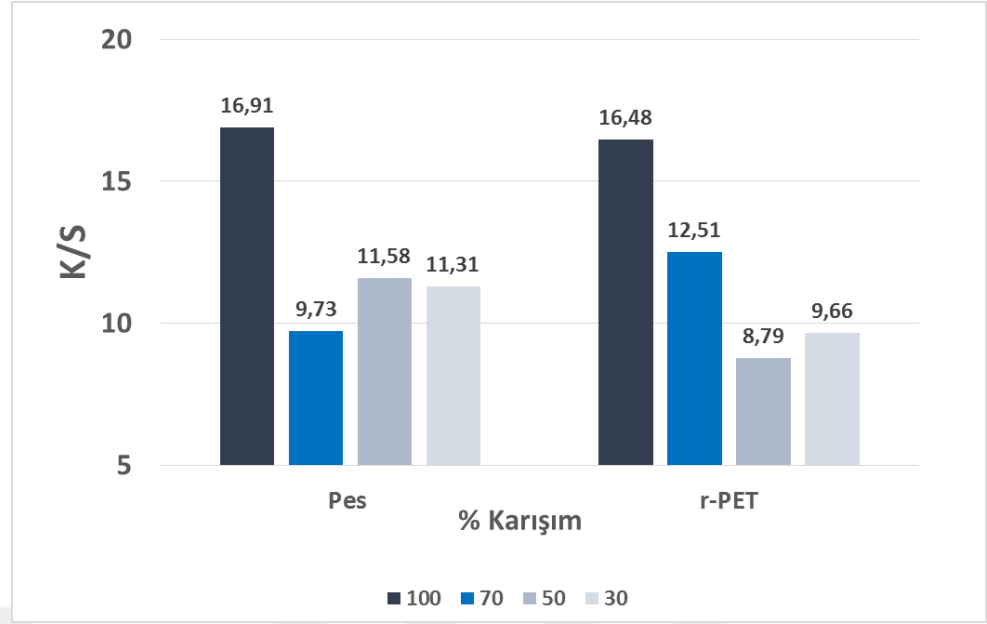
% 100 PET ve % 100 r-PET kumaşlar arasındaki renk farkı (ΔE*)~12 birim olarak ölçülmüştür. Ancak Tablo 7-12'de görüldüğü gibi, karışımdaki pamuk yüzde oranının artmasıyla birlikte ΔE* değerinde azalma görülmüştür ve fark ~5 birime düşüş göstermiştir.

Çizelge 7.16. Boyama sonrası numenelerin L*a*b* ve ΔE^* değerleri.

Numune	L*	a*	b*	ΔE^*
%100PET	27,87	-1,76	-24,28	0,90
%100r-PET	27,75	-0,89	-24,45	
%70PET %30Co	35,35	-5,48	-20,81	3,93
%70r-PET %30Co	31,73	-3,99	-21,18	
%50PET %50Co	32,75	-4,73	-20,51	4,57
%50r-PET %50Co	36,93	-6,37	-19,65	
%30PET %70Co	33,35	-5,53	-19,85	2,35
%30r-PET %70Co	35,65	-5,93	-20,15	

** PET kumaşlar referans kabul edilerek r-PET kumaşlar ile arasındaki renk farkı ΔE^* olarak verilmektedir.

Boyama işlemi sonrası kumaşların ΔE^* değerleri incelendiğinde, %100 PET ve %100 r-PET kumaşlar arasındaki renk farkının ~0,9 birim olduğu tespit edilmiştir. K/S değerleri incelendiğinde, PET: 16,91 ve r-PET: 16,48 olduğu görülmektedir. Kumaşların boyama öncesi zemin renkleri oldukça farklı olmasına rağmen, boyama sonrası renk farkının küçük bir değer olması ve K/S değerlerinin birbirine çok yakın olması, boya alımının her iki kumaş için birbirine çok yakın olduğunu, benzer boyanma özelliği gösterdiğini ifade etmektedir.



Şekil 7.23. PET ve r-PET numunesine ait K/S grafiği.

Boyama işlemi sonrası ΔE^* değerleri incelendiğinde, PET ve r-PET liflerinden yapılan kumaşlar arasında renk farklılıkları olduğu görülmektedir.

K/S grafiği incelendiğinde %100 PET ve %100 r-PET kumaşlarda, boya alımı benzer olup renk farkı gözlenmemektedir.

%70PET %30Co ve %70r-PET %30Co kumaşlarda r-PET liflerinin, PET liflerine göre daha fazla yüzey alanına sahip olduğu için boya alımı fazla olduğu gözlenmektedir.

%50 ve %30 karışım oranlarında renk farklılıkları gözlenmesine karşın, K/S değerleri incelendiğinde, anlamlı bir eğilim tespit edilememiştir.

8. GENEL SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dünyadaki plastik tüketiminin büyük bir kısmını oluşturan polietilentereftalat esaslı malzemelerin yaklaşık %30'u şişe üretiminde kullanılmaktadır. Son yıllarda hayata geçirilen çevre programlarıyla PET şişe toplanma oranları her geçen gün artmaktadır. Ancak bu artışın devamı için geri dönüştürülmüş PET polimerin kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Geri dönüşüm PET polimerler yapısal viskozite sorunu nedeniyle tekrar PET şişe üretiminde kullanılamamaktadır. Geri dönüşüm PET polimerler için en uygun alan tekstil sektörüdür. Çünkü dünyada üretilen PET polimerin %60'ını PET filament ve kesikli lif üretiminde kullanan tekstil sektörü görmektedir.

Bu çalışmada %100 r-PET ve %100 PET lifleri ve bunların pamuk lifiyle karışımlarından üretilen 9 tip kumaşın özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Liflerin içyapılarına yönelik olarak yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, PET ve geri dönüşüm PET liflerinin FTIR spektrumları arasında önemli bir fark görülmemiştir. Bu durum, malzemenin geri dönüştürülmesi esnasında uygulanan termal ve mekanik işlemlerin malzemede herhangi bir kontaminasyona sebep olmadığını ve polimer maddenin aynı saflıkta lif üretimine katıldığını ifade etmektedir.

TGA analiz sonuçları incelendiğinde ise, 250°C civarında gözlenen yaklaşık %5 ile %10 arasında değişen kütle kaybı farklılığının geri dönüşüm PET liflerinde daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum geri dönüşüm lif yüzeyindeki pürüzlülükle ilgili olarak lif yüzeyine tutunan ve test sırasında kolaylıkla buharlaşarak uzaklaşan uçucu bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2. Aşamada yaşanan kütle kaybı değerleri her iki lifte de yaklaşık olarak aynı olup yaklaşık olarak %79 civarındadır.

Liflere ilişkin DSC cihazından elde edilen test sonuçları incelendiğinde, liflerin erime noktaları arasındaki farklılığın oldukça düşük olduğu (~4°C) tespit edilmiştir. Bu farklılığın, geri dönüşüm liflerin görmüş olduğu 2. kez eriyik hale getirme işlemi sırasında, lif yapısındaki moleküler oryantasyonda ve kristalin yapıda önemli olmamakla birlikte bir miktar bozulma meydana gelmiş

olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Liflerin X-Ray sonuçları bu tespiti doğrulamaktadır. Nitekim, X ışını difraksiyonu test sonuçlarına göre PET lifine ilişkin kristalin bölge oranının geri dönüşüm liflerinden yaklaşık olarak %1 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

PET ve r-PET liflerinin taramalı elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafları incelendiğinde, PET liflerinin son derece düzgün, bir yüzey yapısına sahipken, r-PET lifinin üretimi sırasında maruz kaldığı ısıl ve mekanik etkiler nedeniyle yüzey morfolojisindeki hasarlar ve bozulmalar olduğu, yüzey alanının genişlediği tespit edilmiştir.

Kumaşlara yönelik ölçülen test sonuçları değerlendirildiğinde ise;

r-PET içeren kumaşların patlama ve aşınma mukavemetleri PET kumaşlardan daha düşük, hava geçirgenlikleri ise daha yüksek bulunmuştur. Kinetik sürtünme katsayısı açısından yapılan değerlendirmede ise, PET ve r-PET kumaşların özelliklerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

Tüm kumaş tiplerinde boyama işleminden sonra kumaşların gramaj ve kalınlıklarının arttığı; hava geçirgenliği, patlama mukavemeti, aşınma dayanımı ve yüzey sürtünme katsayısında ise düşüş olduğu görülmektedir.

Kumaşların çok yönlü nem iletim özelliklerine yönelik bulgular incelendiğinde ise, hem PET hem de geri dönüşüm PET lifinin çok yönlü nem iletim özellikleri açısından beklentileri karşılayacak nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

r-PET ve PET liflerinin yüzey pürüzlülüğünün farklı olması bu liflerin yüzey alanlarının da farklı olmasına neden olmaktadır. Bu durumda genişleyen yüzey alanına bağlı olarak liflerin boya alımının ve renk tonlarının farklı olabileceği düşünülmüştür. Ancak, yapılan boyama işlemi sonrasında kumaşlarda renk verimliliği açısından (K/S) önemli bir fark bulunmadığı görülmektedir. Bu durum bu iki lif tipi için boyama farklılığının olmadığı göstermektedir. Bu sonuç gerek bilimsel literatür, gerekse bu alanda çalışması söz konusu olabileceği firmalar açısından önemli bir sonuçtur. Geri dönüşüm malzemelerin olası dezavantajlarının azaltılması durumunda, karışım içerisinde kullanılabilir r-PET liflerinin genel

baskı ve boyamaya önemli bir olumsuz etki oluşturmayacağı ve bu sayede işletmeler açısından hem maliyetin düşürülmesi hem de çevre dostu bir üretimin yaygınlaştırılması anlamında önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



9. ÖNERİLER

PET ve r-PET liflerinden üretilen iplik ve kumaşların çeşitli özellikleri günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu doktora tez çalışmasında ise söz konusu liflerin içyapı özellikleri, bu liflerden üretilen kumaşların mekanik özellikleri, boyama ve baskı işlemlerinin mekanik özelliklere etkileri araştırılarak ayrıntılı olarak değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Genel bir algı olarak, geri dönüşüm malzemeler kalite açısından geri dönüşüm olmayan ürünlere göre daha alt seviyede bir kaliteye sahip olarak değerlendirilmektedir. Bu durum da, geri dönüşüm malzemeler kullanılarak üretilen ürünlerin katma değeri yüksek ürün olamayacağı ve sınırlı bir potansiyele sahip olacağı yönünde bir ön yargı oluşmasına neden olmaktadır. Ancak, mekanik özelliklere ilişkin testlerin sonuçları, r-PET liflerinden üretilen yüzeylerin birçok açıdan dezavantajlı olmadığını göstermektedir. Bu sebeple, geri dönüşüm liflerden üretilen ürünlerin, duyuşal özellikler ve giysi konforu açısından da dezavantajlı olmayacağına ortaya koyulabilmesi durumunda, bu malzemelerin yaygın kullanım olanağı bulabileceğine yönelik önemli bir algı oluşturacağı ve toplumda geri dönüşüm ürünlere olan talebin de artmasının mümkün olacağı öngörülmektedir.

Bu sebeple, bundan sonra süreçte bu kumaşların termal özelliklerinin, giysi haline getirildiklerinde gösterecekleri tutum davranışlarının, duyuşal özelliklerinin ve geçirgenlik özelliklerinin incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bunların yanı sıra, PET içeren yüzeylerin statik elektriklenme davranışları göz önüne alındığında geri dönüşüm malzemelerde de aynı tipte problemlerin yaşanıp yaşanmayacağına incelenmesinin, faydalı olacağı düşünülmektedir.

r-PET liflerin yüzeylerinin PET liflerinden daha pürüzlü olması sebebiyle, bunlardan üretilen kumaşların da daha pürüzlü olması beklenmektedir. Ancak mevcut yüzey pürüzlülük ölçüm sistemleriyle bu farklılık tespit edilememektedir. Söz konusu farklılığın ilerleyen dönemlerde bu kumaşların yüzeylerinde oluşabilecek boncuklanmaya ne şekilde etki edeceğinin belirlenmesinin de üretici ve tüketiciler açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abbasi, M., Mojtahedi M. R. M. And Khosroshahi A.,** 2007, Effect of Spinning Speed on the Structure and Physical Properties of Filament Yarns Produced From Used Pet Bottles, *Journal of Applied Polymer Science*, 103, 3972-3975 pp.
- Ahmad, I., Ratnasari, D. A. B. and Ramli, A.,** 2006. Chemical recycling of PET waste from soft drink bottles to produce a thermosetting polyester resin, *Malaysian Journal of Chemistr*, 8(1), 22-26 pp.
- Al-Sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Eshaq, Gh., Rabie, A. M. and ElMetwally, A. E.,** 2016, Greener routes for recycling of polyethyleneterephthalate, *Egyptian Journal of Petroleum*, 25, 53-64 pp.
- Al-Salem, S.M., Lettieri, P. And Baeyens J.,** 2009, Recycling Of Recovery Routes Of Plastic Solid Waste, *Waste Management*, 29, 2625-2643 pp.
- Anış, P. ve Eren, H. A.,** 2003, Poliester/Pamuk Karışımlarının Boyanması: Uygulamalar ve Yeni Yaklaşımlar. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 8 (1), 131-139 s.
- Anabal, F.Y.,** 2007, Pet Atıkların Endüstride Değerlendirilmesi, Çevre Bilimleri Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 108s.
- Aspland, J.R.,** 1992. Disperse Dyes And Their Application To Poliester. *Textile Chemist and Colorist*, 24 (2), 19-23 pp.
- Awaja, F. And Pavel, D.,** 2005, Recycling Of Pet, *European Polimer Journal*, 41, 1453-1477 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Bartolome, L., Imran, M., Cho, B. G., Al-Masry, WA. and Kim, D. H.,** 2012, Recent Developments in the Chemical Recycling of PET. *Material Recycling - Trends and Perspectives*, 66-83 pp.
- Başer, I. And İnanici, Y.,** 1990. Boyar Madde Kimyası. *Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları*, 47-52 pp, 35-37 pp, 90-187 pp.
- Bilici, İ.,** 2012, Atık Plastiklerden Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, doktora tezi, Ankara Üniversitesi.
- Bradburry, M. C., Collishaw, P. S. and Moorhouse, S.,** 1995, Reactive Dye Selection And Process Development For Exhaust Dyeing Of Cellulose, *Textile Chemist And Colorist*, 27 (8), 19-23 pp.
- Breyer, K., Regel, K. and Michaeli, W.,** 1996, Reprocessing of postconsumer PET by reactive extrusion. *Polymer Recycling*, 2(4), 251–255 pp.
- Carliell, C. M., Barclay, S. J., Naidoo, N., Buckley, C. A., Mulholland, D. A. And Senior, E.,** 1995, Microbial Decolourisation of a Reactive Azo Dye under Anaerobic Conditions. *Water S. A.*, 21, 61-69 pp.
- Cunningham, A.D.,** 1996, Identifying Critical Machinery and Dye Parameters for Successful Rapid Dyeing Poliester, *Textile Chemist and Colorist*, 28 (2), 23-31 pp.
- Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Deyerlendirme Vakfı,** “ r-PET in Turkey: Will Bottle-toBottle Recycling Take Off?”, https://www.cevko.org.tr/images/stories/haberler/icis_trkiye_polimer_konferans_rpet_mi_27_10_2014.pdf (Son erişim tarihi: 17.03.2017).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Çirkin, S.**, 2006, Yalancı Büküm Tekstüre İşleminde Tekstüre Değişkenlerinin İplik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Demertzis, P. G., Johansson, F., Lievens, C. And Franz R.**, 1997, Studies on the Development of a Quick Inertness Test Procedure for Multi-Use Pet Containers Sorption Behavior of Bottle Wall Strips. *Pack Technol Sci*, 10, 45–58 pp.
- Temel, E.**, 2016, Stuffer Box Yöntemi İle Kıvırcıklandırılan Akriolik Tovun, Kıvırcıklandırma Özelliklerinin İncelenmesi, Kıvırcıklandırmasının İyileştirilmesi Ve Kalıcılığın Sağlanması, Doktora Tezi, EGE Üniversitesi, İzmir.
- Eşkin, P.Ö.**, “+90’dan Türkiye: “Dünyanın” Plastik Atık Konteyneri Belgeseli”, <http://ekolojist.net/90dan-turkiye-dunyanin-plastik-atik-konteyneri-belgeseli/> (Son erişim tarihi: 23.10.2019).
- Fávaro, S. L., Rubira, A. F., Muniz, E. C. and Radovanovic, E.**, 2007, Surface modification of HDPE, PP, and PET films with KMnO₄/HCl solutions, *Polymer Degradation and Stability*, 92 (7), 1219-1226 pp.
- Feitor, M. C., Juniorb, C. A., Bezerraa, K. M., de Sousac, R. R. M. and Costa, T. H. de C.**, 2015, Evaluation of Aging in Air of Poly (Ethylene Terephthalate) in Oxygen Plasma, *Materials Research*, 18(5), 891-896 pp.
- Freitas, A., Zhang, G. and Mathews, R.**, 2017, “Water Footprint Assessment of Polyester and Viscose and Comparison to Cotton.” Water Footprint Network. http://waterfootprint.org/media/downloads/WFA_Polyester_and_Viscose_2017.pdf (Son erişim tarihi: 26.07.2016).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Garip, R.**, 2005, Korteks İplik Fabrikası Eğitim Notları, Bursa.
- Gore, D.C.**, (1995). Practical Experiences İn Garment Dyeing: Problems and Solutions, *Textile Chemist and Colorist*, 27 (3), 37-40 pp.
- GiridharReddy, K. and Rajagopal, K.**, 2013, Blow Mould Tool Design and Manufacturing Process for 1 litre Pet Bottle, *IOSR-JMCE*, 8(1), 12-21 pp.
- Hu, J., Li, Y., Yeung, KW., Wong, A. S. W. and Xu, W.**, 2005, Moisture Management Tester: A Method To Characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties, *Textile Research Journal*, 75, 57-62 pp.
- Koszevska, M.**, 2011, Circular Economy - Challenges for the Textile and Clothing Industry, *AUTEX Research Journal*, 18(4), 337-347 pp.
- Küçükgül, E. ve Kırşen Doğan, S.**, 2007, Pet Şişenin Yaşamsal Döngü Analizi, *7.Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi*, 491-501 s.
- Mannhart, M.**, 1998, Pet Lifelerden Filament İplik, *Melliand Türkiye Sayısı*, 3, 166-169 pp.
- Mancini, S. D., Schwartzman, J. A. S., Nogueira, A. R., Kagohara, D. A. And Zanin, M.**, 2009, Additional Steps in Mechanical Recycling of Pet, *Journal of Cleaner Production*, 18, 92-100 pp.
- Nunn, D. M.**, 1979, The Dyeing Of Synthetic-Polymer and Acetate Fibers. University of Bradford, Dyers Company Publications Trust, 358. England.
- Pehlivan, E., Ünal, S., Tunçsiper, B.**, 2004, Polimer İşleme ve Geri Kazanımı Sempozyumu Bildiri Kitabı, 114-127 s, Mersin.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Öktem, T.**, 1998, Poliester Atıkların Değerlendirilmesi, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 6, 396-400 s.
- Öncel, S., Bektaş, N., Bayar, S., Çalışkan, Y. and Engin, G.**, 2017, Plastik Ürün Üretiminde Tehlikeli Atıkların Azaltılması için Mevcut En İyi Teknikler, *AKU J. Sci. Eng.*, 17, 974-979 s.
- Özgül, N., Süpüren, G., Özçelik, G., And Pruchova, J.**, 2009, A Study On The Moisture Transport Properties Of The Cotton Knitted Fabrics In Single Jersey Structure. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3, 218-223 s.
- Özgül N., Süpüren G. and Özçelik, G.**, 2009, Farklı Materyallerden Üretilen Örme Kumaşların Çok Yönlü Nem İletim Özellikleri, (Bölüm 2) *Tekstil Teknoloji*, Yıl 14, Sayı: 157, Temmuz, S: 114-121.
- Özgül N., Süpüren G. and Özçelik, G.**, 2009, Farklı Materyallerden Üretilen Örme Kumaşların Çok Yönlü Nem İletim Özellikleri, (Bölüm 1) *Tekstil Teknoloji*, Yıl 14, Sayı: 156, Haziran, S: 172-186.
- Philips, D.**, 1996, Enviromentally Friendly, Productive and Realiabile: Prioritied For Cotton Dyes and Dyeing Processes, *J. Soc. Dyers Color*, 12, 183-186 pp.
- Rengel, A.**, 2017, Recycled Textile Fibres and Textile Recycling, Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN).
- Scheirs, J. and Long, T. E.**, 2003, Modern Poliesters: Chemistry and Technology of Poliester and Copoliester, *John Wiley&Sons Ltd.*, 750 pp.
- Sevencan, F. ve Vaizoğlu, S.**, 2007, Pet ve Geri Dönüşümü, *Tsk Koruyucu Hekim Bülteni*, 6 (4), 307-312 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Seventekin, N.**, 2003, Kimyasal Lifler, *E.Ü Tekstil ve Konfeksiyon Araştırmauygulama Merkezi Yayını*, 129 s.
- Shen, L., Worrell, E. and Patel, M.**, 2010, Open-Loop Recycling: ALCA Case Study of Pet Bottle-To-Fibre Recycling, *Resources Concervation and Recycling Journal*, 55, 34-52 pp.
- Shore, J.**, 1998, Blends Dyeing, Society Of Dyers And Colourists Publication, Manchester-Uk.
- Süpüren, G., Oğlakçioğlu, N., Özdil, N. and Marmaralı, A.**, 2011, Moisture Management and Thermal Absorptivity Properties Of Double-Face Knitted Fabrics, *Textile Research Journal*, 81(13), 1320-1330 pp.
- Süpüren, G.**, 2012, Bazı Özel Hayvansal Liflerden Elde Edilen İpliklerden Üretilen Kumaşların Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Doktora tezi, EGE Üniversitesi, İzmir.
- SDL Atlas**, “Moisture Management Tester”, https://admin.sdlatlas.com/public/content/product_brochures/eng_MM_T-ENG.pdf (Son erişim tarihi: 09.03.2018).
- Tarakçioğlu, I.**, 1996, Tekstil Terbiyesi ve Makinaları, Ege Üniversitesi Yayını İzmir, 110 s.
- Telli, A., and Özdil, N.**, 2013, Properties of the Yarns Produced from r-PET Fibers and Their Blends. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 23(1), 3-10 pp.
- Telli, A., and Özdil, N.**, 2015, Effect of Recycled PET Fibers on the Performance Properties of Knitted Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10 (2), 47-60 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Telli, A. And Ozdil, N.**, 2011, PET Şişe Geri Dönüşüm PET ile Klasik PET Liflerinden Üretilen iplik ve Kumaş özelliklerinin Karşılaştırılması Üzerine bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, EGE Üniversitesi.
- Vigo, T. L.**, 1994, Textile Processing and Properties; Preperation, Dyeing, Printing and Performance. *Elsevier Science B. V.*, 882243, 479. Netherlands.
- Üstün İş Makine,** “Geri Dönüşüm Hattı”, <http://ustunismakina.com.tr/plastik-makinalari-plastik-geri-donusum-makinalari/> (Son erişim tarihi: 26.07.2016).
- Yoo, E. S., Libra, J. and Wiesmann, U.**, 2000, Reduction of Azo Dyes by Desulfobibrio Desulfuricans, *Water Science and Technology*, 41(12), 15-22 pp.
- Yılmaz, R.**, 2013, Kaplama Tekstil Yüzeylerinin Elektro Manyetik Kalkanlama Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.



TEŞEKKÜR

Bu çalışıma süresince bilimsel desteği ve zamanını benden esirgemeyerek her fırsatta ilgilenen değerli tez danışmanım sayın Prof. Dr. Arif Taner ÖZGÜNEY ve Prof. Dr. Nilgün ÖZDİL'e, eleştirileriyle her daim yol gösteren Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Ayşegül EKMEKÇİ KÖRLÜ ve Doç. Dr. Arzu ÖZERDEM YAVAŞ'a, laboratuvar testleri aşamasında katkılarını aldığım Doç. Dr. Gamze SÜPÜREN MENGÜÇ ve Doç. Dr. Gonca ÖZÇELİK KAYSERİ'ye, Kumaş ve iplik üretimi sırasında yardımlarını esirgemeyen Sn. Zeki YİĞEN ve Sn. Necmi GEZER'e, tez çalışmasının hayata geçirilmesinde her türlü imkanı sunan Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi'ne ve çalışanlarına, yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. Emrah TEMEL, Arş. Gör. Dr. Hüccet KAHRAMANZADE, Arş. Gör. Dr. Burak SARI ve Prof. Dr. Karim BANAYİ KHOYİ' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Bu doktora tez çalışması Ege Üniversitesi Rektörlüğü tarafından 15-MÜH-016 numaralı bilimsel araştırma projesi olarak desteklenmiştir. Finansal desteği için Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman yanımda olan, desteklerini esirgemeyen ve beni bugünlere getiren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

06/12/2019

Mehdi HATAMLOU

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında İran'da dünyaya gelen Mehdi HATAMLOU, lise eğitimini şehid SAYYAD-e SHİRAZİ Lisesi'nde 2002 yılında tamamlamış ve aynı yıl Yazd İslamic Azad Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'ndeki lisans eğitimine başlamıştır. 2007 yılında Yazd İslamic Azad Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, lisans eğitimini başarıyla tamamlayarak "Tekstil Mühendisi" ünvanı almaya hak kazanmıştır. 2010 yılında Master öğrencisi olarak kabul edildiği Yazd İslamic Azad Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünden başarıyla mezun olmuştur. 2011 yılında Shabister İslamic Azad Üniversitesi grafik bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır.