



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PAMUK VE RECYCLE DOKUMA KUMAŞLARIN ENZİMLİ VE ENZİMSİZ  
ÖN İŞLEMLERİNİN BİTİM PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

Artuğ Anıl SAĞIR  
0000-0002-4982-0187

Prof. Dr. Dilek TOPRAKKAYA KUT  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ ONAYI

Artuğ Anıl SAĞIR tarafından hazırlanan “PAMUK VE RECYCLE DOKUMA KUMAŞLARIN ENZİMLİ VE ENZİMSİZ ÖN İŞLEMLERİNİN BİTİM PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Dilek TOPRAKKAYA KUT

<b>Başkan</b>	:	Prof. Dr. Dilek TOPRAKKAYA KUT 0000-0002-9059-0838 Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye</b>	:	Prof. Dr Burcu YILMAZ 0000-0003-0885-8151 Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye</b>	:	Prof. Dr. Elif DEMİRKAN 0000-0002-5292-9482 Uludağ Üniversitesi, Fen - Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Anabilim Dalı	İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**  
.././.....

**B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

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

**beyan ederim.**

.../.../.....

Artuğ Anıl SAĞIR

## TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Dilek TOPRAKKAYA KUT  
Tarih

Artuğ Anıl SAĞIR  
Tarih

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PAMUK VE RECYCLE DOKUMA KUMAŞLARIN ENZİMLİ VE ENZİMSİZ ÖN İŞLEMLERİNİN BİTİM PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**Artuğ Anıl SAĞIR**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Dilek TOPRAKKAYA KUT

Tekstil sektörü, yarattığı iş hacmi ve ekonomik büyüklüğü ile ve ortaya çıkan ürünlerin tüm dünyaya hitap etmesi ile dünyanın en büyük sektörlerinden biridir. Bu büyük sektörün en önemli dezavantajı ise üretim esnasında kullanılan hammaddelerin ve yan ürünlerin doğal kaynaklar olması ve hiç bitmeyeceklermiş gibi sorumsuzca kullanılmasıdır. Tüm üretim işlemleri göz önüne alındığında kullanılan su, kimyasal ve doğal kaynak miktarları artık geri döndürülmesi zor boyutlara ulaşmış durumdadır. Daha sürdürülebilir bir iş planı için sektör temsilcileri sürekli olarak daha yeşil üretim metotları üzerinde çalışmaktadır. Susuz üretim, kimyasal kullanılmadan üretim ve doğal hammadde üretiminde daha yeşil tarımın tercih edilmesi bu metotların birkaçıdır. Tezin çalışma konusu havlu üretiminde %100 pamuk ve geri dönüştürülmüş (recycle) ürünlerin ön işlem aşamasında ağartma işleminin kimyasal kullanılmadan, enzimatik olarak yapılması üzerinedir. Enzimatik işlem için, kullanılan hammaddelere istenilen etkiyi verebilecek olan enzim türleri tercih edilmiştir. Selüloz, pektinaz ve lakkaz enzimlerinin farklı oranlar ile kombine biçimde kullanıldığı bu çalışmada kimyasal ağartmada elde edilmesi istenen hidrofilit ve beyazlık seviyesine ulaşmaya çalışılmıştır. Elde edilen numunelerin fiziksel ve kimyasal testleri yapılarak çıkan sayısal veriler ile yapılan işlem varyasyonlarının başarıları karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tekstil, Enzim, Pamuk, Geri Dönüşüm, Ağartma, Havlu  
**2023, xiv + 105 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ENZYME AND NON- ENZYMEPRETREATMENT OF COTTON AND RECYCLE WOVEN FABRICS ON FINISH PERFORMANCES

**Artuğ Anıl SAĞIR**

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

**Supervisor:** Prof. Dr. Dilek TOPRAKKAYA KUT

The textile industry is one of the largest industries in the world, with the business volume and economic size it creates, and the resulting products appeal to the whole world. The most important disadvantage of this large sector is that the raw materials and by-products used during production are natural resources and are used irresponsibly as if they will never end. Considering all production processes, the amount of water, chemicals and natural resources used has reached levels that are difficult to return. Industry representatives are constantly working on greener production methods for a more sustainable business plan. Production without water, production without the use of chemicals, and the preference of greener agriculture in the production of natural raw materials are a few of these methods.

The subject of the thesis is the bleaching process of 100% cotton and recycle products in towel production, enzymatically without using chemicals. For the enzymatic process, enzymes types that can give the desired effect to the raw materials used are preferred. In this study, in which cellulase, pectinase and laccase enzymes were used in combination with different ratios, it was tried to reach the desired hydrophilicity and whiteness level in chemical bleaching. The physical and chemical tests of the obtained samples were made and the success of the process variations was compared with the numerical data obtained.

**Key words:** Textile, Enzyme, Cotton, Recycling, Bleaching, Towel  
**2023, xiv + 105 pages.**

## ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin başından itibaren her konuda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, öğrencilik ve çalışma hayatımda değerli bilgilerini benimle paylaşan, yardımcı olan, saygın kişiliğiyle örnek aldığım çok değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Dilek Kut'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmamın deneysel kısmını firma bünyesinde gerçekleştirmemi sağlayan, Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. firmasına ve Tasarım Merkezi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenim dönemim boyunca emeğini esirgemeyen, her konuda destek veren sevgili yol arkadaşım Nurşen Tuncer'e, tez yazımıyla ilgili bilgilerini paylaşan arkadaşlarım Güzin Akyol'a Bilge İncekara'ya ve Sümeyye Reçel Aslan'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, her konuda yanımda olan canım annem Aysin Sağır'a ve canım babam Mesut Sağır'a teşekkürlerimi sunarım.

Artuğ Anıl SAĞIR

.../.../.....

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Doğal Lifler.....	2
2.1.1 Fiziksel Özellikleri.....	8
2.1.2. Kimyasal Özellikleri.....	10
2.1.3. Pamuk Liflerine Etki Eden Etmenler.....	11
2.1.4. Organik ve Sertifikalı Pamuklar.....	16
2.2. Günümüzde Havlu.....	18
2.2.1. Havlu Üretimi ve İplik.....	24
2.3. Geri Dönüşüm.....	31
2.3.1. Tekstil Ürün ve Atıklarının Geri Dönüşüm Yöntemleri.....	38
2.4. Enzim.....	42
2.4.1. Enzim Yapıları.....	43
2.4.2. Tekstilde Enzim Kullanımı.....	48
2.4.3. Polyester ve Enzim.....	58
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	60
3.1. Kullanılan Kumaşlar.....	60
3.1.2. Enzimler ve Kimyasallar.....	61
3.1.3. Kullanılan Cihazlar.....	62
3.2. Yöntem.....	63
3.2.1. %100 Pamuklu Kumaşlara Uygulanan Prosesler.....	63
3.2.2. Geri Dönüştürülmüş Havlu Kumaşlara Uygulanan Prosesler.....	65
3.2.3. %100 pamuklu ve Geri Dönüştürülmüş Kumaşlara Uygulanan Testler.....	68
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	69
4.1. %100 Pamuklu Havlu Kumaşlara Uygulanan Testler.....	69
4.2. Geri Dönüştürülmüş Havlu Kumaşlara Uygulanan Testler.....	82
5. SONUÇ.....	99
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	105



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$g/m^2$	Gram / Metrekare
$^{\circ}C$	Santigrad Derece
'	Dakika
%	Yüzde Oranı
$\alpha$	Alfa
$\beta$	Beta
Mg/Litre	Miligram / Litre

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
g	Gram
mm	Milimetre
GDO	Genetiği Değiştirilmiş Organizma
PVA	Polivinilalkol
Kg	Kilogram
PET	Polietilen tereftalat
N	Newton
S	Saniye
Std. Sapma	Standart Sapma
Dağ. Katsayı	Dağılım Katsayı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1.	Selüloz Zinciri ve Sellobios Yapısı (Achinas ve ark. 2017)..... 5
Şekil 2.2.	Selüloz Lifi H Köprüleri (Głuszewski 2017)..... 6
Şekil 2.3.	Selüloz mikroliflerindeki kristalin ve amorf bölge (Margoutidis 2021) 6
Şekil 2.4.	Pamuk Lifinin Yapısı (Mondal 2021)..... 8
Şekil 2.5.	Lümen tabakası (Nam ve ark. 2014)..... 9
Şekil 2.6.	Pamuk Lifinin Yapısı (Şahinbaşkan 2010)..... 10
Şekil 2.7.	Selüloz Fibril Açılımları (Gordon ve Hsieh 2007)..... 18
Şekil 2.8.	Elektron Mikroskopu Görüntüsü (Gordon ve Hsieh 2007) ..... 18
Şekil 2.9.	Temel Havlu Üretim Sistemi (Demiral 2008) ..... 23
Şekil 2.10.	Reaktif Boyama Reçete Örneği (Çetin 2017)..... 30
Şekil 2.11.	Yeşil, Mavi ve Beyaz PET Talaşları (Telli ve ark. 2012)..... 41
Şekil 2.12.	Reaksiyon Grafiği (İnkaya 2006) ..... 43
Şekil 2.13.	Enzimlerin Substratlara Spesifikliği (Bhandari ve ark 2018)..... 46
Şekil 2.14.	Amilaz Enziminin Nişastayı Parçalama Reaksiyonu (Usluoğlu 2016) 50
Şekil 2.15.	Selülozun Glukoza Hidrolizi (Usluoğlu 2016) ..... 53
Şekil 2.16.	Proteaz Enziminin Peptid Bağlarını Katalizi (Usluoğlu 2016)..... 55
Şekil 2.17.	Lakkaz'ın Temel Kataliz Reaksiyonu (Usluoğlu 2016) ..... 57
Şekil 3.1.	%100 pamuklu kumaşlara uygulanan geleneksel ağartma prosesi .... 63
Şekil 3.2.	%100 pamuklu havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selüloz enzimatik ön işlem prosesi ..... 64
Şekil 3.3.	%100 pamuklu havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selüloz + lakkaz enzimatik ön işlem prosesi ..... 65
Şekil 3.4.	Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selüloz enzimatik ön işlem prosesi ..... 66
Şekil 3.5.	Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan lakkaz enzimatik ön işlem prosesi..... 67
Şekil 3.6.	Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan lakkaz enzimatik ön işlem prosesi..... 68
Şekil 4.1.	%100 Pamuk İçin Ağartma İşlemi Görmüş Hav Buklesi (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Hav Buklesi (Sağ)..... 79
Şekil 4.2.	%100 Pamuk Ağartma İşlemi Görmüş Kumaş (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Kumaş (Sağ)..... 80
Şekil 4.3.	%100 Pamuk Geleneksel Ağartma İşlemi ..... 80
Şekil 4.4.	%100 Pamuk Selüloz + Pektinaz Enzimatik İşlem ..... 81
Şekil 4.5.	%100 Pamuk %100 Pamuk Selüloz + Pektinaz+ Lakkaz Enzimatik İşlem ..... 81
Şekil 4.6.	Geleneksel Olarak Geri Dönüştürülmüş Beyaz Bukle (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Beyaz Bukle (Sağ)..... 95
Şekil 4.7.	Geleneksel İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Beyaz Kumaş (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Beyaz Kumaş (Sağ).. 95
Şekil 4.8.	Geleneksel İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Yeşil Bukle (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Yeşil Bukle (Sağ)..... 95
Şekil 4.9.	Geleneksel İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Yeşil Kumaş (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Yeşil Kumaş (Sağ) ..... 96
Şekil 4.10.	Geri Dönüştürülmüş Havlu Selüloz + Pektinaz Enzimatik İşlem..... 97
Şekil 4.11.	Geri Dönüştürülmüş Havlu Lakkaz Enzimatik İşlem ..... 97

Şekil 4.12.	Geri Dönüştürülmüş Havlu Selülaz + Pektinaz + Lakkaz Enzimatik İşlem	98
	.....	

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Pamuğun Kimyasal İçeriği (Şahinbaşkan 2010).....	11
Çizelge 2.2. Organik Pamuk ve Geleneksel Pamuk Arasındaki Farklar (Benli 2015)	16
Çizelge 2.3. 2021 yılı Dünyadaki Ev Tekstili İhracat Rakamları (UİB).....	20
Çizelge 2.4. 2021 yılı Ürün bazlı İhracat rakamları (UİB) .....	21
Çizelge 2.5. Havluların Sınıflandırılması (Çetin 2017) .....	24
Çizelge 2.6. Ortalama Olarak g/m <sup>2</sup> Havlu Kumaş Üretim Parametreleri (Koçak 2015) .....	28
Çizelge 2.7. Ortalama 1,5 kg ağırlığa sahip 1 adet bornoz üretimi için iplik üretim aşamasına kadar olan potansiyel atık oluşumu ve enerji sarfiyatı tablosu (Güngör ve ark.2009) .....	33
Çizelge 2.8. Ortalama 1,5 kg ağırlığa sahip 1 adet bornoz üretimi için dokuma aşamasından sevkiyata kadar olan potansiyel atık oluşumu ve enerji sarfiyatı tablosu (Güngör ve ark. 2009) .....	34
Çizelge 2.9. MADE-BY Sınıflandırma Tablosu (Eser ve ark. 2016) .....	35
Çizelge 2.10. Tekstil atıklarının geri dönüşüm potansiyelleri (Eser ve ark. 2016).....	38
Çizelge 2.11. Tekstil sektöründe kapalı çevrim üretim ve tedarik zinciri (Eser ve ark. 2016) .....	39
Çizelge 2.12. Enzim yapıları ve kullanım alanları (Kabir ve Koh 2021) .....	44
Çizelge 2.13. Reaksiyon tipine göre enzimlerin sınıflandırılması (Kabir ve Koh 2021) .....	45
Çizelge 2.14. Amilaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021).....	49
Çizelge 2.15. Pektinaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021).....	51
Çizelge 2.16. Selülaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021).....	52
Çizelge 2.17. Lipaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021).....	54
Çizelge 2.18. Katalaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021) .....	56
Çizelge 2.19. Lakkaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021).....	56
Çizelge 3.1. %100 pamuklu havlu kumaşın fiziksel parametreleri.....	60
Çizelge 3.2. Geri dönüştürülmüş havlu kumaşın fiziksel parametreleri .....	61
Çizelge 3.3. %100 pamuklu havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları.....	64
Çizelge 3.4. %100 pamuklu havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları.....	65
Çizelge 3.5. Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları.....	66
Çizelge 3.6. Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan lakkaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları.....	67
Çizelge 3.7. Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan lakkaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları.....	68
Çizelge 4.1. Geleneksel ön işlem sonrası hidrofilité değerleri.....	69
Çizelge 4.2. %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz enzim prosesi hidrofilité değerleri ve sütun grafiği .....	69
Çizelge 4.3. %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz+lakkaz enzim prosesi hidrofilité değerleri ve sütun grafiği .....	70
Çizelge 4.4. Geleneksel ön işlem sonrası %100 pamuklu havlu kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri.....	71

Çizelge 4.5.	%100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz enzim prosesi beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği .....	72
Çizelge 4.6.	%100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz+lakkaz enzim prosesi beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği.....	73
Çizelge 4.7.	Geleneksel ön işlem görmüş %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan mukavemet testi sonuçları.....	75
Çizelge 4.8.	Pektinaz+selülaz+lakkaz ile 2.tüpte işlem gören %100 pamuklu kumaşa uygulanan mukavemet testi sonuçları .....	77
Çizelge 4.9.	%100 Pamuklu kumaş KOİ ölçüm sonuçları.....	79
Çizelge 4.10.	Geleneksel işlem sonrası hidrofilite değerleri.....	82
Çizelge 4.11.	Geri dönüştürülmüş havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz enzim prosesi hidrofilite değerleri ve sütun grafiği .....	83
Çizelge 4.12.	Geri dönüştürülmüş havlu kumaşa uygulanan lakkaz enzim prosesi hidrofilite değerleri ve sütun grafiği .....	84
Çizelge 4.13.	Geri dönüştürülmüş havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz+lakkaz enzim prosesi hidrofilite değerleri ve sütun grafiği .....	85
Çizelge 4.14	Geleneksel şekilde geri dönüştürülmüş havlu kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri.....	86
Çizelge 4.15.	Pektinaz+selülaz ile enzimatik işlem gören geri dönüştürülmüş havlu beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği .....	87
Çizelge 4.16.	Lakkaz ile enzimatik işlem gören geri dönüştürülmüş havlu beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği .....	88
Çizelge 4.17.	Pektinaz+selülaz+lakkaz ile enzimatik işlem gören geri dönüştürülmüş havlu beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği .....	89
Çizelge 4.18.	Geleneksel işlem görmüş geri dönüştürülmüş havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları .....	90
Çizelge 4.19.	Pektinaz+Selülaz ile 4.tüpte işlem gören geri dönüştürülmüş havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları .....	92
Çizelge 4.20.	Geri dönüştürülmüş havlu kumaşının KOİ sonuçları .....	94

## 1. GİRİŞ

Günümüzde tüketim alışkanlıklarının ve nüfusun yukarı yönde ciddi bir ivme ile yükselmesi beraberinde birçok sorunu da getirmektedir. Doğal kaynakların fütursuzca kullanımı gezegenimize, doğal kaynaklara, dolayısıyla da her birimize zarar vermektedir. Bu kaynaklar halen sınırsızmış gibi görülmekte ve bu şekilde tüketilmeye devam edilmektedir. Bu tüketme odaklı bilinç ekonomik, ekolojik ve sosyal kayıplara yol açmış ve açmaya da devam edecektir. Bu durumun insan hayatını kısa vadede olumlu etkilemesi gerçeklerin görülmemesi için geçerli bir sebep olmamalıdır.

Tekstil sektörü, tüketim ve doğal kaynak kullanımı konusu ise de bu konudaki hassasiyetin ne kadar değerli olduğunu göz önüne sermektedir. Tekstil sektörü, diğer sektörlerle oranla hem üretim hacmi, hızlı tüketim hızı ve doğal kaynak kullanımı konusunda hiç de tutumlu olmaması sebebiyle kaynak tasarrufu gerekliliğinin en yoğun hissedildiği sektörlerden biri olmaktadır. Geri dönüşüm, yeniden kullanım ile ilgili çalışmalar her geçen gün daha da artmakta fakat günümüz itibari ile yeterli seviyede bulunmamaktadır.

Tekstil ürünlerinin üretiminde ürünü istenilen seviyeye çıkartan ve katma değer katan işlemler ipliklere, kumaşlara uygulanan terbiye işlemleridir. Pamuk kumaşlara uygulanan terbiye işlemlerinin başında ise pamuğu kirliliklerinden arandıran, göreceği sonraki işlemlere hazırlayan ağartma işlemi gelmektedir. Ağartma işlemi sonrası daha temiz, daha su emici ve daha parlak pamuk elde edilirken, kullanılan kimyasallar ve doğal kaynakların işlemin negatif tarafıdır. Yapılan çalışmada ise çeşitli enzimler ve enzim kombinasyonları kullanılarak geleneksel ön işlemin getirdiği özellikleri, daha sürdürülebilir ve doğal yollardan elde edilmesi amaçlanmıştır.

Hammadde olarak %100 doğal pamuk, geri dönüştürülmüş (recycle) pamuk ve geri dönüştürülmüş polyester seçilmiştir. Bu hammaddeler konstrüksiyon olarak benzer özelliklerde havlu kumaşı olarak dokunmuş ve farklı işlem süreleri, farklı enzim türleri ve enzim kombinasyonları ile işleme sokularak, öncelikle hidrofilit ve beyazlık dereceleri incelenmiştir. Sonrasında ise yüzey özellikleri, mukavemet değerleri, kimyasal oksijen ihtiyaçları araştırılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Doğal Lifler

Lifler sürekli ve kesikli yapılar olarak ayrılırlar. Doğal liflerin ise sentetik liflere göre en belirgin avantajı biyolojik olarak parçalanabilir olmasıdır. Doğal ve sentetik liflere olan ihtiyacın her geçen yıl ciddi şekilde artması ile alternatif doğal liflere eğilim başlamıştır. Kenevir, keten, jüt, rami, muz gibi lifler ile çalışan ünlü tasarımcılar ve markalar çevre dostu ve sürdürülebilir ürünler yapmayı hedeflemektedirler. Doğal lifler elde edildiği yere ve elde edilmiş şekline göre de sınıflandırılabilir. Bitkisel ve hayvansal olarak sınıflandırılabildiği gibi bitkinin hangi bölgesinden lif elde edildiğine göre de ayırım yapılmaktadır. Yaprak lifleri, ağaç lifleri, tohum lifleri gibi örneklendirilebilir.

Tohum liflerine en bilinen örnek pamuk lifleridir. Sektörün temelini oluşturan bu lif hafif, yumuşak ve emici özelliği ile öne çıkarken diğer tohum bazlı liflere kapok, çam kozalağı gibi lifler örnek verilebilir. Sak lif ailesinin üyelerini kenevir, jüt, keten, rami olarak sayabiliriz. Genel özellikleri dayanıklı ve uzun ömürlü olmalarıdır. Çim lifleri için bambu, mısır gibi lifler örnek verilebilir. Bambu liflerinin en öne çıkan özelliği yüksek hidrofilit ve UV ışınlarına karşı olan direncidir. Meyve lifleri ailesinin en bilinen örnekleri için Hindistan cevizi lifi ve palmye lifini sayabiliriz. Yaprak lifleri için ise muz lifleri, ananas lifleri, agave lifleri örnek olarak verilebilir. Özellikle muz liflerinin çay-kahve poşetleri üretiminde kullanım alanı mevcuttur. Ağaç lifleri ise yumuşak ve sert ağaç lifleri olarak 2 temel gruba ayrılmaktadır. Bu liflerin ana bileşenleri lignin, selüloz, hemiselülozlardır (Subash 2021).

#### Yün Lifi

En eski kullanım tarihine sahip olan hayvansal lifler yün lifleridir. Önde gelen lif üretim ülkeleri Çin, Avustralya ve Yeni Zelanda'dır. Koyun, keçi ve alpaka gibi hayvanlar yün lifi eldesinde yoğunlukla kullanılmaktadır. Kaliteli bir yün lifi, elde edildiği hayvanın cinsine ve yünün hangi bölgeden elde edildiğine göre değişiklik göstermektedir. Genel anlamda omuz ve yan bölgeler en kaliteli liflerin elde edildiği bölgelerken, bacaklar kalitesiz lif bölgeleridir. Hayvanın yaşı, yaşayış biçimi, cinsi gibi etkenlere bağlı olarak çeşitli uzunluk ve kalınlıklarda lifler elde edilmekte ve kullanılmaktadır.

### İpek Lifi

Bilinen en eski liflerdendir. Yüzyıllardır doğal lifler arasında değerinin çok yüksek olması ile öne çıkmaktadır. Lif karakteri olarak da yüksek mukavemeti, yüksek modülü, tuşesi ve parlaklığı ile diğer doğal liflerden ayrılmaktadır. İyi termal özellikleri ile de yazın serin, kışın ise sıcak tutan bir lifdir.

### Pamuk Lifi

Tekstil sektöründe giyim, ev tekstili, endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda yoğunlukla kullanılmaktadır. Dünyada üretim hacminin %80'inden fazlası Çin, ABD, Brezilya, Hindistan ve Pakistan'dadır. İçerdiği yüksek selüloz oranı, nefes alabilen yapısı ve hidrofil özelliği ile öne çıkmaktadır. Lif uzunluğu genellikle 3,5 ile 5 cm arasında değişmekte ve lif uzunluğu, tohum cinsine üretim şartlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Güncel üretim yöntemlerinde ise çevre kaygısı, toprak verimliliği gibi önemli konular göz önünde bulundurularak kimyasal ve gübre kullanılmadan yetiştirilmektedir.

### Jüt Lifi

Jüt, pamuktan sonra en ekonomik ve önemli doğal liflerden biridir. Üretim hacminin yüksek oluşu öne çıkan özelliklerindedir. Sert ve güçlü lif yapısı sebebiyle ağırlıklı olarak ambalaj endüstrisinde kendine kullanım alanı bulmaktadır.

### Kenevir Lifi

Kenevir hızlı büyüyen bir bitkidir. Üretim anlamında önde gelen ülkeler Çin, ABD, Kanada ve Fransa olarak sıralanabilir. Kenevir lifinin kimyasal bileşiminde yaklaşık %70-74 selüloz, %15-20 hemiselüloz ve %3,5-5.7 lignin, %0,8 pektin ve %1,2-6.2 bal mumu bulunmaktadır. Rami lifinden sonra en kuvvetli doğal lifler içerisinde yer almaktadır. Mukavemeti yaşken bir miktar daha artar. Sıcaklıktan çok etkilenmez ve yüksek sıcaklıklara dayanır. Boncuklanma (Pilling) ve statik elektriklenme 20 °C'de %65 bağıl nem altında %12, %95 bağıl nem altında %30 nem çekme kabiliyeti vardır. Bu değerler pamuk ve ketenden yüksektir. Kenevir lifinden; kumaş, çanta, ayakkabı, giysi vb, tekstil ürünleri, aę, halat, halı tuval vb. teknik tekstil ürünleri, Jeotekstiller,



biyokompozitler, otomotiv vb. endüstriyel ürünler üretilebilir ( Demirbek ve Oktav, 2021).

#### Keten Lifi

Bilinen en eski liflerden biri olan ketenin şu an en yoğun yetiştirildiği bölgeler Fransa, Rusya, Kanada, Belçika ve Çin olarak sıralanabilir. Bu ülkelerde mart ile temmuz ayları arasında ortalama 100 günde yetiştirilmektedir. Lifi saf hali yumuşak ve parlak görünümlüdür, tekstilde giyim ürünlerinde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.

#### Bambu Lifi

Lif özellikleri yetiştirilme şekline ve ortam şartlarına bağlıdır. En hızlı büyüme hızına sahip liflerden biridir ve saatte 3 cm'ye kadar büyürken, uzunluğu 40 metreye kadar ulaşabilmektedir. 1000'den fazla çeşidi olan bambu lifi tekstilde genellikle kompozit yapımında takviye elemanı olarak kullanılmaktadır.

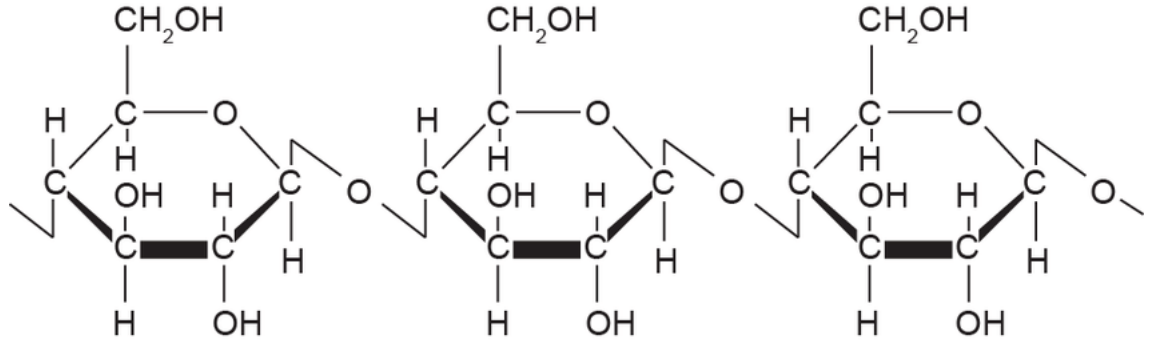
#### Kenaf Lifi

Kenaf bitkisinin öne çıkan özelliği yetersiz koşullarda, düşük miktarda su, düşük miktarda gübre ile büyüebilmesidir. 5-6 ay arasında büyüme döngüsü tamamlanır. Kenaf lifini üreten başlıca ülkeler Hindistan, Çin, Tayland ve Bangladeş olarak sıralanabilmektedir. Genellikle kompozit malzemesi olarak kullanılan kenaf lifi daha önceleri kâğıt endüstrisinde de kendine kullanım alanı bulmuştur (Awais 2021).

Tüm bitkiler değişen oranlarda selülozdan oluşur ve pamuk liflerinin %90'ı selülozdur. Pamuk lifleri içerisindeki selüloz yapısı, tüm bitki lifleri arasında en yüksek kristalin yapıda ve en yüksek moleküler ağırlığa sahiptir. Pamuk lifleri çoğunlukla  $\alpha$ -selülozdan (%88,0-96,5) oluşmaktadır. Fiziksel yapı itibari ile kütikül ve birincil hücre duvarı selülozik değilken, ikincil hücre duvarı tamamen selülozdur. Pamuk liflerinin kimyasal bileşimleri çeşitlerine, yetiştirilme şartlarına, bulunduğu toprak, sıcaklık, su miktarı, haşere ve benzeri coğrafi şartlara göre farklılıklar göstermektedir. Bünyesinde selülozik yapıda olmayan proteinler, pektinler, mumlar, inorganik ve diğer maddeler bulunmaktadır. Gelişimini tamamlamamış pamuk liflerinin selülozik içeriği gelişimini tamamlamış pamuk liflerine oranla daha düşüktür (Gordon ve Hsieh 2007).

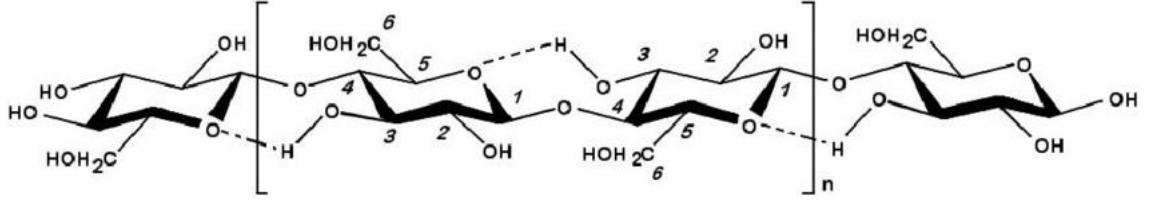
Pamuk lifinin birincil hücre duvarının polimerizasyon derecesi(DP) 2000-6000 arasında ve daha düşük moleküler ağırlığa sahiptir. İkincil duvar ise %100'e yakın bir seviyede selülozdur ve polimerizasyon derecesi yaklaşık 14.000'dir ayrıca moleküler ağırlığın dağılımı daha düzenlidir. Pamuk lifleri içerisinde selülozik olmayan bileşenler olan pektinler ve mumlar lifin hidrofobik bölümlerini ifade etmektedir (Gordon ve Hsieh 2007).

D-glikoz Selüloz maddesinin en temel monomeridir. Glikozun yapıtaşlarında hidroksil grupları bulunmaktadır. Bu grupların 2. ve 3. karbon atomuna bağlı olanlar sekonder, 6. atoma bağlı olan ise primer hidroksil grupları olarak adlandırılır. Toplamda 6 adet halkadan meydana gelen bu yapının 1. ve 4. atomu arasında asetat bağı mevcuttur ve monomerler sellobios olarak adlandırılan yapıyı meydana getirirler. 6 karbonlu bu yapıya piran halkası adı verilmektedir (Uçal 2005).



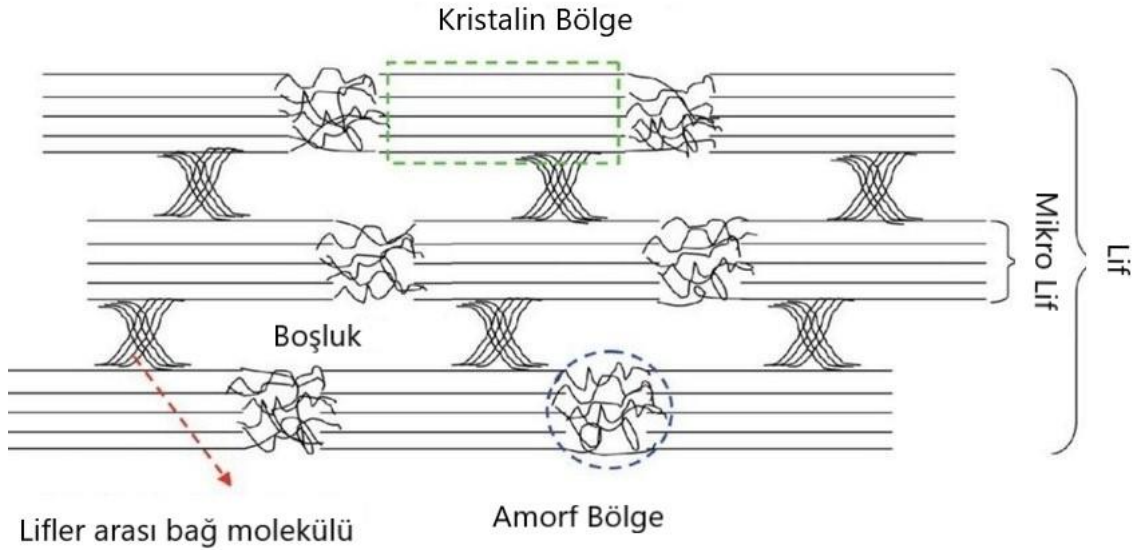
**Şekil 2.1.** Selüloz Zinciri ve Sellobios Yapısı (Achinas ve ark. 2017)

Selülozda polimerizasyon derecesi çok büyük önem ifade etmektedir. Zincirin uzunluğu polimerizasyon derecesi olarak ifade edilmektedir. 1. karbondaki -OH grupları 6. karbondakiler ile aynı tarafta yer alıyorsa  $\alpha$ , ters yönde ise  $\beta$  konfigürasyonu adı verilmektedir.  $\beta$  konfigürasyonu mevcut ise iyi bir polimer uzunluğu, dolayısıyla kaliteli bir lif elde edilmektedir (Uçal 2005).



**Şekil 2.2.** Selüloz Lifi H Köprüleri (Głuszewski 2017)

Selülozun kimyasal yapısı glikoz moleküllerinin yerleşimine göre değişim göstermektedir. 6 karbonlu piran halka yapısı sandalye formunda ise –OH yani glikoz yapılarının hidrojen köprüleri oluşturmasına uygun bir pozisyon olmaktadır. Hidrojen köprülerinin kurulması mukavemet ve sağlamlık sağlayan kristalin bölgenin varlığını sağlamaktadır. Kristalin bölgelerin tersi olarak da amorf bölgeler düzensiz ve birbirlerine daha uzak yapıdadır. Reaksiyonlar da çoğunlukla bu kristalin bölgelerde gerçekleşmektedir. Kristallenebilme özelliklerine göre de selüloz molekül tipleri 5'e ayrılmaktadır. İlk 4 tip lifsel form göstermektedir. Örnek olarak selüloz 1 doğal lifler, selüloz 2 rejenere selüloz liflerini göstermektedir (Uçal 2005).



**Şekil 2.3.** Selüloz mikroliflerindeki kristalin ve amorf bölge (Margoutidis 2021)

Selüloz dünyada en fazla miktarda bulunan organik polimerdir. Selülozun üretilip kullanılması için en yaygın ham madde odun hamurudur. Kullanım alanları ise çok büyük oranda kağıt, karton gibi sektörlerdir. Tekstil sektörü için ise hammadde niteliğindedir. Giyim ürünlerinin kullanım avantajı, yüksek konfor seviyesi sunması talep edilen en

temel özelliklerdir. Selülozik mamuller ise iyi derecede nem tutabilme kapasiteleri, insan teni ile kumaş yüzeyi arasında iyi ısı transferi özellikleri ile doğal olarak avantajlıdır. Bununla birlikte bulunulan ortam, liflerin gördüğü fiziksel ve kimyasal işlemler dayanım, hidrofilitik seviyesi, kopma gerilmesi, modül gibi özellikleri tamamen etkilemektedir (Ardıç 2007).

Pamuk bünyesinde sekonder duvar neredeyse tamamen selülozdan oluşmaktadır. Yapı içerisindeki kristalin ve amorf bölgeler lifin çeşidi, yetiştirme şekli, olgunlaşma seviyesine göre değişim göstermekle beraber ortalama olarak %70 kristalin, geri kalanının ise amorf bölge olduğunu söyleyebiliriz. Pamuk katmanları arasında tersine dönüş şekilleri olduğu görülmektedir ve bu durumun gerilim, çekme davranışı ile ilgisi olup olmadığı birçok araştırmaya konu olmuştur. Bünyesindeki su miktarı azaldıkça da bu tersine dönüşler artmaktadır.

### **Pamuk Lifinin Kalite Özellikleri**

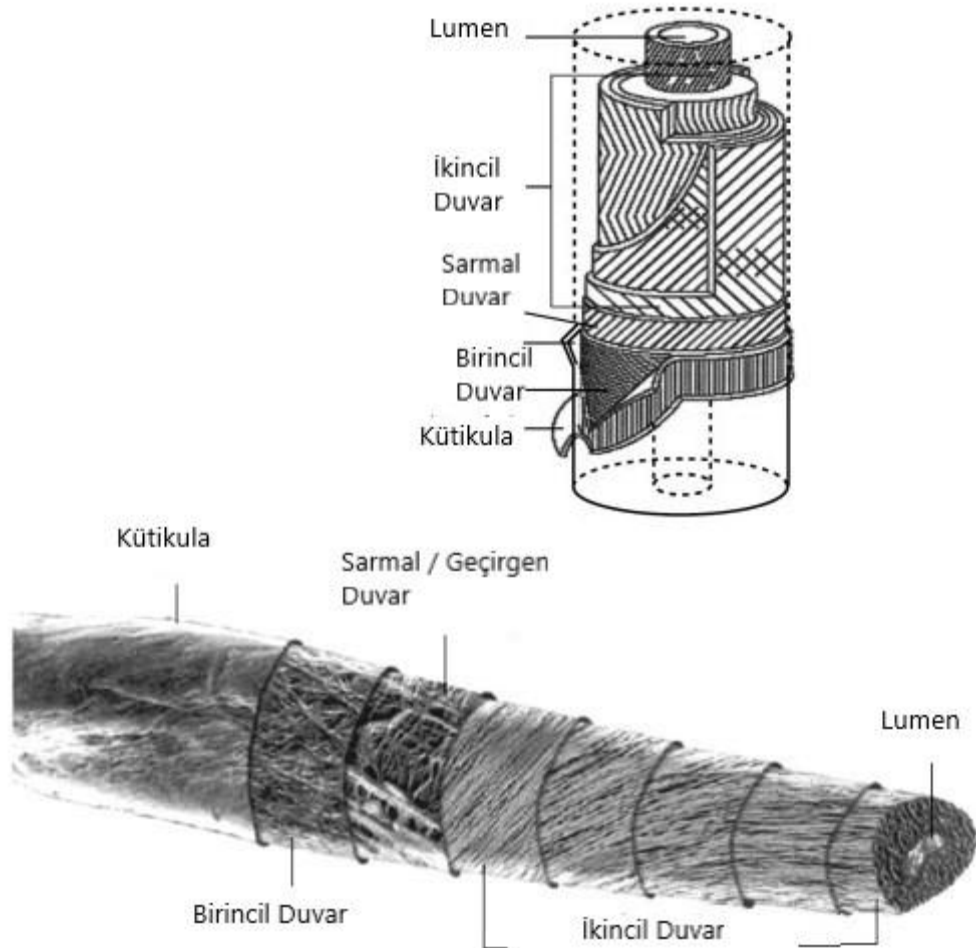
Pamuk lifi doğal bir lif olduğu için kalite özellikleri çok değişken ve karmaşıktır. Kalite özelliklerini belirlemenin asıl amacı fabrikada göreceği ön işlemler, bitim işlemleri sonrası final ürünün kalitesi hakkında standartlara uygun olmasıdır. En önemli kalite özellikleri ise lifin uzunluğu, düzgünlüğü, kısa lif içeriği, mukavemeti, inceliği, olgunluğu ve rengidir.

Lif uzunluğu pamukların ticari olarak değerini belirleyen en önemli kriterlerden biridir. Bunun sebebi ise diğer özelliklerin eşit olduğunu düşündüğümüzde uzun lif uzunluğuna sahip liflerin daha iyi büküm performansı sergilemesi ve dolayısıyla daha mukavemetli, kaliteli lifler olmalarıdır. Pamuk liflerinin uzun olması önemli olmakla beraber kalitesini ve fiyatını belirleyen bir başka unsur ise lif uzunluklarının homojen olarak dağılmasıdır. Uzunluğu düzgün dağılmamış lif demetlerinin içinde uzun bulunan kısa lifler, uzun lifler ile birlikte olmalarına rağmen genel anlamda bakıldığında zaman zayıflık yaratmaktadırlar. Bükümde sie liflerin yüzmesine yol açacak, iplik düzgünlüğünü bozacaktır. Uzun ve güçlü liflerin varlığı hem final ürün anlamında hem de ticari olarak bakıldığında büyük önem arz etmektedir. İplik inceliği ve olgunluğu da kalite parametrelerini ciddi ölçüde

etkilemektedir. Lifler incelidikçe belirli bir kütledeki, herhangi bir demetteki lifleri sayısı artmaktadır. Ayrıca ince lifler ile iplik mukavemeti de artmaktadır. Bunun mantığı ise çekme kuvveti etki ettirildiğinde yükün, daha fazla life dağılabilmesidir. Demet içinde olgun olmayan liflerin bulunması, ölü liflerin bulunması neps oluşumuna neden olmaktadır. Bu da standart altında üretilmeye sebep olmaktadır (Negm 2020).

### 2.1.1 Fiziksel Özellikleri

Olgun hale gelmiş bir pamuk lifinin yapısı en dış katmandan içeri doğru incelendiğinde sırasıyla; kütikula ve mumsu tabaka, primer çeper, sekonder çeper ve son olarak da lumen görülmektedir (İnkaya 2006).

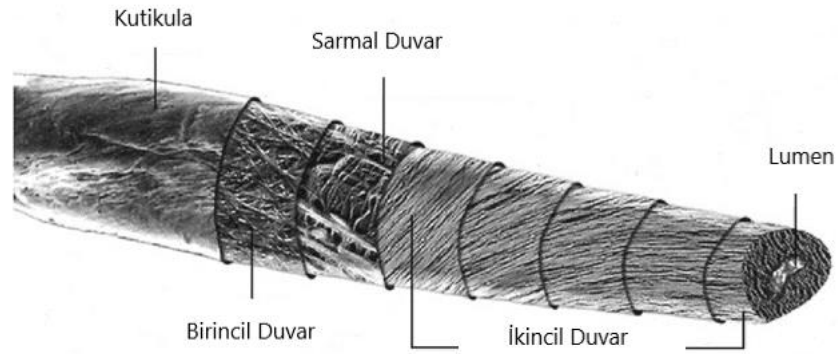


Şekil 2.4. Pamuk Lifinin Yapısı (Mondal 2021)

Kütikula ve Mumsu Tabaka ; Lif yüzeyinde suların damlacıklar halinde kalmasına sebep olan tabakadır. Kütikulanın içeriği mum, pektin, kütin ve proteinlerdir. Pamuk lifinin en dışında yer alıp, lifin korunmasını sağlamaktadır. Amorf bir yapıda olup lif mukavemetine katkısı yok denecek kadar düşüktür. Bununla beraber life bir koruma kalkanı sağladığı için lif açısından önemi çok büyüktür (İnkaya 2006).

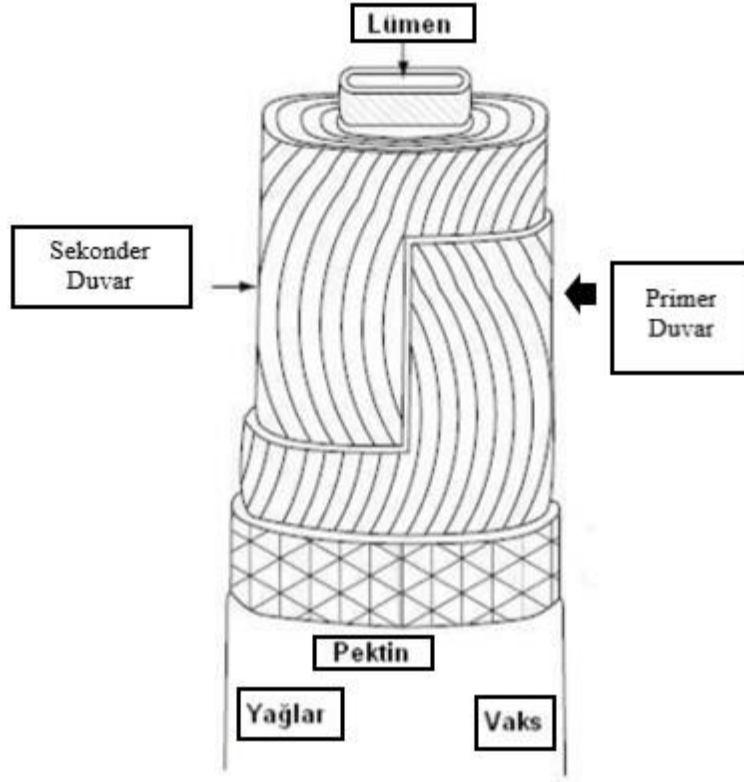
Primer Çeper ; Hücreyi dış etmenlerden korumak ile görevli dış hücre çeperidir. Yapısı selülozdan oluşmakla birlikte lifin toplam ağırlığının %5'i primer çeperdir (İnkaya 2006).

Sekonder Çeper; Sekonder çeper de selülozdan oluşmaktadır. Katmanlar halinde olan bu kısım diagonal yapılara sahiptir. Dönüş açıları incelendiğinde katmanlarına göre Z, S ve Z şekillerinde 3 ayrı katman olarak görülmektedir (İnkaya 2006).



**Şekil 2.5.** Lümen tabakası (Nam ve ark. 2014)

Lumen Tabakası ; Lumen tabakası diğer katmanların aksine selülozik yapıda değil protein yani aminoasit yapıdadır. Bunun sebebi, lümenin lif içerisindeki artıkların bulunduğu kısım olmasıdır. Lümenin kalınlığı da değişkenlik göstermektedir. Lif olgunlaştıkça lümen tabakası daralma eğilimi göstermektedir (İnkaya 2006).



Şekil 2.6. Pamuk Lifinin Yapısı (Şahinbaşkan 2010)

### 2.1.2. Kimyasal Özellikleri

Pamuğun iç yapısında bulunan ana maddeler selüloz, pektinler, protein esaslı ürünler, yağ, esterler, yağsı maddeler, inorganik maddelerdir. Bu maddelerin lif içerisindeki oranları ortalama olarak söylenebilirken, net olarak söylenmesi mümkün değildir. Sebebi ise lifin olgunlaşma sürecinde bu maddelerin oranlarının sürekli değişmesidir. Ana madde olan selülozdan örnek verecek olursak lif olgunlaştığı sürece selüloz oranı da yükselmektedir. Lif içerisindeki maddelerin dağılım oranları için en önemli etken lifin olgunluğu olmakla beraber pamuğun üretildiği şartlar, üretim yöntemleri de içeriğin farklılaşmasında etkili olmaktadır (İnkaya 2006).

**Çizelge 2.1.** Pamuğun Kimyasal İçeriği (Şahinbaşkan 2010)

<b>Pamuğun kimyasal yapısında bulunan maddeler</b>	<b>Oranları (%)</b>
Selüloz	88-96
Hemiselüloz ve Pektin	4-6
Protein ve renkli maddeler	1.5-5
Anorganik maddeler	1.0-1.2
Vaks ve yağlar	0.5-0.6

### **2.1.3. Pamuk Liflerine Etki Eden Etmenler**

Su Etkisi; pamuk lifinin alkol grupları ile su molekülü içerisindeki oksijen atomları hidrojen köprüleri oluşturmaktadır. Pamuk lifinin su varlığında şişmesinin sebebi pamuğun polimer zincirleri arasına su moleküllerinin girerek zincirlerin arasını açmasıdır. Bu şişme sebebi ile de pamuklu kumaşların eni ve boyu kısalmaktadır (Şahinbaşkan 2010).

Asit Etkisi ; Normal şartlar altında pamuk liflerine etki eden asitler hidroselüloz oluşumuna yol açmaktadır. Fakat etkileşim sonrası asit varlığını sonlandırmak için NaOH ile durulama işlemi yapılması gerekmektedir (Toprak 2014).

Bazların Etkisi ; Bazlar karşısında pamuk lifinin dayanım göstermesinin sebebi, pamuk lifi bünyesindeki glikozit bağlarıdır. Etki eden bazların etkinliği zayıf ise yüksek sıcaklıklarda bile etki etmemektedir, eğer ortamda oksijen söz konusu ise oksiselüloz oluşumu meydana gelmektedir. Bazlar pamuk lifi işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Pamuğu daha hidrofil kılmak için yapılan mercerize işleminde pamuk lifi soğuk ya da sıcak ortam şartlarında yaklaşık 8°Be derişik sodyum hidroksit ile muamele edilmektedir. Ayrıca pamuğa parlaklık kazandırmak için de 27°Be'lik %10'un üzerinde NaOH çözeltileri ile pamuk lifi muamele edilir ardından germe işlemi uygulanır. NaOH lifin şişmesini, germe işlemi de boyuna kesitinin paralel hale gelmesini sağlamaktadır. Sonucunda pamuk lifinin üzerine düşen ışık hem daha düzgün bir yüzeye çarpıp yansıyacak hem de lif içerisinde alacağı yol artacağı için daha parlak görünecektir (Şahinbaşkan 2010, Tarakçioğlu 1979).



Sıcaklık Etkisi ; Pamuk yanar iken hızlı bir şekilde yüksek miktarda enerji ortaya çıkmaktadır. Yanma ısısı düşük olsa bile yanma işlemi hızlı bir biçimde gerçekleşmektedir. Sıcaklık derecesi anlamında ise 300°C’de pamuk tamamen karbonize olmaktadır. 180°C’de pamuk rengi kahverengi olurken, 150°C’den sonra pamuğun rengi sararmaya başlamaktadır (Erkan 2013).

Işığın Etkisi: Maruz kaldığı ortamda oksijen mevcut ise uzun süreli maruz kalma durumunda pamuk yapısında oksiselüloz meydana gelir, nem varlığında deformasyon miktarı artmaktadır (Toprak 2014).

Tuzların Etkisi: Pamuk lifi alkali ve toprak alkali metal tuzları etkisi ile şişme eğilimi göstermektedir. Etki arttığında pamuk lifi yapısında çözünme etkisi de gözlenebilmektedir. Pamuk lifinin tuz etkisi altındaki çözünme durumu anyon çapının büyümesi ile artarken, katyon çapı büyümesi ile azalmaktadır. Tuzlara karşı direnç göstermede ise doğal selülozlar, rejenere selülozlardan daha iyi performans vermektedirler (Kırca 2012).

### **Pamuklu Kumaşlara Uygulanan Ön İşlemler**

Pamuk liflerinin doğal olarak bünyesinde var olan pektin, yağ ve vaks gibi safsızlıklar nedeni ile yaş işlem uygulanması ve katma değerli ürün elde edilmesi mümkün değildir. Hidrofilite başta olmak üzere birçok özelliğini negatif yönde etkileyen bu safsızlıkların uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu uzaklaştırma işlemleri sırasında da çok yüklü miktarlarda doğal kaynakları harcayan, negatif anlamda çevresel yük oluşturan işlemler yapılmaktadır.

### **Yakma ve Makaslama İşlemi**

Pamuk lifi gibi kesikli bir elyafla çalışıldığında ve bunlardan üretilmiş olan kumaşlarda içerisindeki kısa lifler fiziksel ve kimyasal işlemlere maruz kaldığı süre boyunca deforme olur ve yüzeyden çıkma isteği gösterirler. Bu yüzeyden çıkan lifler/tüycükler de kumaş parlaklığını ve sonrasında göreceği terbiye işlemlerini olumsuz olarak etkilemektedir.

Geleneksel yöntemler ile bunlar gaze denilen alevin lif yüzeyini yakması işlemi ile giderilmektedir (Benli 2015).

### **Haşıl Sökme İşlemi**

Haşılama, dokuma işlemi öncesi çözgü ipliklerine yapılan ve işlem süresinde fiziksel deformasyonu, gerginlik etkisi ile kopmaları azaltmaya yönelik yapılan bir işlemdir. Ancak haşıl maddeleri yüzeyi yağsı, mumumsu bir tabaka gibi kaplayarak hidrofob yüzeyler oluşturmakta ve sonrasında yapılacak olan terbiye işlemlerini olumsuz etkilemektedir. Haşıl maddesinin terbiye işlemleri öncesi uzaklaştırılması gerekmektedir.

### **Hidrofilleştirme İşlemi**

İşlem, lifleri hidrofil hale getirmek için uygulanmaktadır. İşlemde, pamuklu ürünlerin yağsı, mumsu tabakaları çözülerek kolay uzaklaştırılabilir hale gelir ve materyal yağ işlemlere hazır duruma getirilir.

### **Ağartma İşlemi**

Pamuk lifleri doğal ortamlarında sarı nüanslı açık renklere sahiplerdir. Terbiye işlemlerinde başarılı ve standartlara uygun olabilmek için ağartma yani ürünü beyazlaştırma işlemi uygulanmaktadır. Renk pigmentlerinin üründen uzaklaştırılması işlemin temel mantığını oluşturmaktadır.

### **Ağartma İşlemleri ve Enzimatik Ağartma**

Ağartma işlemi temel olarak materyalin beyazlatılması ve renk pigmentlerinin oksidatif, redüktif olarak indirgenmesine dayanmaktadır. Maddeye renk veren maddelerin daha küçük parçalara bölünmesi ile gerçekleştirilmektedir. Piyasada en yaygın kullanılan ağartma maddeleri klor ve peroksit bazlı maddelerdir. Peroksijen temelli maddeler genellikle kağıt, tekstil, kimya, temizlik sektörlerinde tercih edilmektedir. Piyasada çok çeşitli ağartma yöntemleri mevcut ve kullanılmaktadır. Bunlar;

### **Hipoklorit Ağartma Yöntemi**

Hipoklorit ağartmasında fiziksel şartlar olan pH, sıcaklık gibi değerlerin optimum seviyede olması işlem verimi ve lifin deformasyona maruz kalmaması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu optimum şartlar 9-11,5 pH ve 20°C işlem sıcaklığı şeklindedir. Bu şartların üstüne çıkıldığı durumlarda ağartma maddesinin aktiflik seviyesi daha yüksek bir parçalama gücüne ulaşır ve sadece renk maddelerine değil artık lif bünyesine de zarar vermeye başlamaktadır. Geleneksel bir yöntem olan hipoklorit ağartmasının ucuz olması bir avantaj iken, işlemin sağlıklı şekilde sürdürülebilmesi için gereken şartların sağlanmasının zor olması aynı zamanda lif bünyesine ve doğal çevreye zarar vermesi gibi büyük dezavantajları sebebiyle artık günümüzde rağbet gören bir yöntem değildir (İnkaya 2006).

### **Sodyumklorit Ağartması Yöntemi**

Hipoklorit ağartması yöntemine kıyasla liflere zarar verme yönelimi çok daha düşüktür. Bu bir avantaj gibi görülse de işlemin kullanımı önünde negatif durumlar da mevcuttur. Bunlar temizleme etkisinin düşüklüğü, ayrıca proses 3,5-4 pH gibi bir asidik ortamda gerçekleştirildiği için makine korozyonuna neden olmaktadır.

### **Hidrojen Peroksit Ağartması Yöntemi**

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ağartmasının proses şartları alkali ortam varlığında 95°C sıcaklıktadır. Bu şartlar nedeniyle enerji maliyetleri ve lifi deforme etme ihtimali yüksektir. Bu prosesin ağır şartlarını düşürmek amacıyla peroksit aktivatörleri kullanılabilir. Kullanılan aktivatörler işlem süresinde oksidasyon seviyesini arttırarak işlem süresini kısaltmakta ve daha düşük sıcaklıklarda istenen verimin alınmasına olanak vermektedirler.

Ağartma prosesleri sonucu kâğıt ve tekstil endüstrisinde ürünlerin istenilen beyazlık seviyesine getirilmesi ile yüksek katma değerli ürünler oluşmaktadır. Son ürüne değer katan bu işlemin çevresel anlamda büyük götürüleri de mevcuttur. Her geleneksel yöntemin kendi özelinde avantajları olduğu gibi dezavantajları da olmaktadır. Bu

durumların hepsi göz önüne alındığında enzimatik ağartma proseslerinin önemi her geçen gün artmaktadır (İnkaya 2006).

### **Enzimatik Ağartma**

Enzimatik ağartma prosesleri için çeşitli enzimler kullanılmakta ve farklı derecede beyazlık dereceleri elde edilmektedir. Bunların ilki lakkazlardır. Lakkazların kullanıldığı işlemlerde elde edilen beyazlık derecesi ortalama %14-18 oranındadır ve yetersizdir. İkincil olarak peroksidaz enzimleri ele alındığında, ağartma proseslerinde peroksidaz enzimleri aktivitelerini istenilen seviyelerde tutamamış ve aktifliklerini hızlı bir şekilde yitirmişlerdir. Üçüncül olarak kullanılan enzim glukoz oksidaz enzimleridir. Glukoz oksijen enziminin varlığında oksijen ve glukozdan hidrojen peroksit ve glukonik asit elde edilmektedir. Yapılan işlemin en kritik kısmı reaksiyon sırasındaki oluşan hidrojen peroksit miktarının iyi bir şekilde ayarlanmasıdır. Ortamda ihtiyaç fazlası olarak bulunan hidrojen peroksit beyazlık seviyesini arttırmadığı gibi zararı da olmaktadır. Ancak enzimatik bu proseste oluşan glukonik asit bu oluşumu stabil bir şekilde yönetmektedir (İnkaya 2006).

### **Merserize**

Merserize işlemi pamuklu ürünlerin bazik ortam şartlarında ve belirli gerilimler altında parlaklığını, hidrofilitesini, mukavemetini arttıran ön terbiye işlemidir (Benli 2015).

### **Pamuk Liflerinin Mukavemeti**

Pamuk liflerinin mukavemeti zincir uzunluklarına, zincir yapılarının kristalin oranı ile doğrudan ilişkilidir. Liflerin uzunluğu arttıkça mukavemet artar iken, lif uzunlukları kısaldıkça mukavemet düşmektedir. Mukavemeti yükseltmek adına büküm adı verilen işlem ile mukavemet arttırılabilmektedir. Pamuk liflerinin ortalama uzunlukları 25-35mm arasındadır. Bunun ile birlikte PIMA pamuğu, Mısır pamuğu gibi coğrafi şartlar sebebiyle daha yüksek lif uzunluğuna sahip pamuk türleri de bulunmaktadır. Lifler arasındaki sürtünme kuvvetini arttırma prensibini temel alan büküm yöntemi ile belirli bir noktaya kadar mukavemet seviyesi yükseltilir iken bir noktadan sonra mukavemet derecesi

olumsuz etkilenecektir. Pamuk lifi ıslandığında mukavemet derecesi bundan etkilenecektir. Pamuğun yaş mukavemeti, kuru mukavemetinden ortalama %20 daha yüksektir. Liflerin mukavemeti yani dayanımı doğrudan kumaş dayanımını etkilediği için ürün kalitesi anlamında çok kritik bir rol oynamaktadır. İplik mukavemeti ölçümünde HVI, Instron çekme cihazları, uster mukavemet cihazları, James H. Heal Titan gibi mukavemet ölçüm cihazları kullanılmaktadır. İpliklere yapılan mukavemet testlerinde elde edilen test sonuçlarında ipliğin mukavemet değerinin yanı sıra kopma uzaması, elastikiyet, kopma uzunluğu gibi değerler de elde edilmektedir (Gordon ve Hsieh 2007).

#### **2.1.4. Organik ve Sertifikalı Pamuklar**

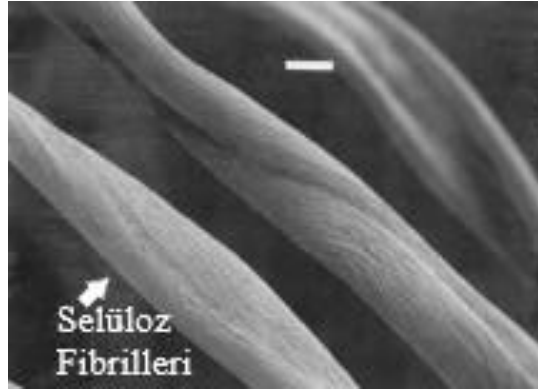
Organik pamuk ve tarım felsefe olarak geleneksel tarımın çevreye, insana verdiği zararı en aza indirmeyi temel almaktadır. Bunu da ilaç, gübreleme, kimyasal kullanımı toprağı korunması gibi adımlar ile gerçekleştirmektedir. Organik üretimlerdeki birincil öncelik niceliğin değil, niteliğin ön planda tutulmasıdır. Hem bireylerin hem de marka ve kurumsal olarak organiğe olan ilginin, ihtiyacın artmasının altındaki sebepler; çevre bilincinin her kesin için oluşması, sağlıklı beslenme ve giyinmenin yaygınlaşması, firmaların ekolojik sertifikayı talep etmesi, ekonomik ve ekolojik olarak sürdürülebilir olmasıdır. Tüm bu sürecin adım adım takip edilme zorunluluğı ve aynı zamanda nicelik olarak geleneksel tarımdan daha düşük üretim hacmine sahip olması gibi sebeplerle de ürünlerin fiyatları görece yüksektir (Benli 2015).

**Çizelge 2.2.** Organik Pamuk ve Geleneksel Pamuk Arasındaki Farklar (Benli 2015)

<b>İşlem</b>	<b>Geleneksel Pamuk</b>	<b>Organik Pamuk</b>
<b>Tohum Hazırlık Süreci</b>	1) Tohumlar, Fungisid ve insektisid ile işlem görür. 2) GDO'lu tohum kullanılır	1) İşlem görmemiş ya da organik tohum kullanılır. 2) GDO'lu tohum kullanılmaz.
<b>Toprak ve su ilişkisi</b>	1) Sentetik gübre kullanılır. 2) Monokültür ürün üretildiği toprak zayıftır. 3) Az yağış alan bölgelerde yoğun sulama gerektirir.	1) Ürün çeşitliliği ile toprağın kuvvetli olması sağlanır. 2) Organik tarım ile su toprak bünyesinde uzun süre kalır. 3) Topraktaki yoğun organik maddeler sayesinde suya ihtiyaç azdır.
<b>Yabani otlarla varlığı</b>	1) Yabani otlara karşı herbisid kullanılır.	1) Yabani otlar fiziksel olarak uzaklaştırılırlar.
<b>Zararlı haşere varlığı</b>	1) Haşerelere karşı kullanılan insektisid maddeleri püskürterek uygulanır.	1) Sağlıklı toprak ile haşere miktarı kontrol altına alınır. 2) Zararlı haşereler, tuzak bitkiler ile doğal olarak pamuk bünyesinden uzaklaştırılır.
<b>Hasat Zamanı</b>	1) Makineler ile yapılan hasatta kozaların açılmasını kontrol altında tutmak ve yaprakların kuruyup dökülmesine imkân vermek için, kimyasallar kullanılır.	1) Fiziken toplama sırasında yaprakların dökülmesine ihtiyaç olmaz. 2) Makine ile hasat sırasında kış şartlarının soğuşundan faydalanılır. 2) Su ile yaprak dökülmesi sağlanmaktadır.

Geleneksel pamuk üretiminde organik pamuk gibi alternatiflere ek olarak ‘‘Sertifikalı Pamuk’’ seçeneği de mevcuttur. Organik pamuğun sertifikalı pamuk karşısındaki dezavantajı tüm sürecin ve ürünlerin izlenebilirliğindeki sıkıntılardır. Sertifikalı pamuk

üretimi standartları Better Coton Initiative (BCI) isimindeki gönüllü bir kuruluş tarafından belirlenmiştir. Üretim anlamında en çok odaklandıkları problem tarım üretimindeki pestisit adı verilen zararlı tarım kimyasallarıdır. Bu kimyasallar hem toprağa, çevreye hem de dolaylı yolda insan sağlığına zarar vermektedirler. Üretimde kullanılacak tarım ilaçları Dünya Sağlık Örgütü'nün açıklamış olduğu liste ile belirlenmektedir (Benli 2015).



**Şekil 2.7.** Selüloz Fibril Açıları (Gordon ve Hsieh 2007)



**Şekil 2.8.** Elektron Mikroskobu Görüntüsü (Gordon ve Hsieh 2007)

## **2.2. Günümüzde Havlu**

Havlı kelimesi, hav buklelerinden gelmekte ve orijinalde havlu kelimesinin değişerek günümüzdeki halini almıştır. Emiciliği yüksek havlu kumaşlar ise dünyada Türk Havlusu olarak anılmaktadır. Manchester Textile Institute'de yapılan araştırmada havlunun aslında hatalı dokunan kumaşların bir sonucu olduğu ve bu ürünün anavatanının

Türkiye’de Bursa ilinde olduğu belirlenmiştir. Havlu dokuma yapısı geleneksel dokuma tekniği üzerine yapılan bir gelişme olarak kabul edilmektedir (Negm 2020).

Havlular, geleneksel olarak atkı ve çözümlü ipliklerinden düzlemsel olarak üretilen kumaşlara kıyasla daha fazla miktarlarda su emebilen yüzeyinde ilmekler yani havlar bulunan kumaşlardır. Havlu kumaşlar genellikle dokuma yöntemiyle üretilirken, örme teknolojisi ile de üretilenlerdir. Havlular dünya çapında insanların ana tüketim ürünlerinden biridir. Plajda, mutfakta, banyoda, sporda birçok farklı yerde kullanım alanlarına sahiptirler (Cruz 2017).

Ev tekstili ürün grubu içine havlu, bornoz, peştamal, yastık, yorgan, battaniye, ev döşemelikleri, perde gibi ürünler yer almaktadır. Ev tekstili ihracatçıları içinde pazar payları anlamında liderlik Çin’dedir. Ardından sırası ile Pakistan, Hindistan ve dördüncü sırada Türkiye gelmektedir. İthalat anlamında ise dünyadaki lider ABD, Avrupa piyasasındaki lider ise Almanya’dır. Türkiye açısından bakarsak ev tekstili, tüm tekstil piyasası içinde çok önemli bir paya sahip olup kendi içindeki pazar payını ise ortalama her yıl %10 arttırmaktadır. Ev tekstili bünyesinde Türkiye’nin katma değerli ve kaliteli ürün ortaya çıkarma anlamında ciddi bir başarısı bulunmaktadır. Dünya piyasalarında özellikle havlu ve bornoz etiketlerinde Türk Malı ibaresinin yer alması lüks ve kalitenin bir göstergesidir.

Havlu ve türevi ürünler hediyelik, dekor gibi alanlarda da kullanım imkânı sunsa da en yaygın kullanım alanı banyolar ve kurulanma işlevidir. Havlular birçok farklı materyalden üretilir ve hammaddesi ürüne farklı özellikler kazandırmaktadır. İpek, bambu, keten, polyester karışımları ile de üretilen havlu ürün gruplarında en çok kullanılan hammadde tabii ki pamuktur. Bunun en önemli sebebi asıl işlevi olan emiciliğinin çok iyi olması, doğal ve insana hoş gelen tuşesidir (Koçak 2015).



**Çizelge 2.3. 2021 yılı Dünyadaki Ev Tekstili İhracat Rakamları (UİB)**

Ülke Bazlı (1000 \$)						
Sıra	Ülke	2018	2019	2020	2019 – 2020 Değişim %	Pay %
1	Çin	33.132.098	34.670.136	30.401.070	-12%	49%
2	Hindistan	4.896.017	5.191.446	4.589.538	-12%	7%
3	Pakistan	3.466.094	3.468.749	3.476.950	0%	6%
4	Türkiye	2.779.226	2.656.728	2.506.739	-6%	4%
5	Almanya	2.092.931	2.057.210	1.865.038	-9%	3%
6	Taipei, Çin	2.144.500	2.047.030	1.565.055	-24%	3%
7	İtalya	1.804.162	1.683.660	1.296.865	-23%	2%
8	Kore Cumhuriyeti	1.937.865	1.826.776	1.213.170	-34%	2%
9	Japonya	1.293.478	1.302.380	970.938	-25%	2%
10	İspanya	1.168.391	1.085.281	864.173	-20%	1%
11	Vietnam	773.730	898.039	848.863	-5%	1%
12	Birleşik Devletler	1.016.611	975.747	785.254	-20%	1%
13	Polonya	695.184	704.515	784.491	11%	1%
14	Hollanda	745.827	749.464	737.088	-2%	1%
15	Fransa	952.498	902.171	724.653	-20%	1%
Toplam		70.369.140	71.195.830	61.496.333	-14%	100%

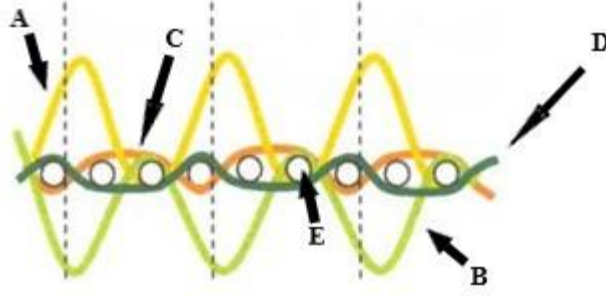
**Çizelge 2.4.** 2021 yılı Ürün bazlı İhracat rakamları (UİB)

<b>GTİP</b>	<b>Ürün Grubu</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2019 – 2020 Değişim %</b>	<b>Pay %</b>
5407	Sentetik filament ipliklerinden dokunmuş mensucat	27.023.634	28.491.215	22.383.623	-21%	36%
6302	Yatak çarşafı, masa örtüleri, tuvalet ve mutfak bezleri	20.755.129	20.136.801	19.003.350	-6%	31%
6304	Diğer Dokumalar	5.292.788	5.239.392	5.147.234	-2%	8%
6303	Perdeler	4.918.673	5.081.451	5.235.526	3%	9%
6301	Battaniyeler	4.889.905	4.969.405	4.343.766	-13%	7%
5801	Dokunmuş kadife, pelüş ve tırtıl mensucat	2.273.352	2.336.451	1.865.273	-20%	3%
5810	Motif halinde işlemeler	1.894.282	1.859.184	1.253.592	-33%	2%
5804	Tüller	1.781.216	1.674.215	1.289.580	-23%	2%
5408	Suni filament ipliklerle dokuma	1.363.108	1.252.176	847.494	-32%	1%
5802	Havlu	131.137	124.228	104.265	-16%	0%
5805	El ile dokunmuş duvar halıları	45.916	31.312	22.630	-28%	0%
	Toplam	70.369.140	71.195.830	61.496.333	-14%	100%

Havlu kumaşı tanım olarak; Suyu kolaylıkla emebilme özelliği olan, ilmek ipliği boyalı veya boyasız pamuk ipliği olan, bir veya iki yüzü ilmekli olarak dokunan/örülen beyaz, boyalı ya da baskılı kumaştır. Havlu kumaşı 3 boyutludur ve 3 ana grup iplikten oluşmaktadır. Bu grupları; hav çözgü, zemin çözgü ve atkı olarak sıralayabilmekteyiz. Her iplik grubundan istenen farklı özellikler bulunmaktadır ve bu özellikler birleştiğinde kaliteli bir havlu meydana gelmektedir. Zemin çözgü ipliğinden istenmekte olan özellik fiziksel konumu gereğince mukavemet değerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca sürtünmeye müsait bir konumda bulunduğu için tüylenme olasılığı mevcuttur, zemin çözgü ipliğinin tüylenme meydana getirmemesi gerekmektedir. Kaliteli bir zemin çözgü kullanıldığı takdirde ürünün yüzey düzgünlüğü de iyi seviyede olacaktır. Piyasada çoğunlukla kullanılan zemin çözgüleri 20/2 Ne veya 10/1 Ne pamuk iplikleridir. Hav çözgü ipliklerinden istenen en önemli özellikler su emebilme kapasitelerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca insana temas eden ilk iplikler de hav iplikleridir bu nedenle hav ipliklerinin tuşesi de son kullanıcı açısından büyük önem arz etmektedir. Piyasada genellikle 10/1 Ne tercih edilirken Ne 20/2 de kullanım açısından önemli bir seçenektir.

Atkı ipliklerinde ise çoğunlukla pamuk ipliği kullanılmasına karşın zaman zaman polyester ve floş gibi iplikler de tercih edilebilmektedir. Piyasada atkı ipliği olarak 16/1 Ne ve 20/1 Ne iplikler tercih edilmektedir. Yukarıda sayılan bu üç iplik grubu havlunun temel konstrüksiyonunu oluştururken ayrıca kaliteli bir havludan; yüksek bir su emicilik kapasitesi, iyi yaş(deniz suyu ve klorlu su da ürün çeşidine göre dahil olmaktadır), iyi bir renk haslığı ve boyanabilirlik, yumuşak tuşe ve yıkanma gibi bakımlarının kolay yapılabilmesi istenmektedir (Demiral 2008).

- Yüz hav çözgüsü A
- Arka hav çözgüsü B
- 1. Zemin çözgüsü C
- 2. Zemin çözgüsü D
- Atkı E



Şekil 2.9. Temel Havlu Üretim Sistemi (Demiral 2008)

### Havluların Genel Sınıflandırılması

Havluların ürünler ağırlıkları, kullanım alanları, gördüğü son işlemler, atkı sistemi, yüzeyindeki bukle durumu ve kullanıl yerlerine göre ayrı ayrı sınıflara ayrılabilirler.

**Çizelge 2.5.** Havluların Sınıflandırılması (Çetin 2017)

<b>Havlu Sınırlandırma Sistemi</b>					
<b>Ağırlığa Göre</b>	<b>Üretim Yöntemine Göre</b>	<b>Son İşlemlerine Göre</b>	<b>Atkı Atım Sistemine Göre</b>	<b>Hav Durumuna Göre</b>	<b>Kullanım Yerine Göre</b>
Çok Ağır Gramajlı (>550g/m <sup>2</sup> )	Dokuma	Nakışlı Havlu	İki Atkılı Havlu Sistemi	Tek Yüzlü Havlu	Banyo Havlusu
Ağır Gramajlı (450-550 g/m <sup>2</sup> )	Atkılı Örme	Aplikeli Havlu	Üç Atkılı Havlu Sistemi	Çift Yüzlü Havlu	Mutfak Havlusu
Orta Gramajlı (350-450 g/m <sup>2</sup> )	Çözümlü Örme	Kadife Havlu	Dört Atkılı Havlu Sistemi		Mutfak Havlusu
Düşük Gramajlı (250-350 g/m <sup>2</sup> )		Baskılı Havlu	Beş Atkılı Havlu Sistemi		El Havlusu
			Altı Atkılı Havlu Sistemi		Yüz Havlusu
			Yedi Atkılı Havlu Sistemi		

### 2.2.1. Havlu Üretimi ve İplik

Havlu üretiminde 3 iplik sistemi kullanılmaktadır. Bu iplikler hav çözgü, zemin çözgü ve atkı ipliğidir. Havlu bünyesinde bordür bölgesi var ise bordür atkı ipliği kullanılmaktadır. İplik seçimi yapılırken havlunun kullanılacağı alana ve bu iplik sistemlerinin özellikleri

ön planda tutulmalıdır. Zemin iplikleri havlu bünyesinde gerilime yoğunlukla maruz kaldığı için mukavemeti yüksek ve esnek yapılı olmalıdır. Endüstride çoğunluk ile bükümü yüksek ve katlanmış iplikler tercih edilmekle birlikte haşıl işlemi iyi yapılmış tek kat iplikler de kullanılabilir. Çoğunlukla zemin ipliklerinde karde iplik kullanılırken, maliyet anlamında yarattığı avantaj dolayısıyla open-end iplikler de kullanılabilir. En yoğun kullanılan pamuk ipliği Ne 20/2 ve Ne 24/2 numaralarında ve 500 tur/metre büküme sahip ipliklerdir.

Hav iplikleri üründe kullanıcı ile en çok temas eden bölgedir ve havlunun karakterini önemli ölçüde belirlemektedir. Bu nedenle hav ipliği olarak kullanılan ipliğin kalite özellikleri iyi olmakla beraber tuşe anlamında da büyük önem arz etmektedir. Havlunun bukle- kadife olacağı, ağırlığı, g/m<sup>2</sup> değerinin ne olacağını önemli ölçüde hav iplikleri belirlemektedir. Hav iplikleri pamuk ipliği seçilmekle birlikte havların daha rijit olması isteniyorsa katlı iplik, daha serbest havlara sahip bir ürün isteniyorsa da tek katlı iplik tercih edilmektedir. Hav ipliklerinde ortalama olarak 200-250 tur/metre olmaktadır. Bu durumun getirdiği avantajlar daha iyi bir tuşe ve hidrofilite olurken mukavemet anlamında olumsuzluk meydana getirmektedir. Penye ipliği kullanılması en kaliteli sonucu vermekte ve piyasada genellikle 24/2, 20/2, 16/2 ve 12/1 pamuk ipliği kullanılmaktadır. Hav ipliğinde kullanılan spesifik bir yöntem ise no-twist veya zero-twist yöntemidir. Bu yöntemin mantığı düşük bükümlü ipliklerin PVA(polivinilalkol) ile işlem görüp üst yüzeyinin kaplanması ile dokuma işleminin minimum sorun ile yapılmasına dayanmaktadır. Dokuması yapılan iplik üzerinden PVA uzaklaştırılmakta ve havlu dokuma işlemleri yapılmaktadır. Çok düşük bükümlü ve çok iyi tuşeli havlular elde edilmektedir.

Atkı ipliklerinden istenen en önemli özelliklerden biri dokuma işlemi esnasında randımanı düşürmemesidir. Final üründe istenen gramaj gibi özellikler göz önünde bulundurularak atkı ipliği seçimi yapılmaktadır. Havlu üretimi esnasında yoğunlukla kullanılan iplikler pamuklu olup, 20/1 Ne, 16/1 Ne numaralarında ve 250 tur/metre büküme sahip ipliklerdir (Koçak 2015).

Havlular çok büyük oranda dokuma yöntemi ile üretilmektedir. Jakarlı desenlendirme yöntemlerinin çoğunlukla kullanıldığı havlu üretiminde, ürün açısından en önemli özellikler hav yüksekliği, hav sıklığı gibi sıralanabilmektedir. Havların mukavemetli olması; örgülendirme yöntemine, dokumanın sıklığına, havların seçildiği ipliklere bağlı olurken, havın yüksekliği ise ; atkı sıklığı ve atkı sayısına, seçilen ipliğin numarası ve özelliklerine bağlıdır. Havlunun ana işlevi olan hidrofilitesine etki eden faktörler; havların sıklığı ve yüksekliği, dokunun yüzey alan genişliğine, atkı sıklığına ve seçilen ipliklerin kalite parametrelerine bağlıdır. Havlu gramajını belirleyen doğrudan kullanılan ipliklerin iplik numaraları, dokuma esnasında çalışılan sıklıklar ve hav ipliklerinin uzunluğu ile bağlantılıdır.

Dokumada hav oluşturmak, standart dokumadan ayrılmakta ve özel yöntemler gerektirmektedir. Zemin çözümleri ve hav çözümleri olmak üzere iki farklı grup çözgü ile işlem yapılmaktadır. Bu iki farklı çözgü ipliği için farklı leventler kullanılmaktadır. Aynı çözgü levendinde kullanılmamasının temel sebebi dokuma esnasında kullanılan hav çözgü miktarının zemin çözgü miktarından fazla olmasıdır. Tarak taharlarından da zemin ve hav olmak üzere iki çözgü teli tarak dışından geçirilmektedir.

Havlu örgüsü olarak kullanılan en yaygın 2 teknik üç atkılı ve dört atkılı yöntemlerdir. Üç atkılı sistemde tarak, kısa tefe vuruşu yapar ve birinci, ikinci atkıyı kumaş çizgisine kadar taşımaz. Atkıların kumaş çizgisine mesafesi 2 hav boyu kadardır. Bu işlem sürerken zemin çözümler ve hav çözümler gergin durumdadır. Üçüncü atkı atılarak, hav çözümleri serbest hale bırakılır. Uzun bir tefe vuruşu yapılır ve üç atkı birbirine sıkıştırılır. Hav iplikleri gerginliğini kaybedip daha öne gelir ve ilmek oluşur. Bir diğer teknik olan dört atkılı sistemde ise örgü oluştururken ilk atılan 3 atkı ipliğine kısa tefe vuruşu, dördüncü atkı atıldıktan sonra hav ipliklerinin gerginliğinin azaltılması ile de uzun tefe vuruşu yapmaktadır. Havlu dokuma makinesi olarak jakarlı ve armürlü dokuma tezgâhları kullanılmaktadır. Dokuma teknikleri gereğince armürlü tezgâhlarda daha düz ve sade havlular üretilebilirken, jakarlı tezgâhlarda desenli havlu üretimi yapılmaktadır. Desenler sadece havlu yüzeyde olmayıp, bordür denilen havlu kenarlarında da olabilmektedir. Jakarlı tezgâhlarda özellikle dikkat edilmesi gereken, kaliteyi etkileyen husus ise tezgâhların gerginliğinin yüksek olması sebebi ile ipliklerin mukavemetinin özellikle yüksek seçilmesi gerekmektedir (Koçak 2015).

## Havluların Su Absorblama Özellikleri

Havluların su absorblama kapasitelerini etkileyen faktörler iplik tipi, ipliğin bükümü, hav yüksekliği, atkı ve çözgü sıklığına bağlıdır. Farklı doğal lifler içerisinde emiciliğinin ve tuşe özelliklerinin yüksek olması sebebiyle havlu yapımında pamuk lifi yoğunlukla kullanılmaktadır. Pamuk dışında havlu bünyesinde kendine kullanım olanağı bulan diğer lifler keten, modal, bambu, lyocell olarak sayılabilmektedir. Tekstil ürünlerinin ıslanma olayı, daldırma, kılcallık, yapışma ve yayılma gibi birçok olay ile bağlantılıdır. Daldırma ya da kılcal emilim olduğunda katı/buhar ara yüz kaybolur ve sıvı ara yüz oluşur. Bir damla su bir kumaş üzerine geldiğinde kılcal bir hareket ile yayılacaktır. Hav yüksekliği ve sıklık arttığında emilen su miktarı da artmaktadır. Havlularda su emebilme etkisi open-end ipliklerde daha düşük iken, 2 katlı ring iplik için yüksektir. Bunun sebebi ise open-end ipliklerin bükümünün daha yüksek olması ve kompakt yapısı nedeniyledir. Cruza ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada bukle yapmada kullanılan tek katlı iplikler, çift katlı iplikler ve bükümsüz ipliklerin su emebilme kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Hav bukleleri bükümsüz olarak tercih edilen havluların daha yüksek kapasite ile su emebildiği görülmüştür. Bunun sebebi de bükümsüz ipliklerin kumaş daha hacimli ve açık yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Su emebilme özelliğinin bağlı olduğu etmenler çalışma sonunda kumaş ağırlığı, kalınlığı ve hav iplik cinsi olduğu belirlenmiştir (Cruz 2017).



Gramaj (g/m <sup>2</sup> )	Sıklık (Atkı/cm)	Sıklık (Çözü/cm) (Hav+Zemin)	Kopma Yükü Atkı(N)	Kopma Yükü Çözü(N)	Hav Boy (mm)	Zemin (Ne)	Hav (Ne)	Atkı (Ne)
510	19,7	22,9	48	31,8	7	24/2	24/2	24/2
470	20	22	41	48	6,5	20/2	20/2	20/1
517	19	22,4	35	40	6	20/2	20/2	20/1
405	20,5	22,9	50	31,8	6	24/2	14/1	24/2
408	17,2	30,7	36	54,8	6	14/1	14/1	14/1
450	18,5	22,5	35	38	5,2	20/2	20/1	20/1
711	15,4	34,3	36,3	29,5	5	24/2	24/2	24/2
385	11,1	32,9	36	29,5	5	24/2	24/2	24/2
450	17	22	60	42	4,8	20/2	20/2	12/1
385	16,5	26,4	50	38,5	3,85	24/2	16/1	20/2
400	19,5	24	39	45	4	20/2	20/2	20/2
375	18,1	20,5	45	31,8	4	20/2	20/2	12/1
310	16,5	18	48	30	4	20/2	20/2	20/2
282	16,2	15,4	50	29,5	4	20/2	20/2	12/1
272	15,8	20,5	32	29,5	4	20/2	20/2	20/2
295	18,9	20,5	54	31,8	4	24/2	24/2	20/2
240	16	18	50	29	2,5	12/1	20/2	12/1
180	13	18,6	35	29	2	12/1	24/2	12/1

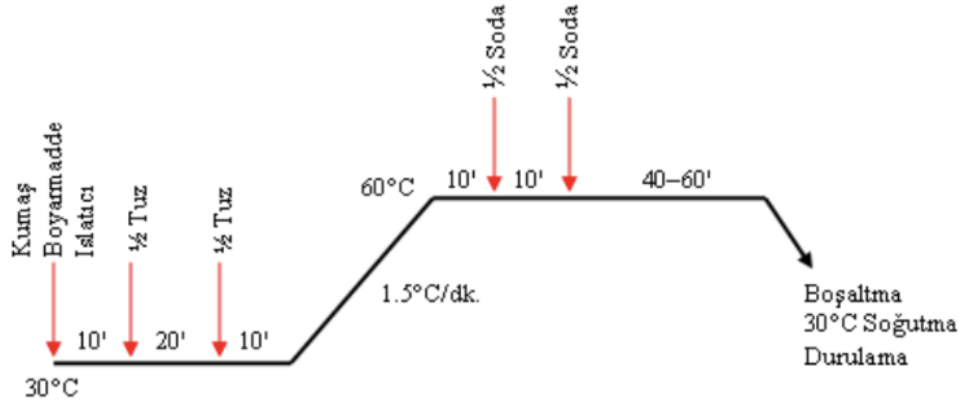
**Çizelge 2.6.** Ortalama Olarak g/m<sup>2</sup> Havlu Kumaş Üretim Parametreleri (Koçak 2015)

### **Havlu Kumaşlarda Boyama**

Havlu kumaşların boyanması ürünün içeriğine göre farklılık göstermektedir. Havlu kumaşı genellikle %100 pamuklu olduğu için over flow çektirme yöntemi ile boyama yapılırken içeriğinde polyester olan karışım havlu kumaşlar için emdirme fulard yöntemi de kullanılabilir. Yöntemler genel hatlarıyla çektirme için boyarmadde ve

yardımcı kimyasallar ile uzun süre muamele edilerek boyama yöntemi iken, emdirme ise daha kısa flotte oranı ile boyama banyosundan geçirilerek sıkma temeline dayanmaktadır. Çektirme yönteminde boyanma performansı boyama koşulları flotte oranı, boyarmadde difüzyonuna göre değişiklik göstermektedir. Çektirme yönteminde işlem hızı düşük ama süreç kontrol edilebilirdir, bununla birlikte enerji sarfıyatı, atık yan maddeler yüksektir. Havlu ürünleri çok yüksek oranda tamamen pamuklu üründen imal edildiği için reaktif boyama ile işlem görürler. Reaktif boyarmaddeler, havlu içerisindeki pamuk liflerinin makro molekülleri ile reaksiyona girer ve pamuk lifleri ile kovalent bağ yapmaktadırlar. Reaktif boyarmaddeler, reaktiflik seviyesine göre soğukta veya sıcakta boyama işlemi gerçekleştirilebilir. Reaktif boyarmadde bünyesinde boyanan selüloz lifleri boyama banyosu içeriği ve istenilen son ürünün özelliklerine göre farklı sıcaklıklarda boyanabilmektedir. Boyama prosesi esnasında banyonun 8-12 pH arasında olması işlemin başarısı için büyük önem arz etmektedir. pH'ı istenen seviyeye getirebilmek için soda, sodyum karbonat, sodyum hidroksit tercih edilmektedir. Boyama prosesinde kullanılan yardımcı maddeler işlemin başarısını büyük oranda etkilemektedir. Kullanılan suyun yumuşak olması istenmektedir. Tuzun varlığı boyarmaddenin kumaşa yönlendirilmesine katkıda bulunur. Soda selüloz ile boyarmadde arasında kovalent bağ oluşumunu sağlar. Islatıcı ise boya verimliliğini arttırmaktadır. Sıcaklık olarak reaktif boyama işlemi için genellikle 50-60 °C uygun olmaktadır, fakat reaktivite seviyesi düşük boyarmaddelerde daha yüksek 80 °C gibi sıcaklıklarda da işlem yapılabilir.

Boyama işlemi tamamen başarılı yapılsa bile, boyanan ürün üzerinde fikse olmamış boyarmaddeler bulunmaktadır. Bu aşamada ürünün haslık dereceleri düşüktür ve istenmeyen fazla boyarmaddeleri kumaş bünyesinden uzaklaştırmak gereklidir. Bu işlem sırasında ürüne ve boyarmaddeye zarar vermemek büyük önem arz etmektedir. Yüksek sıcaklık varlığında, düşük konsantrasyonda elektrolit ile yıkama yapılması fikse edilmemiş boyarmaddeleri uzaklaştırmak için kullanılan iyi bir yöntemdir. Üzerinde sadece fikse edilmiş boyarmaddeler olan havlu kumaşı fiziksel işlem ile Biancalani markasına ait makinelerde fiziksel etkiye maruz bırakılarak çırılma işlemi görür ve sonrasında en-boy fiksesi için ramözden geçirilir. Başarı ile boyanmış havlu kumaşı kalite kontrol ve sonrasında dikim işlemine gönderilmektedir (Çetin 2017).



**Reaktif boyar maddeler ile sıcakta (60 °C) boyama grafiği**

**Şekil 2.10.** Reaktif Boyama Reçete Örneği (Çetin 2017)

Havlü kumaşın görsel ve fonksiyonel özelliklerine katkı sağlaması amacıyla diğer apre işlemleri uygulanabilmektedir. Uygulanan apre işlemleri ile ürün yüksek hidrofilite, iyi tuşe ve daha yüksek haslıklar kazanabilmektedir. Kimyasal ve fiziksel olarak ayrı ayrı uygulanabilen apre işlemleri ürünün kalite ve satılabilirlik özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Havlunun kaliteli bir ürüne dönüşmesindeki işlem aşamalarından bir diğeri ise konfeksiyon işlemleridir. Apre işlemleri ardından top haldeki havlû sırası ile boy kesim, boy dikim, en kesim ve en dikim işlemleri görmektedir. İlk aşamada kanatlar halinde yani yanana dikilmiş halde bulunan havlular makine yardımı ile boyuna doğru kesilir ve birbirinden ayrılır ve sonraki boy dikim makinesinde boy yönlerinde kenarlar içe doğru katlanarak dikim işlemi yapılmaktadır. Sonrasında sıralı halde bulunan havlular enleri kesildikten sonra en tarafındaki kenarları içe doğru katlanarak dikilmektedir. Havlû dışında bornoz üretimi de benzer konfeksiyon aşamalarından geçmektedir. Pastala serilen bornoz kumaşları serimin ardından kesim, dikim ve paketleme işlemlerine gitmektedir. Dikiş adımları, dikiş sıklığı ve dikiş yöntemi ürünün maliyet, kullanım alanı ve kalite ihtiyacı gibi kıstaslara göre şekillenebilmektedir (Koçak 2015).

### 2.3. Geri Dönüşüm

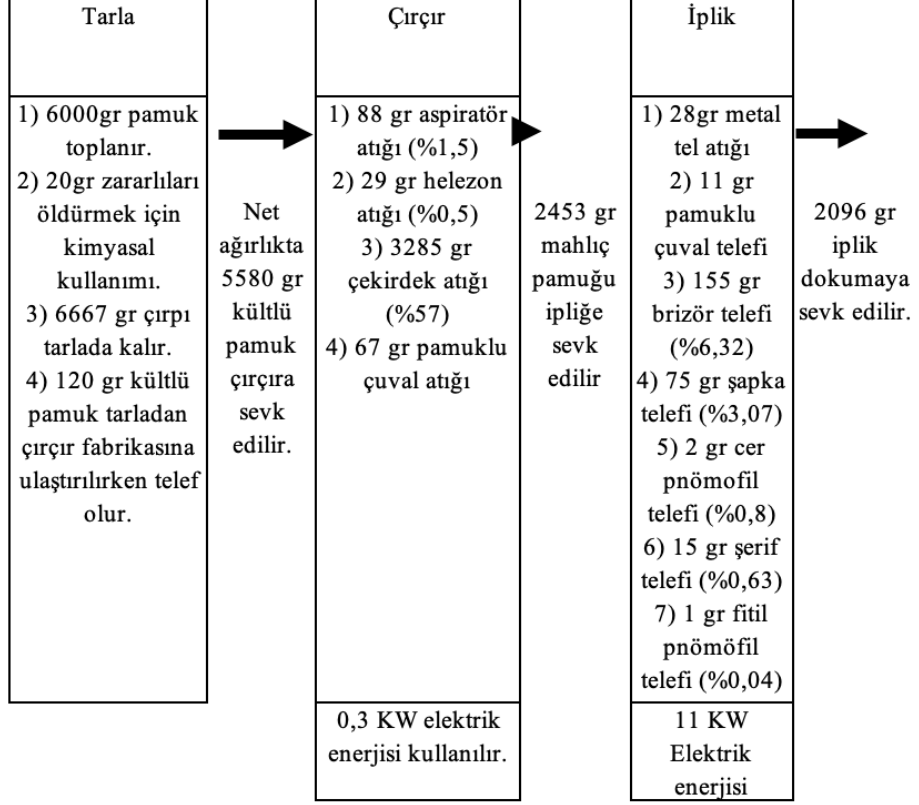
Nüfusun hızla çoğalması, tüketim alışkanlıklarının değişip hızlanması ve endüstrinin bu ihtiyaçlara cevap verebilmesi doğal kaynakların geriye döndürülemez şekilde tüketilmesine sebep olmaktadır. Üretim ve tüketimde her anlamda sürdürülebilir olmak zor fakat çok önemlidir. Bu konu için endüstrinin her iki tarafı olan üreticilerin de tüketicilerin de bilinç sahibi olması çok önemli olup sürekli olarak küresel farkındalık artırılmalıdır. Daha sürdürülebilir bir tüketim kültürü ve gelecek nesillerinde aynı şartlara sahip olabilmeleri için birçok ünlü marka ve kuruluş çalışmalar yapmaktadır. Temel anlamda tüketim kültürünün değişimi, kullanılan ürünlerin daha uzun kullanım ömrüne sahip olması, ürünlerin kullanılabilir durumda ise yeniden satılarak değerlendirilmesi, daha doğal ve zararsız materyaller ve metotlar ile üretim yapılması, ömrü biten ve eskiyen ürünlerin çeşitli metotlar ile geri dönüştürülerek tekrar tüketim döngüsüne kazandırılmasına dayanmaktadır (Güngör ve ark. 2009).

Pamuk lifi doğal lif olduğu için son derece sürdürülebilir olduğu düşünülebilir. Fakat %100 pamuktan üretilmiş bir bornozun Yaşam Döndü Değerlendirmesi detaylı olarak yapıldığında durumun ciddiyeti daha da net anlaşılmaktadır. Örnek olarak 450 g/m<sup>2</sup> ağırlığında bir bornoz düşünüldüğünde başlangıç aşamasından bitmiş ürün elde edinceye kadar geçen süreçte pek çok farklı adımda, fire verilmekte, enerji sarf edilmekte, kimyasallar kullanılarak çevresel zarara sebebiyet verilmektedir. 1,500 g ağılığa sahip bir bornozu elde ederken öncelikle; 6000 g pamuk tarladan toplanır. Ürünün yetiştirilmesi için su, kimyasallar, yakıt kullanılır. Pamuğun toplanmasından sonra çırçır işlemine götürülürken ortalama 120 g pamuk telef olmaktadır. Çırçır işlemi ile enerji harcanırken, işlemin telefi ve atıklar ile 3427 g daha pamuk ayrılmış ve sonraki iplik eldesi için 2453 g sevk edilebilmiştir. Çırçırdaki telefin büyük çoğunluğunu çekirdek atıkları oluşturmaktadır. İplik eldesi aşamasında brizör, şapka, şerit, cer, fitil aşamalarında telef haline gelen pamuk ipliği dokuma dairesine 2096 g olarak sevk edilebilmektedir. Dokuma sırasındaki atık ve teleflerden sonra terbiye dairesine giden dokunmuş kumaş 1972 g'dır. Ön terbiye işlemleri sırasında pamuk bünyesindeki yağ, vaks ve yabancı maddeler uzaklaştırılmaktadır. Bu da pamukta ağırlık kaybına neden olur. Ayrıca aynı işlem adımlarında su, sodyum hidoksit, peroksit, asetik asit, tuz, soda, boya ve yardımcı

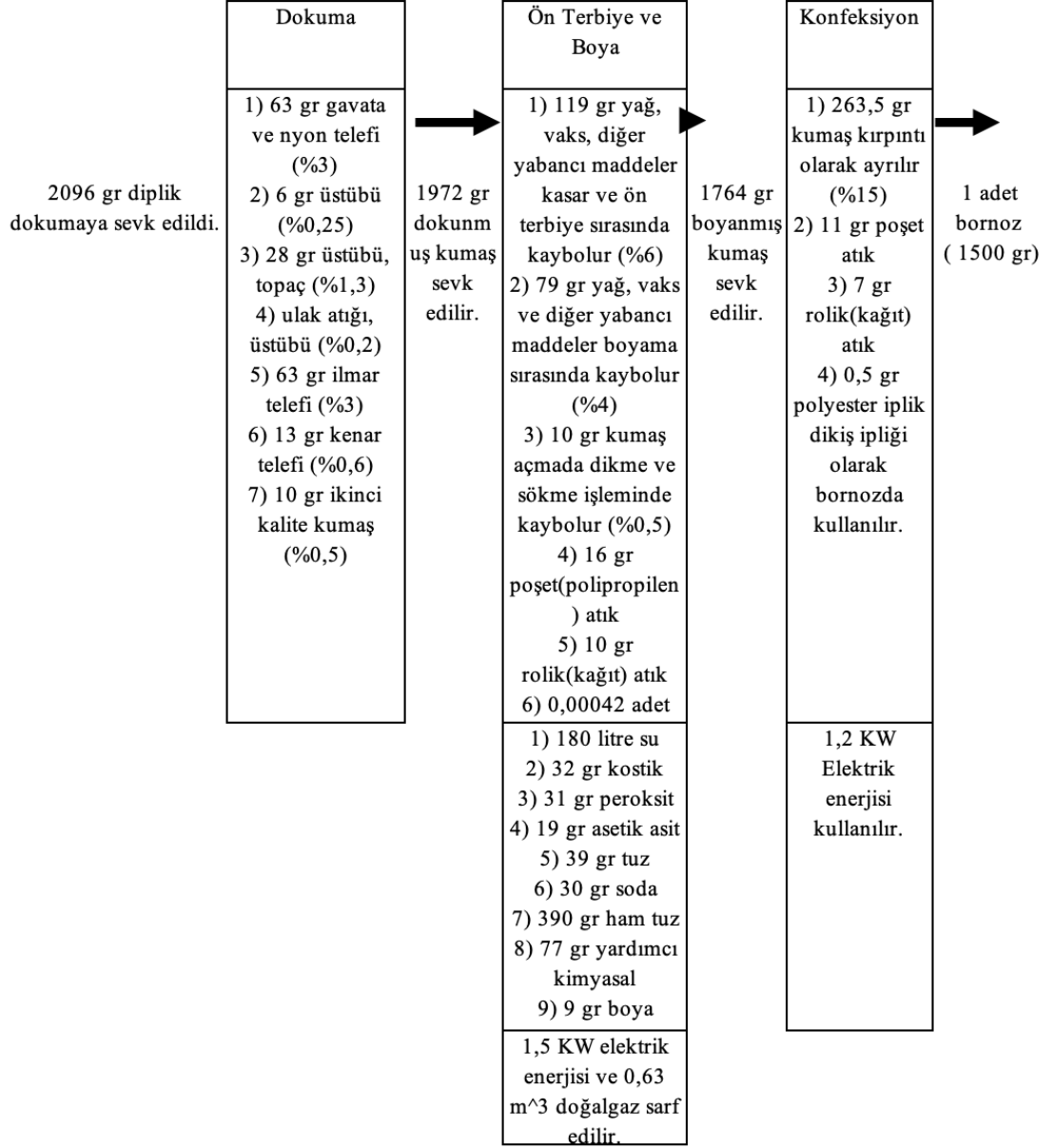
kimyasallar. Boya işlemi sonrasında 208 g pamuk kaybedilirken sonrasındaki işlem olan konfeksiyona 1764 g boyalı kumaş sevk edilir. Konfeksiyondaki en büyük telef sebebi kırpıntılarken ayrılan kumaşlar sonrasında 1500 g ağırlığında 1 adet bornoz üretilmiş olmaktadır.

Bu döngü sonucunda doğal elyaf olan pamuğun ürün haline gelirken çevresel anlamda yarattığı olumsuzluklar görülmektedir. 1,5 kg ağırlığındaki tek bir bornozu üretebilmek için bile 150 litre su ve çok miktarda kimyasal kullanılması gerekmektedir. Bu sürecin yarattığı ve yaratacağı tahribatı en aza indirmek için; tüketici birlikleri, gönüllü kuruluşlar, yerel yönetimlerin teşvikleri ile doğal hayata daha az zarar veren hammaddeler, üretim teknikleri ve makine parkurları tercih edilmelidir. Tüketicinin artık kullanmadığı veya artık ömrünü tamamlanmış tekstil ürünlerinin ayrı olarak toplanması, ayrıştırılması sağlanmalı. Ürünler daha üretim hatlarında iken gerekli atık kontrolü ve ayrışma proseslerinin uygulanması (Güngör ve ark. 2009).

**Çizelge 2.7.** Ortalama 1,5 kg ağırlığa sahip 1 adet bornoz üretimi için iplik üretim aşamasına kadar olan potansiyel atık oluşumu ve enerji sarfiyatı tablosu (Güngör ve ark.2009)



**Çizelge 2.8.** Ortalama 1,5 kg ağırlığa sahip 1 adet bornoz üretimi için dokuma aşamasından sevkiyata kadar olan potansiyel atık oluşumu ve enerji sarfiyatı tablosu (Güngör ve ark. 2009)



MADE-BY tarafından açıklanan liste ışığında bakıldığında hammaddelerin sürdürülebilirlik sınıflarına göre üretim yapmak, ürünlerin yaşam döngüsü açısından ciddi önem arz etmektedir. Sınıflar örnek olarak;

**Çizelge 2.9. MADE-BY Sınıflandırma Tablosu (Eser ve ark. 2016)**

<b>Sınıf</b>	<b>İçeriğinde Bulunan Lifler</b>
A Sınıfı	Mekanik Olarak Geri Dönüştürülmüş Naylon
	Mekanik Olarak Geri Dönüştürülmüş Polyester
	Organik Keten
	Organik Kenevir
	Geride Dönüştürülmüş Pamuk
	Geride Dönüştürülmüş Yün
B Sınıfı	Kimyasal Olarak Geri Dönüştürülmüş Naylon
	Kimyasal Olarak Geri Dönüştürülmüş Polyester
	CRAILARO Keten
	Monocell
	Organik Pamuk
	Yün
C Sınıfı	Konvansiyonel Keten
	Konvansiyonel Kenevir
	Organik Keten
D Sınıfı	Modal
	Poliakrilik
	Polyester
E Sınıfı	Bambu
	Konvansiyonel Pamuk
	Viskon
	Rayon
	Spandex(Elastan)
	Naylon
	Yün
Sınıflandırılmamış	Asetat
	Alpaka Yünü
	Kaşmir Yünü
	Deri
	Moher Yünü
	Doğal Bambu
	Organik Yün
	İpek



Nüfusun artmasına paralel olarak başta pamuk lifi olmak üzere tüketim her geçen sene artarak devam etmektedir. 2021 – 2022 pamuk üretimi sezonu için dünya çapında üretilen pamuk lifi miktarının 26,2 milyon ton, tüketilecek pamuk miktarının ise 26,9 milyon ton olacağı ön görülmektedir. Üretim anlamında Çin ve Hindistan stoklarının geçen sezona göre azalmaya gideceği ön görülmekte fakat yine de dünya stoklarının %56'sını yine bu ülkelerin oluşturulacağı düşünülmektedir. Üretim anlamında ise özellikle Avustralya'nın son 5 yılın en yüksek üretim seviyesine yükseleceği düşünülmektedir. Türkiye özelinde ise 2020 yılında 1,77 milyon ton kütlü pamuk üretilmiş olup bu miktar 2022 senesinde 2,25 milyon ton seviyelerine gelmiştir. ( Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü)

Tekstil ürünlerinin üretimi hiç şüphesiz ki çevresel anlamda son derece zararlı süreçler barındırmaktadır. Üretim süresince yüksek miktarlarda su, toprak, petrol kaynakları kullanılmakta ve büyük miktarlarda karbon dioksit gazı açığa çıkmaktadır. Ortalama tüketim anlamındaki yoğunluk yıllık olarak Avrupa ve Amerika'da 10 milyon ton, Çin'de ise 20 milyon ton üzerindedir. Bu yoğun tüketim sonrasında tüketilen ürünler atık haline gelmekte ve çöplükleri doldurmaktadırlar. Bunun en soyut örneklerinden biri olarak Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı'nın açıkladığı, tekstil atıklarının çöplük olarak kullanılan alanların %5'ini kapladığı ve bu atıkların sadece %15'inin geri dönüştürülebildiğidir. Bu noktada hedeflenmesi gereken kalan %85'in de yaşam döngüsüne kazandırılabilmesidir. Bu geri dönüştürülme konusunda ise malzemeler tüketici sonrası atıklar ve tüketici öncesi atıklar olarak ikiye ayrılabilir. Tüm bu geri dönüşüm ve yeniden kazanım stratejileri 3R ile yani, azaltma(Reduce), yeniden kullanma(Reuse) ve geri dönüşüm(Recycle) kavramlarını kapsamaktadır (Eser ve ark. 2016).

Şu an tekstil sektöründe çok büyük yoğunluk ile kullanılan sentetik polimerlerin üretimi ve tüketim sonrası ile ilgili sürdürülebilirlik anlamında büyük eksikliklerin olduğu aşikârdır. Sürdürülebilir bir tekstil döngüsü için ise bu polimerlerin yerini alacak biyolojik anlamda parçalanabilir biyo polimerlerin kullanılması büyük ölçüde önem taşımakta ve konuya olan ilgi de her geçen gün artmaktadır. Selüloz temelli ürünler düşünüldüğünde

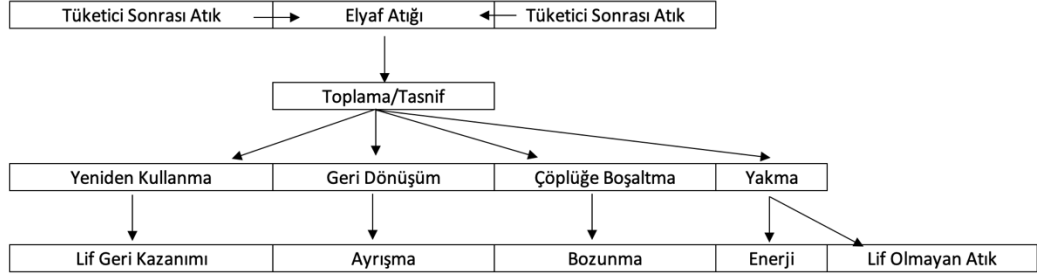
ise pamuk ya da selüloz hamuru atıklarının geri dönüştürüldüğü lifler git gide yaygınlaşmaktadır.

Geri dönüşüm anlamındaki geliştirilmesi gereken en önemli konulardan biri de karışım liflerin verimli şekilde dönüştürülüp tekrardan katma değerli ürünler haline getirilmesidir. Konu ile ilgili Haslinger ve arkadaşlarının laboratuvar ortamında yaptığı çalışmada süper baz iyonik sıvı ile pes-pamuk karışımının selüloz bileşenini çözüp ileri dönüşüm yapmayı başarmışlardır. İşlemin sonrasında PET ile ayrılmış selüloz çözeltisi, rejenere selüloz üretimi için ıslar eğirme işlemine tabi tutulmuştur (Subramanian ve ark. 2022).

AB tarafından finanse edilen ‘‘Tekstiller için Tekstil’’ projesinde tekstil atıklarının yüksek doğruluk oranında ayıklanması üzerinedir. En iyi seçenek sadece lif tiplerine göre değil eğer harman lifler ise içeriğindeki lif miktarlarına göre ayırım yapmaktır. Yapılan çalışmalarda bu ayrılmayı geliştirmek için Norup ve arkadaşları 2018 yılında evsel atıkların sınıflandırıp ayrılabilmesi için kalite, ürün cinsi, üretim sistemleri, harman var ise oranlarını içerek toplamda 17 kriterden oluşan bir sistem ortaya koymuşlardır. Son yapılan çalışmalar ise atıkların geri dönüşüm sonucunun katma değerli ürün veya yenilenebilir enerji kullanılması üzerinedir (Yousef 2020).

Polyester ve pamuk lifi karışımları en çok kullanılan karışım liflerdendir. Aynı zamanda bünyesinde her iki lifin de özelliklerinin harmanlandığı bir ürün olup çok kullanışlı fiziksel, kimyasal özellikler barındırır. Fakat bu farklı kimyasal yapıya iki lifin birlikteliği geri dönüşüm imkânlarını da benzer liflerin ayrışmasına göre zorlaştırmaktadır (Liu 2022).

**Çizelge 2.10.** Tekstil atıklarının geri dönüşüm potansiyelleri (Eser ve ark. 2016)



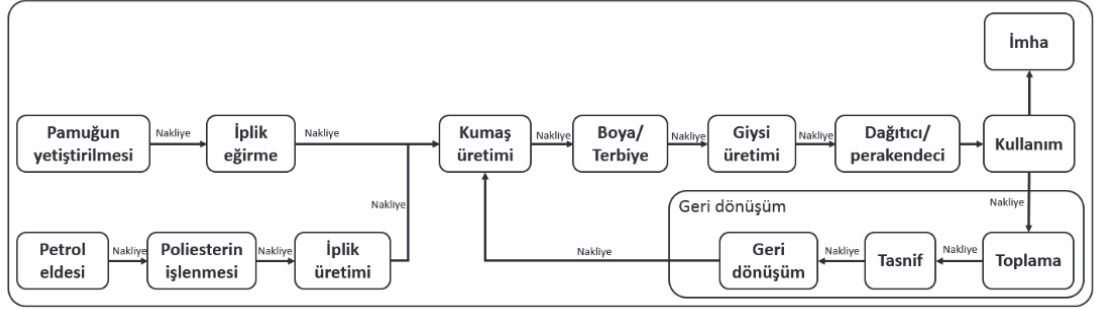
Tekstil sektörü üretim aşamaları ve kullanılan hammaddeleri, üretilen ürünlerin hızlıca tüketilip atılması gibi sebepler ile büyük sorun teşkil etmekte ve geri dönüşüm, ileri dönüşüm alternatifleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte son zamanlarda üzerinde daha çok düşünülen yeni nesil yöntemlerden biri üretim ve geri dönüşüm aşamalarında biyo bazlı süreçlerin tercih edilmesidir. Tüm sürecin daha sürdürülebilir bir şekilde gerçekleşebilmesi için biyo temelli bu yeni nesil sistem çok daha işlevseldir. Kaynakların verimli kullanılması hakkında gereken motivasyon kaynağının, yapılan araştırmaların sonuçlarında gizli olduğunu net bir şekilde görebilmekteyiz. Örneğin Textile Recycling Association araştırmasına göre Avrupa kıtasında üretilen 180.000 ton tekstil ürünleri atığının, geri dönüştürülmek amacıyla toplanılma oranı %15 ila %20 arasındayken toplanan miktarın %1'inden az bir miktarı yeni bir giyisi olarak bu dönüşümün bir parçası oldu. Boston Consulting Group ve Global Fashion Agenda'ya göre ise dünya çapındaki tekstil ürünü tüketimi 2030 senesine kadar %63 oranında artış eğilimi gösterecektir (Ribul ve ark. 2021).

### 2.3.1. Tekstil Ürün ve Atıklarının Geri Dönüşüm Yöntemleri

Tekstilde geri dönüşüm işlemleri ağırlıklı olarak termoplastik özelliğe sahip polimer esaslı liflerde yapılmaktadır. Bu durumun temelinde yatan neden, termoplastik özellikteki liflerin geri dönüşümde işlenmesi ve işlemler sonrasında istenilen forma sokulmalarının

kolay olmasıdır. Ancak yün gibi pamuk gibi doğal lifler de geri dönüşüm işlemleri içinde kendine yer bulmak durumundadır (Eser ve ark. 2016).

**Çizelge 2.11.** Tekstil sektöründe kapalı çevrim üretim ve tedarik zinciri (Eser ve ark. 2016)



### **Sentetik Lifler**

Bu işlemin temel mantığı pet şişelerin geri dönüşümü ile aynıdır. Polyester temelli tekstil mamulleri parçalanır, yüzey alanları azaltılır. Parçalanmış ürünler granül adı verilen küçük parçacıklar haline getirilir ve bunlara da polyester cipsleri adı verilir. Üretilen cipsler eriyik hale getirilir ve filament halde lif olarak çekilir, üretim gerçekleşir.

### **Kimyasal Dönüşüm**

Maddelerin kalitesini kaybetmemesinin altında yatan, dönüştürülecek maddenin kimyasal olarak geri dönüştürülüp polimerizasyonu ile mümkün olmaktadır. PET'lerin geri dönüşümü genel olarak ayrılma, indirgeme teknikleri ile tanımlanabilir ve çeşitli yöntemler mevcuttur. Glikoliz ile ayrılma süreci oligomer seviyesine kadar devam ederken, monomer seviyesine kadar ayrılmayı sağlayan teknikleri aminoliz, amonoliz, metanoliz, hidroliz olarak sıralayabiliriz. Oligomer seviyesine PET'lerin glikolizlerinin parçalanması ile depolimerize hale gelmesi ile ulaşılır. Diğer yöntemlerin çalışma prensipleri ise, metanolizde PET dimetilteraftalat ve etilenglikol'e kadar depolimerize edilir. Amonoliz tekniğinde elde edilen ürün teraftalikasit diaminleri iken, aminoliz tekniğinde etilenglikoldür. Hidroliz tekniği kullanıldığında depolimerizasyon sonucu ortaya çıkan ürünler teraftalikasit ve etilen glikoldür (Telli ve ark. 2012).

### **Fiziksel, Maddesel Dönüşüm**

Fiziksel olarak dönüştürülen maddeler genel anlamda ilk hallerinden daha niteliksizdir. Fiziksel anlamda yapılan geri dönüşüm tam mekanik ve yarı mekanik olarak ayrılabilir. Dönüşüm pet talaşları üzerinden yapılmaktadır. Tam mekanik yöntem ile talaş ile lif eldesi yapılırken, yarı mekanik yöntemde ise talaşlar daha küçük hale getirilip cips haline getirilmektedir. Ardından da cipten lif çekim işlemi yapılmaktadır. Her iki yöntemin de geri dönüşüm verimleri yüksektir. Tam mekanik yöntemin verimliliği %99 iken, yarı mekanik yöntem ortalama %94 verim ile çalışmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucu mekanik yöntemler ile geri dönüştürülmüş liflerin kimyasal yöntemlere göre daha düşük çevre yükü barındırdığını göstermiştir. Negatif özellikleri ise kimyasal yöntem ile yapılan geri dönüşüm ürünlerinin daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasıdır. Geri dönüşüm sonrası elde edilen ürünün temizliği, geri dönüştürülen ürünün temizliği ile ilişkilidir. Elyaf kalitesini yükseltmek için ürünün geri dönüşüm öncesi ayrılma, temizlenme işlemleri önem arz etmektedir (Telli ve ark. 2012).

### **Doğal Liflerin Geri Dönüşümü**

Tekstil lifleri kullanım öncesinde ya da kullanım sonrasında olsa da geri dönüşüm işlemleri için parçalanması ve ayrılması gerekmektedir. Parçalama işleminin amacı yığınlardaki kullanıma en uygun liflerin elde edilmesidir. Doğal lifler sonraki kullanım amaçlarına göre temizleme, karıştırma, taraklama gibi işlemlere tabii tutulmaktadır. Elde edilen ürünler yeniden lif olarak kullanılabilir gibi ayrıca ara mamul, yalıtım malzemesi olarak da kullanılabilir.

Selüloz esaslı ürünlerin kuru hal ağırlıklarının %85-95'i selülozdan oluşur. Bu özellikleri de onların biyoyakıt olarak kullanılabilmesine imkân sunmaktadır (Eser ve ark. 2016).

Doğal lifleri ayrıştırabilmek açısından asit ön işlemi kullanılmaktadır. Selüloz lif yapısı organik asitler, inorganik ya da mineral asitler yardımı ile ayrıştırılabilir. Selüloz yapısındaki polimer bağları hidroliz ederek bu ayrışma etkisi yaratılmaktadır. Ayrıca amorf bölge ayrışırken kristalin bölgeye de ayrıştırıcı enzimler etki etmektedir. Konu üzerinde Subramanian ve arkadaşlarının yaptığı çalışma kapsamında seyreltik mineral asitler ile boyalı durumdaki %100 pamuk, %100 pes ve pes pamuk karışım %60 pamuk - %40 pes) kumaşlarını çözerek ayırmaya çalışmışlar ve %0,5 sülfürik asit varlığında 30

dakika 121 °C’de işleme tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda görülmüştür ki %100 pamuğun tamamı hidroliz sonrası çözünmüş, %100 polyesterde ise ağırlık kaybı görülmemiştir. Karışım kumaşta ise polyesterin %15 kadarı çözültide kalmış ve sonradan tekrardan ayrıştırılması gerekmiştir (Subramanian ve ark. 2022).

Geri dönüşüm mantığında işlemler kapalı ve açık döngü olarak ikiye ayrılabilir. Kapalı döngü prensibi geri dönüştürülen PET talaşlarının tekrardan PET şişe elde edilmesinde kullanılmasıdır. Açık döngüde ise PET talaşlarının tekstil, inşaat gibi farklı sektörlerde döngüye girmesidir. Ancak yapılan son çalışmalar sonucu PET şişe talaşlarının tekrardan geri dönüştürülüp, PET şişe haline getirilmesinin istenilen saflık seviyesinden uzak olması sebebi ile sorunlar barındıran bir süreç olarak görülmektedir. Şu an için kapalı döngü geri dönüşümdeki bu sorunlar sebebi ile üretilen PET polimerlerinin %60 kadarı tekstil sektöründe değerlendirilmektedir. Tekstil sektöründe kullanılan bu talaşlara 2 farklı tür dönüşüm yöntemi uygulanır ki bu yöntemler maddesel dönüşüm ve kütleli dönüşümdür (Telli ve ark. 2012).



**Şekil 2.11.** Yeşil, Mavi ve Beyaz PET Talaşları (Telli ve ark. 2012)

#### Pamuk ve Polyester Karışımlarının Geri Dönüşümü

Konu hakkında Liu ve arkadaşlarının 2022 senesinde yaptığı çalışmada çevre dostu bir ayrıştırma yöntemi üzerinde çalışılmıştır. PET liflerinin seçici çözünde yöntemi ile PET liflerinin tamamen bozunduğu ve bunu yaparken pamuk lifinin %95 oranında iç yapısına zarar verilmeden geri kazanıldığı görülmüştür. Yöntemde betain bazlı çözücüler seçilerek ayrıştırma yapılmıştır. BHET adı verilen bir yapı elde edilmiştir ki bu yapı, PET elyafı tamamen bozularak %85 verimlilikte PET üretmek için gerekli monomerdur (Liu 2022).

## Biyo Bazlı Geri Dönüşüm Süreçleri

Biyo bazlı geri dönüşüm süreçleri, sürdürülebilir tekstil süreçlerine yeni bir yaklaşımdır ve katma değeri olan ürünler üretmek için enzimler ve mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Süreç boyunca geri dönüştürülmek istenen ürünlerin hammadde çeşitleri doğru şekilde analiz edilmeli ve uygun enzimler seçilmelidir. Enzim yapılarının karakteristik yapıları bu süreci özel kılmaktadır. İşlemlerin yeni gelişmesi ve doğal kaynaklı olması sebebiyle verimliliği %100 olmayacak ve kayıplar yaşanacaktır fakat örneğin selülozik madde kayıpları yaşandığı taktirde belediye atıkları ve farklı selülozik temelli ürün atıkları ile var olan kayıpların giderilme şansı bulunmaktadır.

Biyo temelli geri dönüşüm süreçleri 3 sistem üzerinden incelenebilmektedir. Bunlar mikroorganizmaların tekstil ürünlerini moleküllere dönüştürmesi, biyolojik ayrışma ve enzimler ile depolimerizasyondur.

Biyolojik ayrışma işlemi, mikroorganizmaların organik maddeleri, tekstil atıklarını karbondioksite, amonyağa, suya ve ısıya dönüştürdüğü süreç olarak tanımlanmaktadır. Maliyeti yüksek olmayan bu teknik organik maddelere sıklıkla uygulanırken tekstil mamullerine uygulanma süreci şimdilik çok yaygın değildir. Şimdilik biyolojik ayrışma işlemi tekstil özelinde doğal ve yarı sentetik lifler ile sınırlı kalmaktadır.

Enzimatik Depolimerizasyon işlemi, hammadde olarak selülozu polimerlerine ayırabilmek için selülaz enzimi kullanılmaktadır. Yünün depolimerizasyonu için de proteaz enzimi kullanılmaktadır. Polyester türevi malzemeleri ayrıştırmak için enzim varyasyonları hakkında çalışmalar halen devam etmektedir.

Fermentasyon ise enzimlerin etkisi ile enzimlerin etki ettiği maddelerde kimyasal anlamda farklılıklar meydana gelmesi sürecidir (Ribul ve ark. 2021).

### 2.4. Enzim

Enzimlerin genel tanımı, biyolojik reaksiyonların ılımlı koşullarda ve zararsız olarak gerçekleşmesini kolaylaştıran biyokatalizörler olarak yapılmaktadır. Çok az istisnalar dışında enzimler protein yapılara sahiplerdir. Enzimler ılımlı koşullar sağlanması halinde hücre içindeki aktivitelerini hücre dışında da sürdürebilmektedir (Usluoğlu 2016).

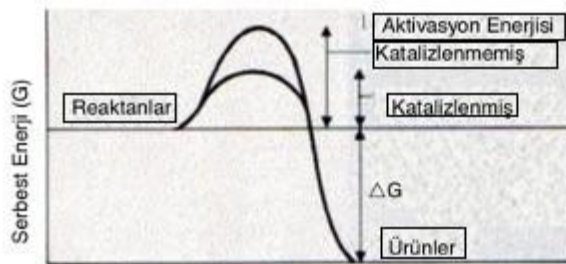
Enzimler substrata özel olmaları ve çevre dostu özellik göstermeleri sebebi ile tekstil ve çeşitli sektörlerde talep görmektedir. Tekstil sektörü özelinde de ağır kimyasalların yerine kullanılabilmesi, doğal kaynak tasarrufu gibi sebeplerden dolayı ilgi odağı olmaktadır. Fakat tüm bu pozitif özelliklerinin yanında maliyet olarak yüksek olması, depolama şartlarının dikkat ile takip edilme zorluğu, kullanım süresinde uzun vadede stabil kalmaması gibi negatif özellikleri sebebiyle kullanımı kısıtlı kalmıştır (Madhu 2022).

Enzimlerin ılıman koşullar altında çalışması, lifler ile etkileşimi sonucunda liflere verdiği zararın düşük olması, biyolojik olarak parçalanabilir yapısı tekstil gibi çevre için büyük bir tehdit oluşturan endüstride kullanımı için temel motivasyon kaynaklarıdır.

Yoğunlukla kullanım alanları tekstil özelinde haşıl sökme için amilaz, kot terbiyesi ve biyo-parlatma için selülaz, renksizleştirme işlemleri için ise lakkazlardır (Mojsov 2020).

#### 2.4.1. Enzim Yapıları

Enzimlerin etki mekanizmalarında, enzim etkisi ile değişime uğrayan maddeye substrat ismi verilirken etki sonucu ürün oluşmaktadır. Enzimler tek başlarına başarılı bir şekilde çalışabildikleri gibi, yetersiz oldukları durumlarda yan maddelere de ihtiyaç oluşabilir. Bu yan maddeye eğer metal iyonu ise kofaktör, organik bileşik ise koenzim olarak isimlendirilmektedir. Enzim ve kofaktörün beraber olduğu yapılara holoenzim adı verilmekte, sadece kofaktörün pasif olan kısmına apoenzim denmektedir. Enzimlerin özelliğini ve farklı olmasına etki eden kısım apoenzimlerdir (Usluoğlu 2016).



Şekil 2.12. Reaksiyon Grafiği (İnkaya 2006)



### Endüstriyel Enzim Yapıları

Enzim yapıları 100 – 2000 arasında aminoasit temelli proteinlerdir. 1894 yılında anahtar kilit teorisinde anahtar görevi substrat üstlenirken, enzimin kilit olduğu söylenmiştir. Sonrasında indüklenmiş uyum modeli ise Daniel Koshland tarafından eldiven modelinde 1958 yılında sunulmuştur.

Enzimler sadece tekstil endüstrisinde kullanılmayıp birçok farklı alanda da varlığını her geçen gün arttırarak sürdürmektedir (Kabir ve Koh 2021).

**Çizelge 2.12.** Enzim yapıları ve kullanım alanları (Kabir ve Koh 2021)

Endüstriyel Enzim Yapıları	Üretici	Üretim Yılı	Uygulama Alanları
Proteaz, Ksilanaz, Glukoamilaz	Novozymes, Danimarka	1921	Ev Temizliği, Tekstil, Gıda, Yağlar
Amilaz, Proteaz, Fitaz, $\beta$ -mannazaz	Genencor, Danimarka	1982	Gıda, Tekstil, Deterjan, Biyoyakıtlar
Amilazlar, Proteazlar, Selülazlar, Ksilanaz, Pektinaz	AB Enzymes, Almanya	1907	Gıda, Tekstil, Yem Sanayi, Deterjan, Kağıt Ürünleri, Biyoyakıtlar
Proteaz, Amilaz, Lakkaz, Katalaz, Selülaz, Lipaz	Dyadic, ABD	1979	Gıda, Yem Sanayi, Kağıt Endüstrisi, Tekstil

### Enzimlerin Sınıflandırılması

Enzim en temelde kimyasal tepkimeleri hızlandıran biyokatalizör yapıdır. Belirli şartlar altında aktive olur ve belirli moleküllere etki ederler. Enzimlerin sınıflandırılması ile ilgili 1956 senesinde Uluslararası Enzimler Komisyonu kurulmuş ve enzimleri altı kategoriye indirgeyerek bir sistem kurmuştur.

- EC 1 : Oksidoredüktazlar : Oksidasyon, redüsiyon reaksiyonlarını katalizler.
- EC 2 : Transferazlar : Fonksiyonel bir gruba transfer eder.
- EC 3 : Hidrolazlar : Çeşitli bağların hidrolizini katalizler.
- EC 4 : Liyazlar : Oksidasyon ve hidroliz olmaksızın bağları ayırırlar.
- EC 5 : İzomerazlar : Tek molekül içindeki izomerasyon değişikliklerini katalizler.
- EC 6 : Ligazlar : İki molekülü kovalent bağlar yardımı ile birleştirirler.

Tekstil endüstrisi özelinde ağırlıklı olarak oksidoredüktazlar ve hidrolazlar işlemlerle kullanılır. Özellikle pamuk lifinin işlenmesi, enzimin sektördeki en yoğun kullanıldığı alandır. Pamuk lifinin gördüğü haşıl sökme, ağartma, biyoparlatma, yapılan işlemlere örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak pamuk dışında ipeğin ve yünün protein yapısına etki eden proteaz enzimi ile tüysüzleştirme ve benzeri işlemler, deterjanlarda leke çıkarımını arttırmak için enzim eklenmesi gibi kullanım alanları da mevcuttur. Ön işlemler dışında boyalar, sentetik renklendiriciler içeren atık suların renksizleştirilmesi ve arıtılmasında da enzimler kullanım alanı bulmaktadır. Güncel olarak 7000 enzimin özellikle 75 tanesi tekstilde yoğunlukla kullanılmaktadır. Reaksiyon tiplerine göre sınıflandırılmış, Enzim Komisyonun yaptığı tablo aşağıda mevcuttur (Kabir ve Koh 2021).

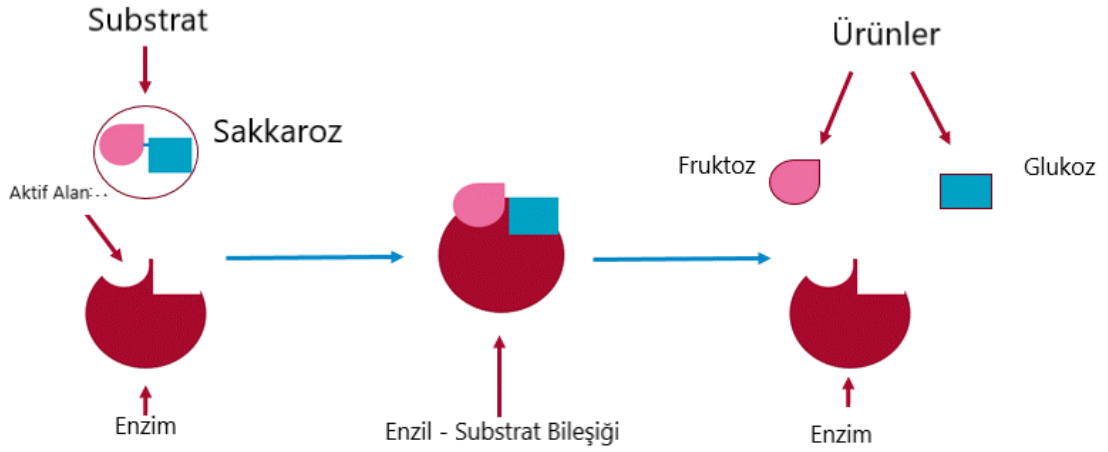
**Çizelge 2.13.** Reaksiyon tipine göre enzimlerin sınıflandırılması (Kabir ve Koh 2021).

EC Sembolü	Enzim Grubu	Enzim Sınıfı	Reaksiyon Tipi
A	Hidrolazlar	Amilaz Selülaz Proteaz Pektinaz Lipaz	Hidroliz
B	Oksidoredüktazlar	Katalaz Peroksidaz Lakkaz	Oksidasyon

### Enzimlerin Spesifikliği

Enzimlerin en önemli ve onları özel kılan özelliklerinden biri seçici olmalarıdır. Reaksiyonlara ve substratlara spesifik özellik gösterirler. Bu özel durumun açıklaması enzimin bağlanma mekanizmasında saklıdır. Enzimlerin aktif bölgeleri mevcuttur ve substratlar bu bölgeye bağlantı yapmaktadırlar. Bağlantı yeri şekil ve özellik anlamında enzim ve substratın bağlantı yapmasına olanak sağlamaktadır. Bu bağlantı aynı zamanda elektrostatik kuvvetler ile de sağlanmaktadır.

Enzimler, substratlar ile geçici olarak birleşmekte, ardından aktivasyon enerjisinin düşmesi ile reaksiyon hızlanmakta ve kompleks oluşmaktadır. Sonuç olarak ise bu reaksiyondan ürünler meydana gelmekte ve enzim bu işlemler sonrasında tekrardan kullanılabilir. İşlem adımları en genel anlamda; Enzim + Substrat -> Kompleks Oluşumu -> Ürün + Enzim olarak ifade edilebilmektedir. Enzim ve substratın birleşiminde birleşim bölgesi hem geometrik anlamda hem de yükler anlamında uygun olmalıdır. Bu spesifik uygunluk "Anahtar – Kilit" modeli ile de açıklanabilmektedir (Usluoğlu 2016).



**Şekil 2.13.** Enzimlerin Substratlara Spesifikliği (Bhandari ve ark 2018)

### **Enzim aktivitesi birimleri**

U: Uluslararası kullanılan birimdir. Standart koşullarda, substrat oranı doygunken, inhibitör olmadan fakat aktivatör mevcut olan bir ortamda, optimum pH oranında 1 dakikada 1 mol substratı dönüştüren enzim aktivitesi.

IU: Spesifik aktivite anlamına gelmektedir. 1 miligram enzimin birim zamanda dönüştürdüğü substratın mol miktarıdır.

Aktif merkez aktivitesi: Aktif merkezin 1 dakika sonucunda dönüştürdüğü substrat molekül miktarı.

Moleküler aktivite: Bir molekül enzimin 1 dakika sonunda dönüşüme uğrattığı substrat moleküllerinin sayısını ifade etmektedir. Yüksekliği enzim aktivitesi ile doğru orantılıdır.

Katal: 1 saniye sonucunda 1 mol substratı dönüştüren enzim aktivitesi.

Enzimler canlılık ihtiva eder, bu nedenle bulunduğu ortamdaki sıcaklık, pH seviyesi enzimin çalışma performansı ve varlığı için çok kritiktir. Eğer sıcaklık olması gereken değerlerin üstündeyse enzimlerde bozunma görülür ve sonucunda denatürasyon olarak adlandırılır.

Enzimin çalışabilmesi için en verimli olan pH noktasına, optimum pH adı verilmektedir. Optimum pH'ın alt veya üst seviyelerinde enzim aktivitesinden alınan verim düşer, inaktif konuma gelirler (İnkaya 2006).

### **Sıcaklık**

Sıcaklık etkisi belirli bir noktaya kadar enzimlerin reaksiyon hızlarını arttırırken, optimum sıcaklık noktası sonrasında enzimleri denatüre ederek canlılıklarını bitirmekte, işlevsiz hale getirmektedir. Ortalama olarak enzim aktivitesinin düştüğü, canlılığın azaldığı sıcaklık 60°C'dir.

### **Enzim Konsantrasyonu**

Enzim miktarı ile reaksiyon hızları doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu değişim reaksiyon belirli bir doygunluk seviyesine gelene kadar da devam etmektedir.

### **Substrat Konsantrasyonu**

Reaksiyon hızı enzim miktarı aynı olduğu senaryoda, substrat konsantrasyonu arttıkça artmaktadır. Optimum doygunluk noktasına kadar da bu hız artışı devam etmektedir.

### **Zaman**

Reaksiyon sırasında substrat zaman ile tükendiği için, zaman ilerledikçe hız git gide düşmektedir (İnkaya 2006).

## **2.4.2. Tekstilde Enzim Kullanımı**

### **Amilaz Enzimi**

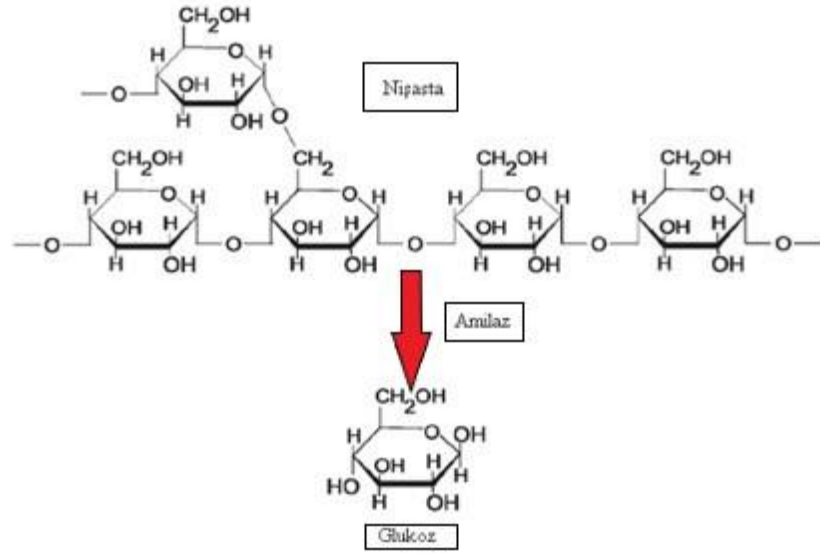
Ticari anlamda işlem görmüş ilk enzim amilazdır. Amilaz enzimi, nişasta maddesini parçalamaktadır, tekstilde ve diğer sektörlerde kullanım biçimi bu parçalanmaya yöneliktir. Alkol üretimi, glikoz ve früktoz şurubu imalatı, ekmek imalatı gibi alanlarda da kullanım alanı bulunmaktadır. Tekstil sektöründe ise haşıl sökme işleminde nişasta haşıllarının sökülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ağır çevre yükü barındıran kimyasallar yerine kullanılan amilaz, aynı zamanda üretim parkurlarına uygundur, muadili proseslere göre de ekonomiktir (Usluoğlu 2016).

Haşıl işlemleri ipliklerin dokuma esnasında daha mukavemetli olması sebebiyle yapılırken sonraki işlemler için haşıl sökme işleminde  $\alpha$ -amilazlar kullanılabilir. 5,5 ile 7 arası optimum pH değeri iken proses 70°C ve daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Doğa dostu yapısı ve kumaşa da herhangi bir zarar vermemesi enzimatik işlemleri daha değerli hale getirmektedir (Mojsov 2020).

$\alpha$ -amilaz,  $\beta$ -amilazdan daha hızlı hareket etmektedir. Bunun nedeni de  $\alpha$ -limit dekstrinlerin serbest bırakılması amacıyla  $\alpha$ -1,4 glikosidik bağları gelişigüzel hidrolize etmesidir. Ekonomik anlamda fayda sağlaması amacıyla kombine işlem olarak da enzim ilavesi yapılabilmektedir. Amilaz enziminin ardından gelen tekstil için önemli enzimler pektinaz, selüloz, lipaz olarak sayılabilmektedir (Kumar ve ark. 2021).

**Çizelge 2.14.** Amilaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021)

Enzim	Kaynak	Sıcaklık (°C)	pH	Uygulama
$\alpha$ -amilaz	<i>Aspergillus niger</i> sp.MK07	75	6,5	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz	Optisize Next	25	2	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme ve nötralizasyon
Termofil $\alpha$ -amilaz	<i>Bacillus licheniformis</i>	85	6	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz	Optisize Next	20-100	5,5-7,5	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
Amilaz	<i>Bacillus</i> sp. SI-136	80	12	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz	<i>Bacillus</i> sp. KR-8104	30-70	5-7	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz	<i>Bacillus cereus</i>	50-55	6-7	Organik Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz KW-40	Ticari	50	6	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz	Ticari	20-100	6,5	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
Ticari $\alpha$ -amilaz	<i>Bacillus subtilis</i>	50-90	6	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
Asidik Amilaz	<i>Aspergillus niger</i> ve <i>Aspergillus flavus</i>	40	4,5-5	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
Amilaz	<i>Aspergillus niger</i> SH-2	70	6	Gri pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
Mezofilik $\alpha$ -amilaz	Ticari	70-90	6,5	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz	Penenzim HSE	40-110	4-9	Tek banyoda haşıl sökme, biyoparlatma
İmmobilize $\alpha$ -amilaz	<i>Bacillus</i> sp.	60	6,9	Biyolojik temizleme
İmmobilize $\alpha$ -amilaz	Ticari	60-70	5,5-6	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
Kesik $\alpha$ -amilaz	<i>Bacillus subtilis</i> MTCC 121	45-55	7-8	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
Amilaz	<i>Aspergillus</i>	70	4,5	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz	<i>Aspergillus tamari</i>	30,5	6,5	Pamuklu kumaşlarda haşıl sökme
$\alpha$ -amilaz	<i>Bacillus</i>	40	7	Haşıl sökme



**Şekil 2.14.** Amilaz Enziminin Nişastayı Parçalama Reaksiyonu (Usluoğlu 2016)

### **Pektinaz Enzimi**

Pektinaz enzimleri pektin maddesini parçalamaktadır. Pamuk lifinin yapısında selülozik özellikte olmayan pektin maddesi bulunmaktadır ve lif bünyesinde kirlilikler meydana getirmektedir. Pektinaz enzimi pektik asidin esterleşmiş bağlarını parçalamaktadır. Bu reaksiyon sonucu pamuk lifinin hidrofilité seviyesi arttırılmaktadır (Usluoğlu 2016).

Pektinaz enzimleri, mikro gözenekler ile pamuğun kütükül tabakasına nüfuz etmektedir. Sonraki aşamada ise primer duvardaki pektini parçalayarak hidrofilitéyi arttırır (Kumar 2021).

**Çizelge 2.15.** Pektinaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021)

Enzim	Kaynak	Sıcaklık (°C)	pH	Uygulama
Pektinaz	Ticari	50	8	Pamuklu kumaşların biyo-yıkanması
Pektinaz	Paecilomyces variotii	40	5	Pamuklu kumaşların biyo-yıkanması
Pektinaz	Bacillus pumilus AJK	50	8,5	Jüt kumaşların biyo-yıkanması
Pektat liyazı	Streptomyces griseus	50	7	Pamuklu kumaşların biyo-yıkanması
Pektinaz	Bacillus pumilus AJK	50	8,5	Rami kumaşların biyo-yıkanması
Pektinaz	Candida	55	5,5	Pamuklu kumaşların biyo-yıkanması

### **Selülaaz Enzimi**

Selülaaz enzimi pamuğun temelini oluşturan selüloz maddesine etki etmektedir. En yaygın olarak kot taşlama, pamuğun dolayısıyla kumaşın yumuşatma ve parlatma işlemlerinde kullanılmaktadır. Enzim yoğunluğuna göre uygun kullanıldığı taktirde pamuğun yapısına zarar vermeden kirliliklerden arındırılmasında da kullanılmaktadır. Pamuk lifleri fiziksel etkiler karşısında zarar görmektedir. Liflerin kırılması ile lif uzunluğu azalır ve yüzeyde tüylülük sorunu ortaya çıkar. Selülaaz enzimi ile yapılan işlemlerde bu kısa tüylerin giderilmesi de sağlanabilmektedir. Biyoparlatma denilen bu işlem sonucu tüylülük sorunu giderilir, yüzeyde parlaklık ve düzgünlük sağlanmış olur. Ayrıca lifin hidrofilite özelliğine de pozitif yönde katkısı mevcuttur (Usluoğlu 2016).

Denim yıkama, beyazlatma işleminin ponza taşları ile yapılması yaygın bir yöntem olmakla birlikte insan sağlığına büyük zararları mevcuttur. Tekstil sektöründe enzim kullanımı da denim taşlama işlemine sağlıklı bir alternatif olarak selülaazlar ile başlamıştır. Günümüzde denim terbiye sırasında ortalama %80 oranında selülaaz veya selülaaz + ponza taşlarını kullanılmaktadır. Kullanılan selülaazların sınıflandırılması etkin oldukları pH aralığına göre yapılmaktadır. Asit selülaaz, nötr selülaaz ve alkali selülaaz olarak isimlendirilir. Taşlama işleminde ise nötr veya asidik selülaazlar tercih edilir, kot üzerindeki indigo boyayı aşındırırlar. İşlemin enzim varlığında yapılması liflerin,

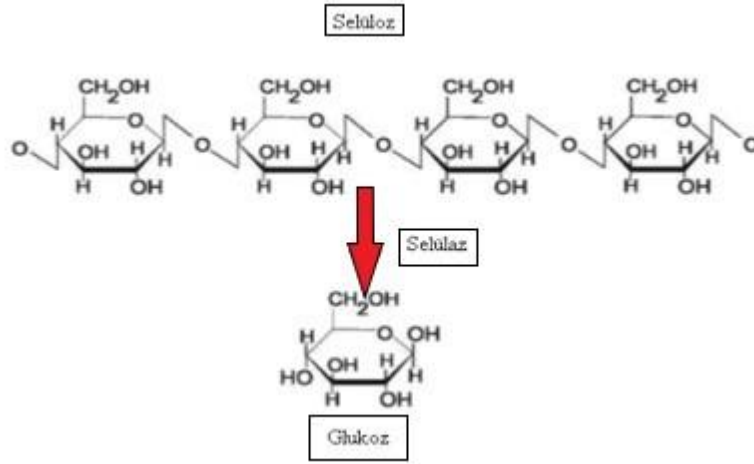


insanların, çevrenin daha az zarar görmesini sağlarken aynı zamanda iş verimini de arttırmaktadır (Mojsov 2020).

Selüloz enzimleri, selülozu glikoz adı verilen şeker bileşenlerine hidrolize etmektedir. Genel olarak üç tipe ayrılan selülozlar, ki bunlar endoglukanazlar, ekzoglukanazlar ve glukozidazlardır. Tekstil endüstrisinde ağırlıklı kullanılan ise endoglukanazlardır. Selülozları alternatif ya da geleneksel yöntemlere göre en avantajlı konuma getiren özellik doğal ve yeşil üretime uygun işlemler olmalarıdır. Ayrıca yapılan enzimatik uygulamalarda lif yapısına zarar gelmemesi açısından yavaş kinetiklerle çalışılması ve işlemin gevşek yüzey hidrolizi ile sınırlandırılmasıdır (Kumar ve ark. 2021).

**Çizelge 2.16.** Selüloz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021)

Enzim	Kaynak	Sıcaklık (°C)	pH	Uygulama
Selüloz	Streptomyces albaduncus	30	6,7-7,7	Rami kumaşların biyoparlatma işlemi
Selüloz Lava Cell NNM	Ticari	50	8	Biyotaşlama
Asit selüloz	Ticari	55	4,5	Pamuklu kumaşların biyoparlatma işlemi
Selüloz	Aspergillus nidulans AJ SU04	45	5	Jüt kumaşların biyoparlatma işlemi
Selüloz	Trichoderma viride G	50	4,5	Pamuklu kumaşların biyoparlatma işlemi
Selüloz	Hypocrea jecorina	50	5	Biyoparlatma ve biyotaşlama
Selüloz	Trichoderma reesei	50	4,8	Biyoparlatma
Selüloz	Ticari	40-50	5-6	Biyoparlatma
İmmobilize selüloz Novozymes	Ticari	50	5,5	Biyoparlatma
Selüloz	Chaetomium globosum	60	4,5-5	Pamuklu kumaşların biyoparlatma işlemi
Selüloz (Dinamex)	Ticari	45-60	4,5-5	Selülozik kumaşların biyoparlatma işlemi
İmmobilize Selüloz	Ticari	55	5,5	Pamuklu kumaşların biyoparlatma işlemi
Selüloz	Trichoderma reesei	45	4-5	Biyoparlatma



Şekil 2.15. Selülozun Glukoza Hidrolizi (Usluoğlu 2016)

### Lipaz Enzimi

Lipaz enzimi, serbest yağ asitlerini ve gliserolleri hidrolizlemektedir. Tekstil endüstrisinde pamuk bünyesinde bulunan yağları, haşıl maddesinden gelmekte olan yağları dolayısıyla kirlilikleri, pamuk bünyesinden uzaklaştırmadan kullanılmaktadır. Aynı zamanda kimya, ecza gibi farklı sektörlerde de kullanım imkânı bulunmaktadır. Yağların uzaklaştırılması sonrası kumaşların su emiciliği artmakta ve bununla birlikte daha iyi boyanabilme özelliği kazanmaktadır.

Lipaz enzimlerinin tekstil endüstrisinde kullanım alanı bulduğu farklı bir alan ise sentetik liflerin yüzey modifikasyonudur. Polyester liflerinin boyanma kabiliyetini artırırken aynı zamanda daha az lif hasarı ve daha az ağırlık kaybı sağlamaktadır. Pamuklu kumaşlarda kullanılırken de tek başlarına ya da proteaz, ksilanaz gibi enzimlerle kombine olarak kullanılabilirler (Kumar ve ark. 2021).

**Çizelge 2.17.** Lipaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021)

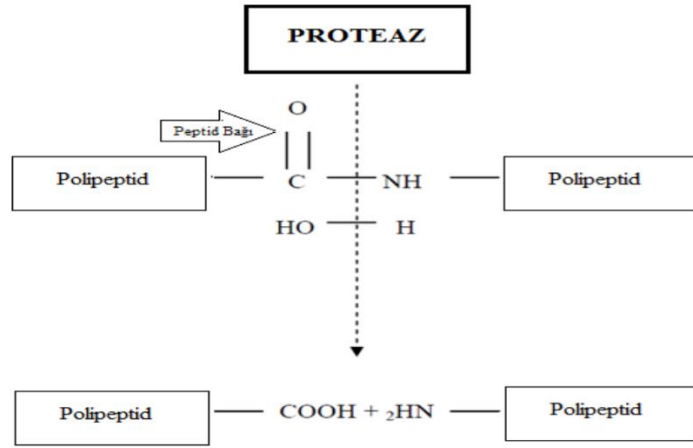
Enzim	Kaynak	Sıcaklık (°C)	pH	Uygulama
Lipaz	Aspergillus niger, Candida cylindracea	50	8,5	Poliaktif asit lifinin yüzey hidrolizi
Lipaz	Ticari	60	6-7	Polyester kumaşların modifikasyonu
Lipaz	Streptomyces acrimycini NGP 1	50	6-8	Koku esteri sentezi
Lipaz	Bacillus licheniformis	40-50	5-6	Pamuklu kumaşların biyo-yıkanması
Lipaz	Bacillus sonorensis	60	9	Pamuklu kumaşların biyo-yıkanması
Lipaz Novozyme	Ticari	40	5	Polyester kumaşların modifikasyonu

### **Glikoz Oksidaz Enzimi**

Glikoz oksidaz tekstil proseslerinde peroksit ağartmasında iyon tutucu olarak kullanılmaktadır. Çalışma prensibi düşük sıcaklıklarda ve aynı zamanda hafif asidik ortamda verimli olmaktadır.

### **Proteaz Enzimi**

Proteaz enzimi maddeler bünyesindeki proteine etki etmektedir. Tekstil endüstrisinde protein temelli hayvansal liflerin terbiyesinde kullanılmaktadır. Hayvansal liflerden olan yün lifleri için yüzey düzgünleştirici olarak kullanılırken, ipek lifinde ise dış katmandaki serisin maddesinin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır (Usluoğlu 2016).



**Şekil 2.18.** Proteaz Enziminin Peptid Bağlarını Katalizi (Usluoğlu 2016)

### **Katalaz Enzimi**

Katalaz enzimi, hidrojen peroksit maddesini su ve oksijene çeviren reaksiyonlarda kullanılan bir enzimdir. Tekstil proseslerinde ağartma(beyazlatma) işlemlerinde hidrojen peroksit maddesinin kullanıldığı durumlarda ortamda bulunan ve fazlalık olan hidrojen peroksidin uzaklaştırılmasında görev almaktadır. Enzim yerine hidrojen peroksidin uzaklaştırılmasında kullanılan farklı ürünler de olmakla beraber, bu proseste katalaz enzimi kullanımı daha hızlı sonuç vermekte ayrıca işlem sonrası yıkama işlemi de gerektirmediği için doğal kaynak tasarrufu da sağlamaktadır. Katalaz enzimi ile yapılan çalışmalarda, enzimin en yüksek performansı verebildiği sıcaklığın 35 °C olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kullanılan katalaz enziminin canlılığının da zaman geçtikçe azaldığı görülmüştür. 3 ay uygun şartlarda bekletilmiş katalaz %95 oranında performans verirken, 7 aya kadar %85 ve sonraki zamanlarda da azalarak %70'ler oranına geldiği belirtilmiştir. Katalaz enzimi tekstil sektörü dışında kâğıt sektöründe de yoğun olarak kullanılmaktadır (Usluoğlu 2016).

**Çizelge 2.18.** Katalaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021)

Enzim	Kaynak	Sıcaklık (°C)	pH	Uygulama
Katalaz peroksidaz	Aeribacillus pallidus P26	60	7	Tekstil atıksularının renksizleştirilmesi
Ticari katalaz (Terminox Ultra)	Scytilidium thermophilum	35-70	7	Hidrojen peroksit bozunması
Termofilik katalaz	Geobacillus sp. BSS-7	50	7	Hidrojen peroksit bozunması

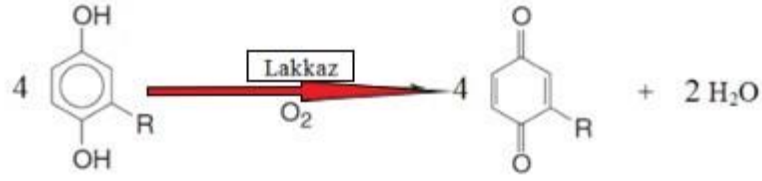
### **Lakkaz Enzimi**

Lakkaz enzimi fenolik(yüksek asidik özellik ihtiva eden) maddelerin bünyesinden elektron çıkarılmasıyla hidroksil gruplardan hidrojen atomunu uzaklaştırmada kullanılan bir enzimdir. Tekstil boyama, terbiye proseslerinde, işlem süresinde ve bitiminde renkli atık sular meydana gelmektedir. Bu atık suların geri kazanım ve sonraki proseslerinde suların renksizleştirilmesi istenmektedir. Lakkaz enzimi de bu atık suların renksizleştirilmesinde görev almakta, aynı zamanda denim yıkama sektöründe de kullanılmaktadır. Farklı renkler ve farklı kimyasal yapıları için aktivite ve performans oranı değişiklik göstermektedir (Usluoğlu 2016).

Lakkaz enzimi farklı enzimlerle kombine halde indigo rengini ağartarak denim termiyesinde de kullanılabilir. Bununla beraber ürünlerin beyazlık seviyesini arttırmak için peroksit ağarması işleminde ön adım olarak da kendisine kullanım alanı bulmaktadır (Khan 2020).

**Çizelge 2.19.** Lakkaz çeşitleri ve uygulama alanları (Kumar ve ark. 2021)

Enzim	Kaynak	Sıcaklık (°C)	pH	Uygulama
Lakkaz	Cerrena unicolor BBP6	30	4	Denim biyo-ağartma
Lakkaz (LacT)	Brevibacillus agri	60-70	3-4	Denim ağartma
Rekombinant lakkaz	Madurella mycetomatis	50-60	4-6	Kumaş ağartması
Lakkaz	Bacillus subtilis DS	55	7	Renk bozunması



**Şekil 2.17.** Lakkaz'ın Temel Kataliz Reaksiyonu (Usluoğlu 2016)

Basto ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda geleneksel olarak kullanılan kimyasal ağartma işlemine muadil olması için lakkaz enziminin ultrason işleminin, lakkaz ile ağartma yapıldığında ürünün nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Lakkaz enzimi ile ön işleme sokulan pamuk lifinin, peroksit ağartması yapılması sonucundaki beyazlık seviyesi pozitif olarak etkilenmiştir. Arttığı görülen bu beyazlık seviyesinin lakkaz enziminin lif yüzeyinde ve lif bünyesindeki etkileşiminin arttığı için olduğu düşünülmüştür. Ancak sonuç olarak enzimin 30 dakikaya kadar stabil kaldığı proseslerde bu etkinin son durum itibari ile gereksiz olduğu kanısına varılmıştır.

Lakkaz enziminin denim yıkama sektöründe ponza taşı işe yapılan işlemin muadili olduğu görülmüştür. Bu konuda çalışma yapan Pazarcıoğlu ve arkadaşları lakkaz enzimini pek çok farklı aktivatör ile işleme sokmuş, fenol ile aktif hale getirilmiş kültürlerin çok daha iyi performans verdiği görülmüştür. Çalışma sonucunda *Trametes versicolor* (beyaz çürükçül esaslı) *TvLac*'ın denim yıkamada başarılı sonuç verdiği, kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kaynatma işlemi sürecinde kullanılan pek çok kimyasal mevcuttur ve bunlar çevresel yüke sebep olmaktadır. Ossola ve Galante'nin enzimatik kaynatma işlemleri kapsamında yaptığı çalışmalarda keten lifleri incelenmiştir. Kaynatma işlemi enzimatik yapıldığında ilk akla gelen ve en başarılı enzimin pektinaz olduğu görülmüştür. Çalışılan enzimlerin yapılan eğirme testleri sonrası başarı sıralamaları: pektinaz > ksilinaz = galaktomannaz = proteaz > lipaz = lakkaz şeklinde olduğu görülmüştür.

Boyama ve terbiye işlemleri sonrası oluşan atık suların arıtılması, temizlenmesi işlemlerinde kullanılan koagülasyon, filtrasyon gibi fiziksel, kimyasal işlemler maliyet ve ekstra çevre yükü oluşturmaktadır. Bu temizlenme, renksizleştirme işlemlerinin doğal ve enzimatik yollar ile yapılması günümüz ve sonrası için büyük önem arz etmektedir.

Kullanılan biyolojik işlemler maliyetlerinin uygunluğu, işlem sonrası çok daha düşük atık oluşturması ile kullanışlıdır.

Kunamneni ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmalarda lakkaz enzimi polimetakrilat esaslı polimerlere kovalent olarak stabilize edilmiştir. Bu şartlar altında işlem gören enzimin aktivitesinde ve dayanıklılığında artış gözlenmiştir. Çalışmalarda enzimin 17. kullanımında aktivitesinin %84 seviyesinde olduğu gözlenmiştir. Sentetik boyarmaddelerin renksizleştirilmesi için denenen lakkaz enziminin başarılı sonuç verdiği görülmüştür (Arık ve ark. 2008).

### **2.4.3. Polyester ve Enzim**

Enzimler optimum ortamda çalışma imkanı bulduklarında  $10^{12}$ - $10^{20}$  oranında reaksiyonları hızlandırabilmektedirler. Polyester liflerinin tekstil endüstrisinde yoğunlukla kullanılmasının sebebi kendisine has avantajlarıdır. Bu avantajları da dayanıklı mukavemetli olması, çekme davranışına karşı dayanımı, lif kirlenmesine olan dayanımı, çamaşır makinesinde rahatça yıkanabilmesi, kırışma ve diğer fiziksel hasarlara olan yüksek dayanımıdır. Pes liflerinin endüstrideki en büyük dezavantajı ise ıslanmaya karşı olan isteklerinin çok düşük olmasıdır. Hidrofobik olan yapıları tekstil terbiye işlemlerinde PES liflerinin sağlıklı bir şekilde işlem görmesinde ve proseslerin başarılı sonuçlanmasının önüne geçmektedir. Bu problemi çözebilmek için çeşitli fiziksel ve kimyasal lif yüzeyini hidrofil hale getiren yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin maddi olarak maliyeti yüksek olmakla beraber ayrıca çevre yükü de oluşturmaktadırlar (Atav ve ark. 2014).

Çevre dostu işlemler kapsamında PES liflerinin yüzey karakteristiklerini değiştiren ve bu değişimleri ılıman koşullar altında yapan enzimler ile çalışılmaktadır. Yüzey karakteristiğini değiştirmek amacıyla kullanılan enzimler esteraz, lipaz, kutinaz olarak sıralanabilmektedir. Yüzeyin hidrofil hale getirilme işlemi temel olarak enzimlerin ester bağlarında hidrolize sebep olarak PES liflerinin yüzeyinde hidroksil ve karboksil grupları açığa çıkar ve hidrofilite işlemi gerçekleşmiş olur (Atav ve ark. 2014).

Yapılan çalışmalar genel olarak Polyester liflerinin sert yapısını gevşeterek boyama işleminin standardın daha altında sıcaklık seviyelerinde yapılması ile ilgilidir.

Yapılan çalışma kapsamında PES liflerine lipaz ile ön işleme tabi tutulmuştur. Ön işlem şartları enzimlerin canlılığına zarar vermeyerek optimum çalışma verebilecekleri şekilde 40°C, pH 8 olarak seçilmiştir. 30 dakika süren ön işlemlerde 5 farklı enzim konsantrasyonu denenmiştir. Denenen enzim konsantrasyonları %0,5 ile başlayıp, %1-%2-%4-%8 olarak devam etmiştir. Ön işlem gören PES lifleri %3 konsantrasyonlu şekilde Bemacron Navy S2GL ile boyama işlemi görmüştür. Boyanan ürünlerin renkleri spektrofotometre ile ölçülmüş ve sayısal veriler elde edilmiştir. Yüzeylerin sertliğini azaltmak amacıyla uygulanan enzimatik işlemin lif mukavemetine etkisi görmek için de ürün örneklerine mukavemet testi yapılmıştır.

Görülen sonuçlar incelendiğinde ise lipaz ile ön işlem görmüş PES liflerinin enzim ile ön işlem görmemişlere oranla daha yüksek renk değişimine sahip olduğu görülmüştür. Boyama işlemi sırasında enzim konsantrasyonunun %0,5 olduğu örnek en iyi renk verimine sahiptir. Optimum değer bu olduğu görülmüş, yüzdeler arttıkça renk değişimi azalmıştır. 130°C’de boyanan lifler ile 115°C’de boyanan liflerin aynı renk değişimi seviyesinde olduğu görülmüştür. Hem enerji maliyeti açısından hem de liflerin mukavemet ve diğer fiziksel zorluklara daha az maruz kalması açısından düşük sıcaklıklarda boyanabilmesi çok önemlidir. Yapılan deney sonucu başarıya ulaşılmış ve polyesterlerin enzimatik işlemler ile normalden daha düşük sıcaklıklarda başarıyla boyandığı görülmüştür (Atav ve ark. 2014).



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Kullanılan Kumaşlar

Deneysel çalışmada pamuklu ve geri dönüştürülmüş havlu kumaşlar ile çalışılmıştır. Kumaşlar Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Pamuklu havlu kumaşların atkı sıklığı 20 atkı/cm, 450 g/m<sup>2</sup> ve 50 cm x 90 cm ebatlarında dokunmuştur. İpliklere ait özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** %100 pamuklu havlu kumaşın fiziksel parametreleri

İplik	İplik Türü	İplik Numarası	İplik ( $\alpha$ ) Değeri	Büküm Yönü	Büküm (tur/m)
Hav İpliği	Karde	16/1	4,0	S Büküm	630
Atkı İpliği	Open End	16/1	3,2	S Büküm	479
Zemin İpliği	Ring Karde	20/2	4,0	S Büküm	500
Dikiş İpliği	Ring Karde	20/2	4,0	S Büküm	500

Geri dönüştürülmüş havlu kumaşı hammadde yapısı olarak %70 geri dönüştürülmüş pamuk ipliği ve %30 geri dönüştürülmüş polyester ipliği ile üretilmiştir. Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlar 16 atkı/cm atkı sıklığında, 450 g/m<sup>2</sup> ve 100 cm x 180 cm ebatlarında dokunmuştur. Kumaşa ait özelliklere Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşın fiziksel parametreleri

İplik	İplik Türü	İplik Numarası	İplik ( $\alpha$ ) Değeri	Büküm Yönü	Büküm (tur/m)
Hav İpliği	Karde	30/2	4,0	S Büküm	630
Atkı İpliği	Open End	30/2	4,0	S Büküm	479
Zemin İpliği	Ring Karde	30/2	4,0	S Büküm	500
Dikiş İpliği	Ring Karde	20/2	4,0	S Büküm	500
Bordür İpliği	Karde	20/2	4,0	S Büküm	400

### 3.1.2.Enzimler ve Kimyasallar

#### Enzimler

**Bioprep Fusion;** pektinaz enzimi olarak enzimatik proseste kullanılmıştır. Alfa Kimya firmasından temin edilmiştir. Aktivite değeri 100 PAPSU/g'dır. Kehribar renginde bir enzimdir. 25°C'de pH 5 ile pH 7 arasında optimum performans göstermektedir.

**Cellusoft;** selülaz enzimi olup, enzimatik proseste kullanılan enzimlerden biridir. Alfa Kimya firmasından temin edilmiştir. Aktivite değeri 8000 ECU/g'dır. Sarı renkte bir enzimdir. Optimum performans için önerilen pH 4,7'dir.

**Novalite II S;** lakkaz enzimidir ve enzimatik proseste kullanılmıştır. Alfa Kimya firmasından temin edilmiştir. Modifiye edilmiş *Aspergillus* mikroorganizmasının fermantasyonu ile elde edilmiştir. Açık sarı renktedir. Optimum performansını 65-70 °C'de ve pH 4,5 ile pH 5,5 arasında vermektedir.

#### Ağartma Kimyasalları

**Islatıcı;** geleneksel ön işlemden havlu kumaşlara hidrofilite sağlamak için kullanılmıştır. Akkim Kimya'dan temin edilmiştir.

**Stabilizatör;** geleneksel ön işlemden kullanılmaktadır. Ozan Kimya'dan temin edilmiştir.

**İyon Tutucu;** geleneksel ön işlemden kullanılmaktadır. Akkim Kimya'dan temin edilmiştir.

**Hidrojen Peroksit;** geleneksel ön işlemden ağartma kimyasalı olarak kullanılmaktadır. Tekay Kimya'dan temin edilmiştir.

**Kostik;** geleneksel ön işlemden kullanılmaktadır. 38 Be kullanılan kostik, Akkim Kimya'dan temin edilmiştir

### **3.1.3. Kullanılan Cihazlar**

#### **Numune Boyama Makinesi**

Pamuklu ve geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan ön işlem prosesleri Bursalı Tekstil San. Ve Tic. A.Ş.'de bulunan Ataç marka HT-16 modeli numune boyama makinesinde gerçekleştirilmiştir

#### **Mikroskop**

Uygulanan ön işlem sonrası pamuklu ve geri dönüştürülmüş havlu kumaşların görüntüleri ve bu kumaşlara ait hav iplikleri, BUTEKOM büyesinde bulunan Nikon SMZ 18 model mikroskopta incelenmiştir.

#### **Spektrofotometre**

Uygulanan ön işlem sonrası pamuklu ve geri dönüştürülmüş havlu kumaşların beyazlık ölçümleri Bursalı Tekstil San. Ve Tic. A.Ş.'de bulunan Datacolor 850 marka spektrofotometre cihazında ölçülmüştür.

#### **Mukavemet Cihazı**

Uygulanan ön işlem sonrası pamuklu ve geri dönüştürülmüş havlu kumaşların mukavemet ölçümleri Bursalı Tekstil San. Ve Tic. A.Ş.'de bulunan James Heal marka titan modeli cihazı kullanılmıştır.

#### **KOI Ölçümü**

Uygulanan ön işlem sonrası pamuklu ve geri dönüştürülmüş havlu kumaşlardan elde edilen sıvıların Bursa Uludağ Üniversitesi'nde bulunan WTW marka, CR 2200 modeli

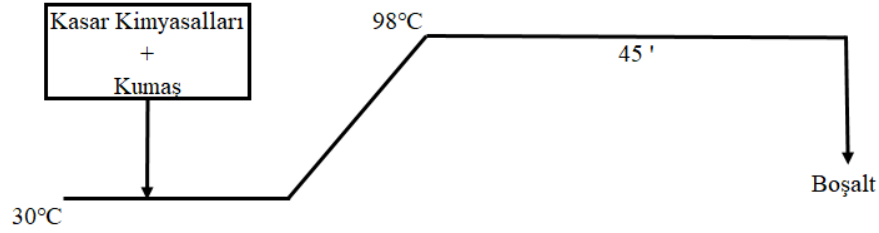
termoreaktör ile Spectroquant marka, Pharo 300 model UV visible spektrofotometre cihazlarıyla kimyasal oksijen ihtiyacı ölçülmüştür.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. %100 Pamuklu Kumaşlara Uygulanan Prosesler

#### Geleneksel Ön İşlem Prosesi

Pamuklu havlu kumaşlara uygulanan işlemlerin kıyaslanabilmesi için %100 pamuklu havlu kumaşa geleneksel ağartma prosesi uygulanmış ve bu kumaş referans olarak kullanılmıştır. Geleneksel ağartma prosesinde ıslatıcı ( 1 g/L), stabilizatör ( 1 g/L), kostik ( 4 g/L) ve hidrojen peroksit ( 3 g/L) kullanılmıştır. Geleneksel ağartma prosesine ait görsel Şekil 3.1' de verilmiştir.



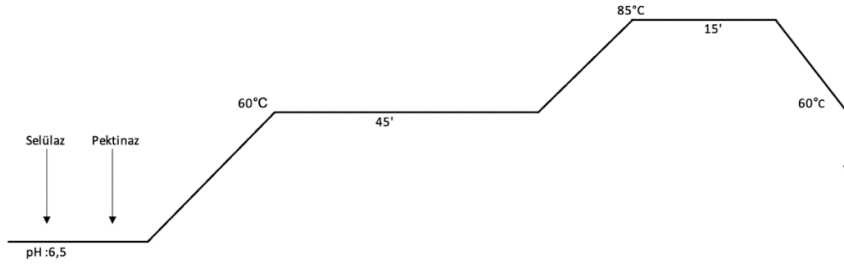
Şekil 3.1. %100 pamuklu kumaşlara uygulanan geleneksel ağartma prosesi

#### Pektinaz + Selülaz Enzimatik Ön İşlem Prosesi

Enzimatik ön işlem prosesinde, selülaz enzim konsantrasyonu sabit tutulmuş, artan pektinaz enzim konsantrasyonunun etkisi değerlendirilmiştir. Enzimatik işlemde selülaz enzimi %0,20 konsantrasyonda ve pektinaz için 5 g ağırlığında kesilen %100 ham pamuklu kumaşlar 60 °C sıcaklıkta, toplamda 60 dakika sürede ve 6,5 pH derecesinde enzimatik ön işleme tabi tutulmuştur. Ön işlemde kullanılan enzim konsantrasyonları Çizelge 3.3'de ve enzim prosesi Şekil 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** %100 pamuklu havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları

Enzim Konsantrasyonu (%)	1. Tüp	2. Tüp	3. Tüp	4. Tüp	5. Tüp
Selülaz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Pektinaz	0,5	1	1,5	2	2,5



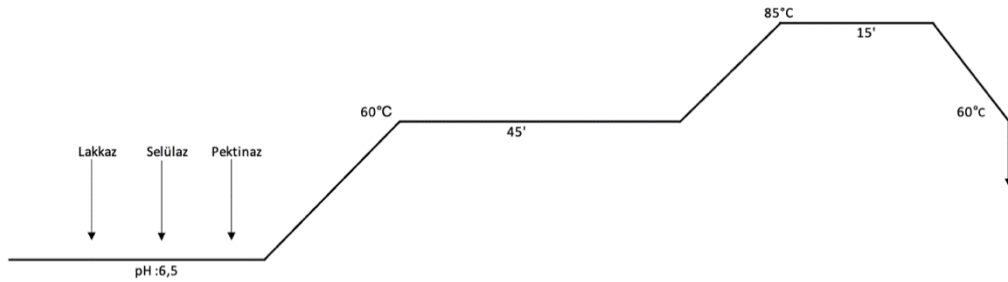
**Şekil 3.2.** %100 pamuklu havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz enzimatik ön işlem prosesi

### **Pektinaz + Selülaz + Lakkaz Ön İşlem Prosesi**

Enzimatik ön işlem prosesinde, pektinaz ve selülaz enzim konsantrasyonu sabit tutulmuş, artan lakkaz enzim konsantrasyonunun etkisi değerlendirilmiştir. Enzimatik proseste selülaz enzimi %0,2 konsantrasyonda ve pektinaz için %1,5 konsantrasyon ile çalışılmıştır. 5 g ağırlığında kesilen %100 ham pamuklu kumaşlar 60 °C sıcaklıkta, toplamda 60 dakika sürede ve 6,5 pH derecesinde enzimatik ön işleme tabi tutulmuştur. Artan lakkaz enzim konsantrasyonlarının ön işlem prosesindeki etkisi incelenmiştir. Kullanılan enzim konsantrasyonları Çizelge 3.4'te ve prosese ait görsel Şekil 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** %100 pamuklu havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları

Enzim Konsantrasyonu (%)	1. Tüp	2. Tüp	3. Tüp	4. Tüp	5. Tüp
Selülaz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Pektinaz	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Lakkaz	0,5	1	1,5	2	2,5



**Şekil 3.3.** %100 pamuklu havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz + lakkaz enzimatik ön işlem süreci

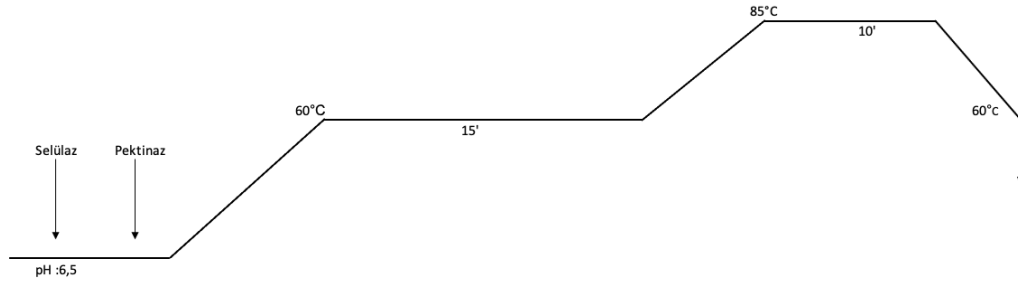
### 3.2.2. Geri Dönüştürülmüş Havlu Kumaşlara Uygulanan Prosesler

#### **Pektinaz + Selülaz ile Enzimatik İşlem Prosesi**

Enzimatik ön işlem sürecinde, selülaz enzim konsantrasyonu sabit tutulmuş, artan pektinaz enzim konsantrasyonunun etkisi değerlendirilmiştir. Enzimatik işlemde selülaz enzimi %0,2 konsantrasyonda ve pektinaz için 5 farklı enzim konsantrasyonu kullanılmıştır. 5 g ağırlığında kesilen geri dönüştürülmüş kumaşlar 60°C sıcaklıkta, toplamda 25 dakika sürede ve 6,5 pH derecesinde enzimatik işleme tabi tutulmuştur. Ön işlemde kullanılan enzim konsantrasyonları Çizelge 3.5'de ve enzim süreci Şekil 3.4'de verilmiştir. Enzim süreci aynı sıcaklık, aynı pH seviyesi ve aynı numuneler ile 45 dakika enzimatik işlem + 15 dakika enzimlerin deaktive edilmesi şeklinde toplamda 60 dakika olarak da çalışılmış, elde edilen hidrofilit ve beyazlık seviyesi sonuçlar ise istenilen seviyeden uzak kalmıştır.

**Çizelge 3.5.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları

Enzim Konsantrasyonu (%)	1. Tüp	2. Tüp	3. Tüp	4. Tüp	5. Tüp
Selülaz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Pektinaz	0,5	1	1,5	2	2,5



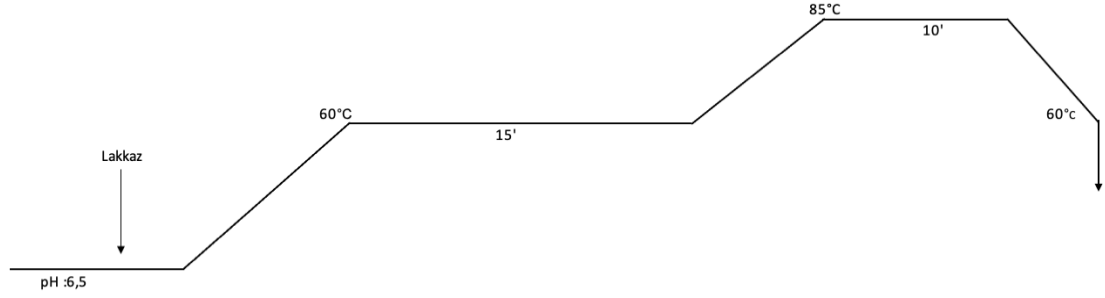
**Şekil 3.4.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan pektinaz + selülaz enzimatik ön işlem prosesi

### **Lakkaz ile Enzimatik İşlem Prosesi**

Selülaz ve pektinaz enzimlerinin farklı miktarlarda ve farklı işlem sürelerinde gösterdiği etkiler incelenmiş, sonrasında ise sadece lakkaz enziminin geri dönüştürülmüş kumaş bünyesinde hidrofilite ve beyazlık değerlerine nasıl etki edeceği incelenmiştir. 5 g ağırlığında kesilen geri dönüştürülmüş kumaşlar 60°C sıcaklıkta, toplamda 25 dakika sürede ve 6,5 pH derecesinde enzimatik işleme tabi tutulmuştur. Yine 5 tüp olarak çalışılan denemede elyaf ağırlığı üzerinden %0,5 olarak başlayan lakkaz oranı kademeli olarak arttırılmıştır (Çizelge 3.6). Uygulanan proses Şekil 3.5'de verilmiştir. Enzim prosesi aynı sıcaklık, aynı pH seviyesi ve aynı numuneler ile 45 dakika enzimatik işlem + 15 dakika enzimlerin deaktive edilmesi şeklinde toplamda 60 dakika olarak da çalışılmış, elde edilen hidrofilite ve beyazlık seviyesi sonuçlar ise istenilen seviyeden uzak kalmıştır.

**Çizelge 3.6.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan lakkaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları

Enzim Konsantrasyonu (%)	1. Tüp	2. Tüp	3. Tüp	4. Tüp	5. Tüp
Lakkaz	0,5	1	1,5	2	2,5



**Şekil 3.5.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan lakkaz enzimatik ön işlem prosesi

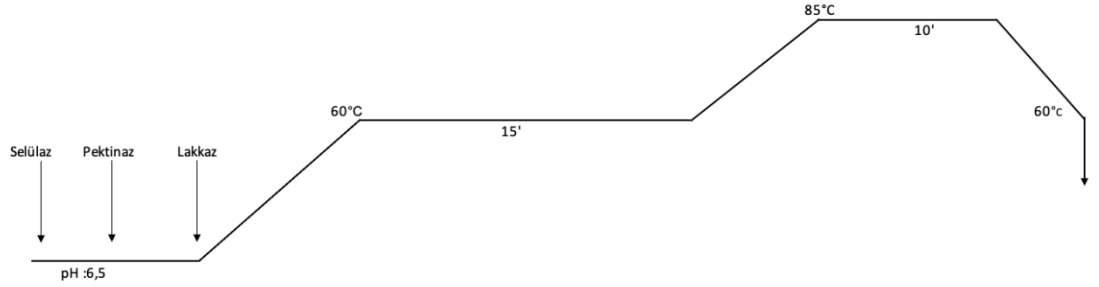
### **Pektinaz + Selüloz + Lakkaz ile Enzimatik İşlem Prosesi**

Enzimatik ön işlem prosesinde, pektinaz ve selüloz enzim konsantrasyonu sabit tutulmuş, artan lakkaz enzim konsantrasyonunun etkisi değerlendirilmiştir. Enzimatik proseste selüloz enzimi %0,2 konsantrasyonda ve pektinaz için %1 konsantrasyon ile çalışılmıştır. 5 g ağırlığında kesilen geri dönüştürülmüş kumaşlar 60°C sıcaklıkta, toplamda 25 dakika sürede ve 6,5 pH derecesinde enzimatik işleme tabi tutulmuştur. Artan lakkaz enzim konsantrasyonlarının ön işlem prosesindeki geri dönüştürülmüş kumaşlardaki etkisi incelenmiştir. Kullanılan enzim konsantrasyonları Çizelge 3.7'de ve prosese ait görsel Şekil 3.6'da verilmiştir. Enzim prosesi aynı sıcaklık, aynı pH seviyesi ve aynı numuneler ile 45 dakika enzimatik işlem + 15 dakika enzimlerin deaktive edilmesi şeklinde toplamda 60 dakika olarak da çalışılmış, elde edilen hidrofilite ve beyazlık seviyesi sonuçlar ise istenilen seviyeden uzak kalmıştır.



**Çizelge 3.7.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan lakkaz enzimatik ön işlem konsantrasyonları

Enzim Konsantrasyonu (%)	1. Tüp	2. Tüp	3. Tüp	4. Tüp	5. Tüp
Selüloz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Pektinaz	1	1	1	1	1
Lakkaz	0,5	1	1,5	2	2,5



**Şekil 3.6.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan lakkaz enzimatik ön işlem prosesi

### 3.2.3. %100 pamuklu ve Geri Dönüştürülmüş Kumaşlara Uygulanan Testler

% 100 pamuklu ve geri dönüştürülmüş havlu kumaşlara uygulanan ön işlem varyasyonları sonrası haslık testleri uygulanmıştır. Hidrofilite (TS 866) testi yapılarak, havlu kumaşların beyazlık (Berger ve stensby) ve sarılık (Yellowness) değerleri ölçülmüştür. Belirlenen kumaşların hav ve kumaş yapıları mikroskop cihazında (Nikon SMZ 18) incelenmiştir. Seçilen kumaşlara mukavemet testi (James Heal marka Titan modeli) yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca belirlenen enzimatik işlem proseslerine ait KOİ ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerler % 100 havlu kumaş ve geri dönüştürülmüş kumaşlar ile karşılaştırılmıştır.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. %100 Pamuklu Havlu Kumaşlara Uygulanan Testler

#### Hidrofilite Testi

Geleneksel ön işlem uygulanan kumaşlara hidrofilite testi TS 866 damlama metoduna göre yapılmıştır. Havlu kumaşın 5 farklı bölgesine 3'er kez uygulanan metot sonrası elde edilen değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Selülaz+pektinaz enzimi uygulanarak yapılan ön işlem prosesine ait hidrofilite değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Geleneksel ön işlem sonrası hidrofilite değerleri

Damlatma	1	2	3	4	5	Ortalama
Saniye	0,15	0,16	0,25	0,18	0,2	0,18

**Çizelge 4.2.** %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz enzim prosesi hidrofilite değerleri ve sütun grafiği

Damlatma	1	2	3	4	5	Ortalama
1.Tüp*	0,65	1,46	2,54	1,7	0,79	1,42
2.Tüp* <sup>2</sup>	0,56	0,83	0,43	0,6	0,47	0,57
3.Tüp* <sup>3</sup>	0,35	0,33	0,20	0,23	0,13	0,20
4.Tüp* <sup>4</sup>	0,23	0,24	0,23	0,18	0,15	0,24
5.Tüp* <sup>5</sup>	0,13	0,17	0,24	0,15	0,13	0,16

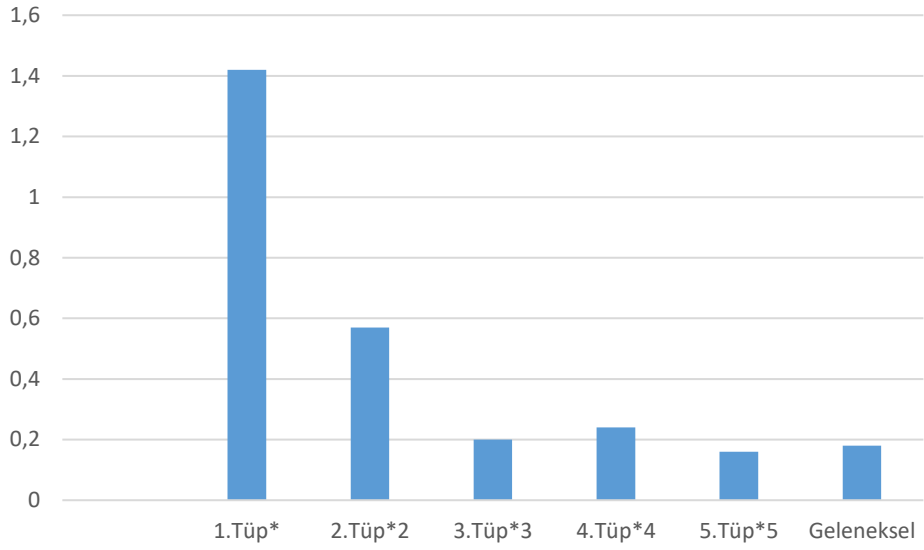
\*1: %0,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*2: %1,0 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*3: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*4: %2,0 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*5: %2,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz



Çizelge 4.2’de verilen hidrofilite değerlerinin en iyi olduğu 3. Tüpte kullanılan enzim konsantrasyonları (pektinaz %0,2 ve selüloz %1,5) seçilmiştir. Selüloz+pektinaz+lakkaz ön işlem prosesi uygulanan havlu kumaşların hidrofilite değerleri ise Çizelge 4.3’te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selüloz+lakkaz enzim prosesi hidrofilite değerleri ve sütun grafiği

Damlatma	1	2	3	4	5	Ortalama
1.Tüp*	0,21	0,23	0,24	0,30	0,20	0,236
2.Tüp* <sup>2</sup>	0,28	0,15	0,33	0,17	0,15	0,216
3.Tüp* <sup>3</sup>	0,3	0,18	0,20	0,24	0,25	0,234
4.Tüp* <sup>4</sup>	0,26	0,38	0,43	0,17	0,21	0,290
5.Tüp* <sup>5</sup>	0,44	0,40	0,25	0,58	0,31	0,396

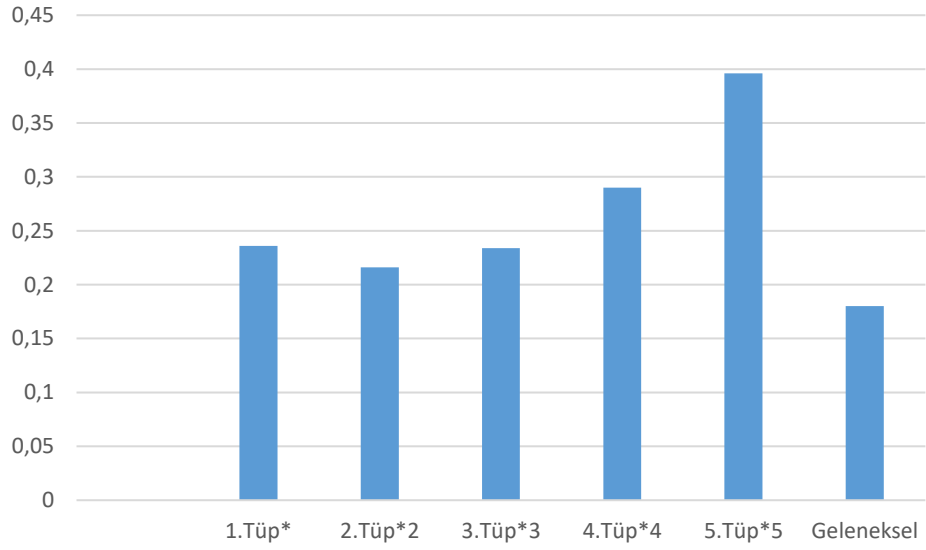
\*1: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selüloz + %0,5 Lakkaz

\*2: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selüloz + %1,0 Lakkaz

\*3: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selüloz + %1,5 Lakkaz

\*4: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selüloz + %2,0 Lakkaz

\*5: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selüloz + %2,5 Lakkaz



Lakkaz enziminin ön işlem prosesinde kullanılması ile elde edilen hidrofilite değerleri incelendiğinde, en iyi sonucun olduğu 2. Tüp seçilmiştir.

%100 pamuklu havlu kumaşların enzimatik ön işlem sonrası hidrofilite değerleri karşılaştırıldığında lakkaz kullanımının hidrofiliteyi arttırdığı sonucuna varılmıştır.

#### **Beyazlık (Berger/Stensby) ve Sarılık (Yellowness) Değerleri**

Geleneksel ön işlem ve enzimatik ön işlem sonrası kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri incelenmiştir. %100 pamuklu havlu kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Geleneksel ön işlem sonrası %100 pamuklu havlu kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri

<b>Geleneksel Ön İşlem Prosesi</b>	<b>Stensby</b>	<b>Whiteness</b>	<b>GEPQS2 Yellowness</b>	<b>DIN6167 Yellowness</b>	<b>Yellowness E31</b>
Kumaş	83,73	69,48	13,35	6,22	6,22

Geleneksel ön işlem uygulanan kumaştan sonra enzimatik ön işlem prosesi üzerine çalışılmıştır. Enzimatik ön işlem prosesinde pektinaz+selülaz kullanılarak ön işlem yapılan proses sonrası kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz enzim prosesi beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği

Beyazlık ve Sarılık Değerleri	Stensby	Whiteness	GEPQS2 Yellowness	DIN6167 Yellowness	Yellowness E31
1.Tüp* <sup>1</sup>	57,21	21,01	28,28	22,33	22,33
2.Tüp* <sup>2</sup>	56,17	19,87	28,44	22,49	22,49
3.Tüp* <sup>3</sup>	55,66	16,74	29,8	23,93	23,93
4.Tüp* <sup>4</sup>	54,7	15,7	30,43	24,63	24,63
5.Tüp* <sup>5</sup>	54,8	15,57	30,17	24,33	24,33

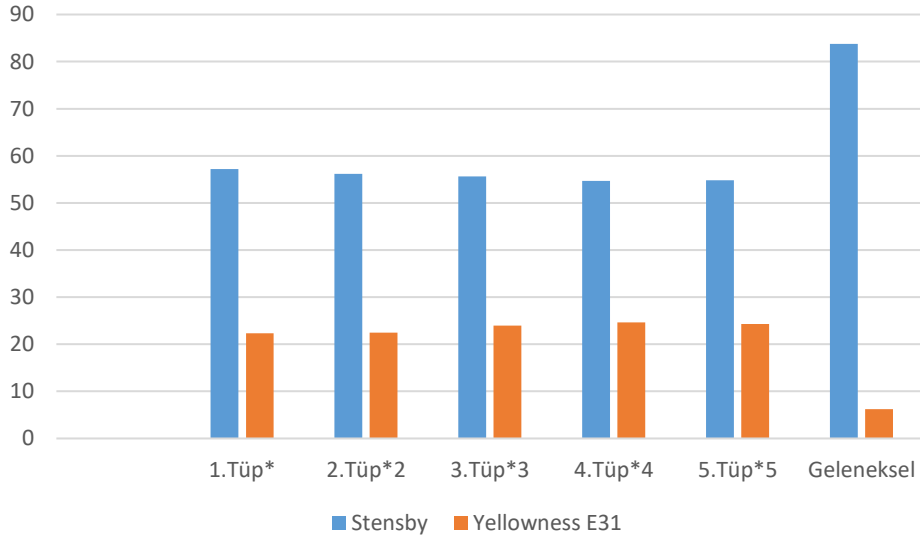
\*<sup>1</sup>: %0,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*<sup>2</sup>: %1,0 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*<sup>3</sup>: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*<sup>4</sup>: %2,0 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*<sup>5</sup>: %2,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz



**Çizelge 4.6.** %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz+lakkaz enzim prosesi beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği

Beyazlık ve Sarılık Değerleri	Stensby	Whiteness	GEPQS2 Yellowness	DIN6167 Yellowness	Yellowness E31
1.Tüp*	56,13	18,84	29,26	23,38	23,38
2.Tüp* <sup>2</sup>	55,83	17,69	29,8	23,96	23,96
3.Tüp* <sup>3</sup>	51,67	12,79	31,9	26,23	26,23
4.Tüp* <sup>4</sup>	50,35	10,24	33,02	27,43	27,43
5.Tüp* <sup>5</sup>	48,29	6,64	34,96	29,53	29,53

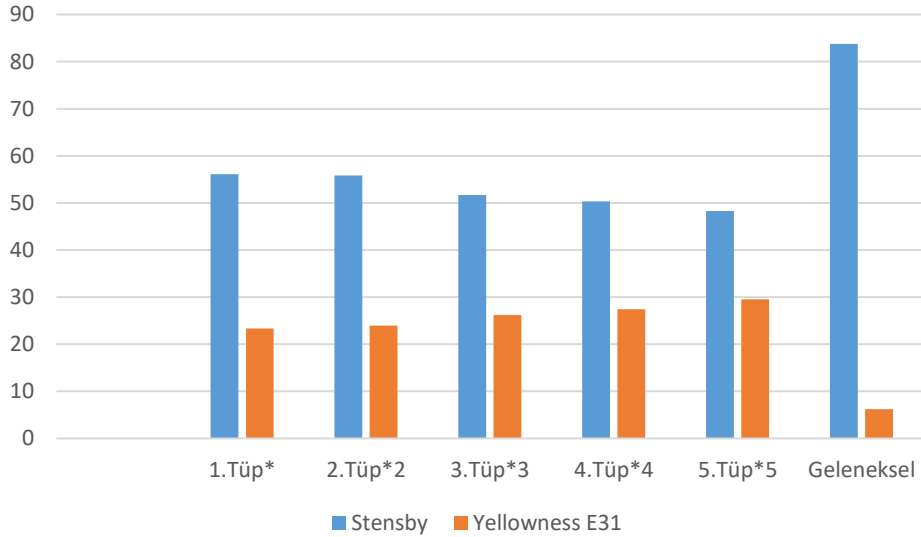
\*<sup>1</sup>: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %0,5 Lakkaz

\*<sup>2</sup>: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %1,0 Lakkaz

\*<sup>3</sup>: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %1,5 Lakkaz

\*<sup>4</sup>: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %2,0 Lakkaz

\*<sup>5</sup>: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %2,5 Lakkaz



Çizelge 4.6 incelediğinde en iyi beyazlık değerlerinin 1. Tüpte olduğu tespit edilmiştir. Hidrofilite seviyesinin en iyi olduğu 1. Tüp beyazlık seviyesinde de bu deneme özelinde en iyi noktadır. Hidrofilite için de çıkarabileceğimiz sonuç gibi lakkaz enzimi belirli

bir doyma noktasına kadar pamuk lifi bünyesinde istenen beyazlık ve su emicilik sonuçlarını göstermekte fakat doyma noktası sonrasında bu seviye azalmaya başlamaktadır

### **Mukavemet değerleri**

Geleneksel ön işlem görmüş %100 pamuklu havlu kumaşa ve başarılı çalışma olarak görülen pektinaz+selülaz+lakkaz ile 2.tüpte işlem gören kumaşa mukavemet testleri yapılmıştır. 5 çözgü ve 5 atkı yönünden numuneler alınarak, ti standardı ile testler gerçekleştirilmiştir. Geleneksel ön işlem görmüş %100 pamuklu havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları Çizelge 4.7.'de ve pektinaz+selülaz+lakkaz ile 2.tüpte işlem gören %100 pamuklu kumaşı mukavemet testi sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Geleneksel ön işlem görmüş %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan mukavemet testi sonuçları

<b>Numune (Çözgü)</b>	<b>Maximum Güç (N)</b>	<b>Maksimum Kuvvette Uzama (%)</b>	<b>Kopma Kuvveti</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Zamanı (S)</b>
1	368.81	10.29	294.63	11.25	00:13
2	436.79	12.51	337.78	12.76	00:15
3	453.7	12.68	360.2	12.96	00:15
4	412.48	11.26	329.54	11.93	00:14
5	358.13	12.13	274.17	12.51	00:15
Ortalama	405.98	11.77	319.28	12.28	00:14
Min	358.13	10.29	274.17	11.25	00:13
Maks	453.7	12.68	360.28	12.96	00:15
Oran	95.57	2.39	86.11	1.71	00:02
Orta	412.48	12.13	329.54	12.51	00:15
Std. Sapma	41.66	0.9962	34.54	0.6956	00:00
Güven Limitleri	± 51.64	± 1.23	± 42.82	± 0.8623	± 00:01
Dağ. Katsayı	%10.26	%8.46	%10.82	%5.66	%5.53



**Çizelge 4.7.** Geleneksel ön işlem görmüş %100 pamuklu havlu kumaşa uygulanan mukavemet testi sonuçları(devam)

Numune (Atkı)	Maximum Güç (N)	Maksimum Kuvvette Uzama (%)	Kopma Kuvveti	Kopma Uzaması (%)	Kopma Zamanı (S)
1	434.89	30.01	303.56	30.14	00:36
2	419.93	29.72	261.06	29.85	00:35
3	350.2	30.44	265.19	30.56	00:36
4	358.77	29.23	259.55	29.36	00:35
5	402.97	27.67	297.82	27.84	00:33
Ortalama	393.35	29.41	277.44	29.55	00:35
Min	350.2	27.67	259.55	27.84	00:33
Maks	434.89	30.44	303.56	30.56	00:36
Oran	84.68	2.77	44.01	2.73	00:03
Orta	402.97	29.72	265.19	29.85	00:35
Std. Sapma	37.36	1.07	21.42	1.05	00:01
Güven Limitleri	± 46.31	± 1.33	± 26.56	± 1.31	± 00:01
Dağ. Katsayı	%9.5	%3.64	%7.72	%3.56	%3.58

**Çizelge 4.8.** Pektinaz+selülaz+lakkaz ile 2.tüpte işlem gören %100 pamuklu kumaşa uygulanan mukavemet testi sonuçları

<b>Numune (Çözgü)</b>	<b>Maximum Güç (N)</b>	<b>Maksimum Kuvvette Uzama (%)</b>	<b>Kopma Kuvveti</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Zamanı (S)</b>
1	357.09	13.46	281.53	15.77	0,0131944
2	280.24	14.1	222.70	15.26	0,0125
3	286	14.44	227.9	16.94	0,0138889
4	380.78	11.96	303.28	13.10	0,0104167
5	392.78	13.27	311.69	14.23	0,0125
Ortalama	339.27	13.45	269.44	15.06	00:18
Min	280.24	11.96	222.79	13.10	00:15
Maks	392.22	14.44	311.69	16.94	00:20
Oran	111.99	2.48	88.90	3.84	00:04
Orta	357.09	13.46	281.53	15.26	00:18
Std. Sapma	52.83	0.9556	41.77	1.47	00:01
Güven Limitleri	± 65.49	± 1.18	± 51.78	± 1.82	± 00:02
Dağ. Katsayı	%15.57	%7.11	%15.50	%9.74	%9.09

**Çizelge 4.8.** Pektinaz+selüloz+lakkaz ile 2.tüpte işlem gören %100 pamuklu kumaşa uygulanan mukavemet testi sonuçları (devam)

Numune (Atkı)	Maximum Güç (N)	Maksimum Kuvvette Uzama (%)	Kopma Kuvveti	Kopma Uzaması (%)	Kopma Zamanı (S)
1	337.92	27.83	266.42	28.33	00:34
2	338.79	28.08	241.25	28.25	00:33
3	342.93	28.26	243.37	28.51	00:34
4	340.69	27.21	270.84	27.64	00:33
5	328.48	28.43	260.3	29.72	00:35
Ortalama	337.76	27.96	256.44	28.49	00:34
Min	328.48	27.21	241.25	27.64	00:33
Maks	342.93	28.43	270.84	29.72	00:35
Oran	14.44	Oca.22	29.59	2.08	00:02
Orta	338.79	28.08	260.3	28.33	00:34
Std. Sapma	5.53	0.4746	13.45	0.7624	00:00
Güven Limitleri	± 6.86	± 0.5884	± 16.67	± 0.9452	± 00:01
Dağ. Katsayı	%1.64	%1.7	%5.24	%2.68	%2.69

Geleneksel ön işlem görmüş %100 havlu kumaşının mukavemet değerinin enzimatik işlem görmüş %100 havlu kumaşına göre daha yüksek olduğu Çizelge 4.7. ve Çizelge 4.8.'de görülmüştür. Çözü yönündeki mukavemet kaybının %16,3 ve atkı yönündeki mukavemet kaybının %14,2 olduğu görülmektedir.

### **KOİ değerleri**

Geleneksel ön işlem görmüş %100 pamuklu kumaş ve pektinaz+selüloz+lakkaz ile 2.tüpte işlem gören %100 pamuklu kumaş proses sularına kimyasal oksijen ihtiyacı testi yapılmıştır. Yapılan KOİ testi kapalı tirimetrik metod, Standart Methods 5520 C: Closed Reflux, Trimetric Method, APHA, 19th edn, American Public Health Association, 1995 standardına göre gerçekleştirilmiştir. KOİ testi atıkların organik kirlilik derecelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Test sonucunda elde edilen değer, su içindeki karbonlu

maddelerin karbondioksite dönüşmesi için ilave edilmesi gereken oksijen miktarını ifade etmektedir. KOİ testi sonuçları Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** %100 Pamuklu kumaş KOİ ölçüm sonuçları

Numune	300-3500 Mg/Litre	500-10000 Mg/Litre
%100 Pamuk Ağartma	>3500	4285
Pektinaz+selülaz+lakkaz ile 2.tüpte işlem gören %100 pamuklu kumaş	>3500	4085

Çizelge 4.9.'da görülen sonuçlara göre geleneksel işlemin kimyasal oksijen ihtiyacı yüksektir. Enzimatik proses ile geleneksel proses arasında %4,66 fark oluşmaktadır.

### **Mikroskop**

Geleneksel ön işlem görmüş %100 pamuk havlu kumaşı ile pektinaz+selülaz+lakkaz ile 2.tüpte işlem gören %100 pamuklu kumaş Nikon SMZ 18 model mikroskopta incelenmiştir. Yapılan inceleme, hav bukleleri ve hav iplikleri olarak 2 yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde hav bukle görüntüleri Şekil 4.1'de, kumaş görüntüleri ise 4.2'de verilmiştir.

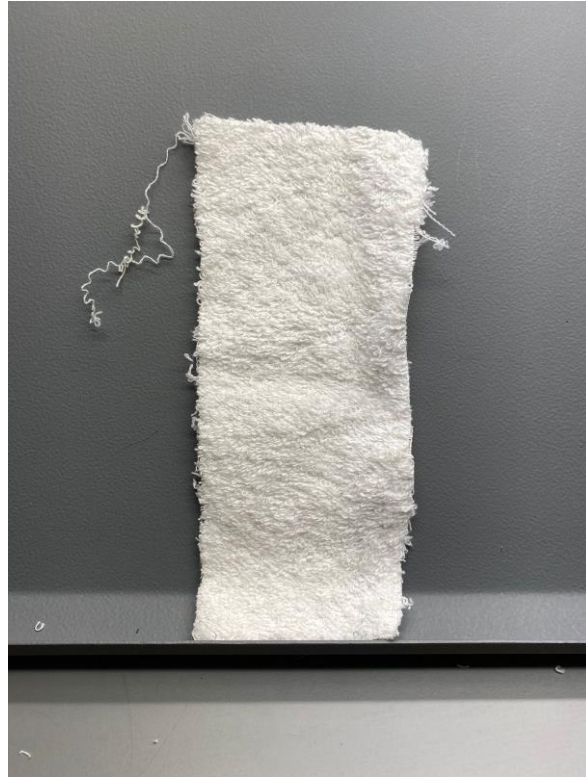


**Şekil 4.1.** %100 Pamuk İçin Ağartma İşlemi Görmüş Hav Buklesi (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Hav Buklesi (Sağ)

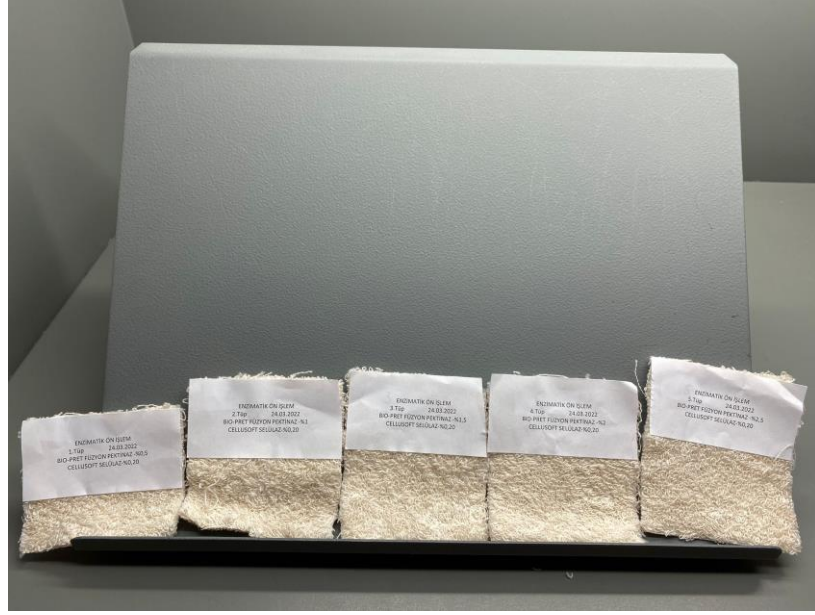


**Şekil 4.2.** %100 Pamuk Ağartma İşlemi Görmüş Kumaş (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Kumaş (Sağ)

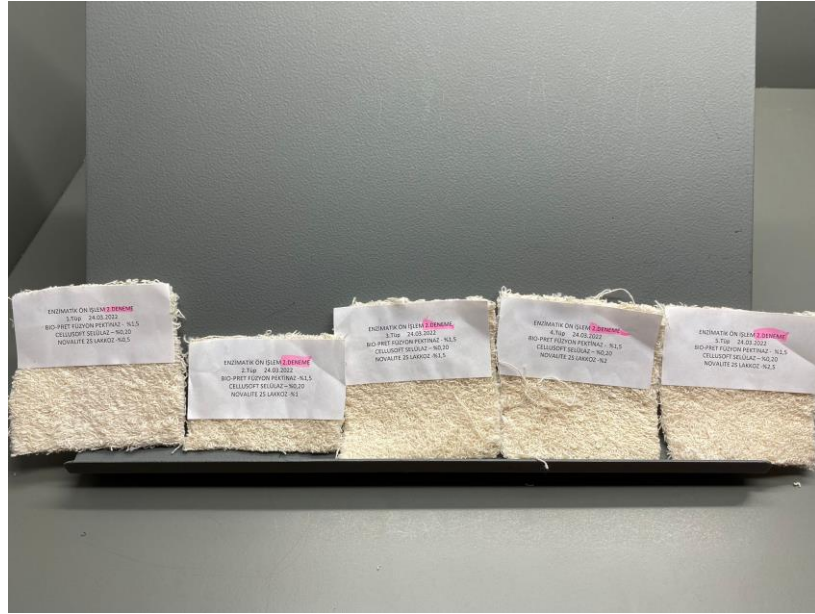
Görseller incelendiğinde geleneksel ağartma işleminin beyazlatma etkisinin enzimatik işleme göre çok daha güçlü olduğu açık şekilde görünmektedir. Bununla birlikte enzimatik işlem görmüş olan havlu kumaşının daha az deforme olduğu, liflerin daha az zarara maruz kaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.3.** %100 Pamuk Geleneksel Ağartma İşlemi



**Şekil 4.4.** %100 Pamuk Selülaz + Pektinaz Enzimatik İşlem



**Şekil 4.5.** %100 Pamuk %100 Pamuk Selülaz + Pektinaz+ Lakkaz Enzimatik İşlem

## 4.2. Geri Dönüştürülmüş Havlu Kumaşlara Uygulanan Testler

### Hidrofilite Testi

Geri dönüştürülmüş kumaşlara hidrofilite testi TS 866 damlama metoduna göre yapılmıştır. Havlu kumaşın 5 farklı bölgesine 3'er kez uygulanan metot sonrası elde edilen değerler Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Selülaz+pektinaz enzimi uygulanarak yapılan ön işlem prosesine ait hidrofilite değerleri Çizelge 4.11'de, lakkaz ile yapılan çalışmaların hidrofilite değerleri Çizelge 4.12.'de ve pektinaz+selülaz+lakkaz enzimlerinin birlikte kullanıldığı işlemin hidrofilite sonuçları Çizelge 4.13.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Geleneksel işlem sonrası hidrofilite değerleri

<b>Damlatma</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Ortalama</b>
Ortalama (sn)	12,73	10,64	11,91	9,33	9,82	10,88

Çizelge 4.10'da geri dönüştürülmüş havlu kumaşının bu hali ile su emicilik değeri kabul edilebilir değerin altındadır. Kumaşın farklı bölgelerine 5 damlatma yapılarak hidrofilite testi yapıldığında ortalama hidrofilite değeri 10,88 saniye çıkmaktadır ki kabul edilebilir değer 5 saniye altında olmalıdır.

**Çizelge 4.11.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz enzim prosesi hidrofilite değerleri ve sütun grafiği

Damlatma	1	2	3	4	5	Ortalama
1.Tüp*	3,67	5,38	5,36	3,7	4	4,42
2.Tüp* <sup>2</sup>	7,47	3,38	7,5	4,08	4,42	5,37
3.Tüp* <sup>3</sup>	5,54	2,53	2,71	4,32	5,12	4,04
4.Tüp* <sup>4</sup>	10,23	9,87	7,15	8,23	7,86	8,66
5.Tüp* <sup>5</sup>	9,89	7,3	3,54	5,28	6,78	6,55

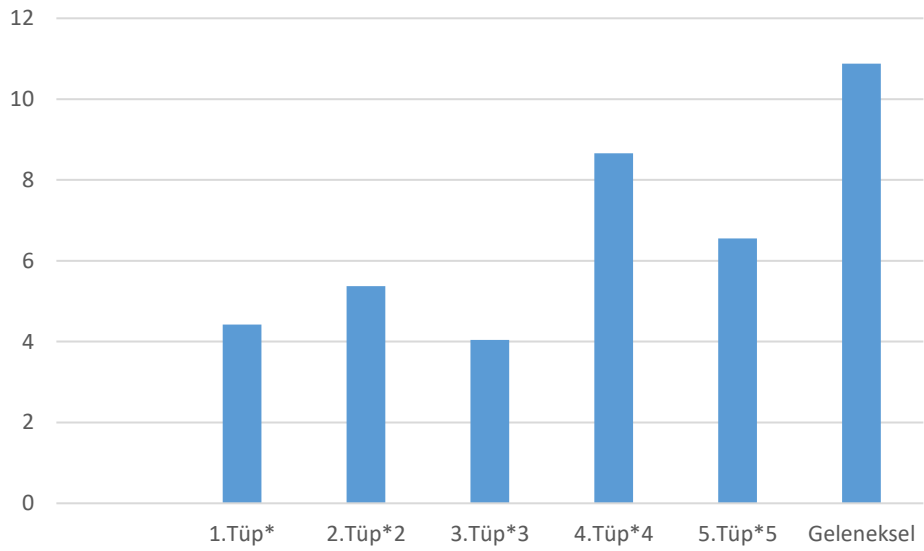
\*<sup>1</sup>: %0,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*<sup>2</sup>: % 1,0 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*<sup>3</sup>: %1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*<sup>4</sup>: %2,0 Pektinaz + %0,2 Selülaz

\*<sup>5</sup>: %2,5 Pektinaz + %0,2 Selülaz





**Çizelge 4.12.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşa uygulanan lakkaz enzim prosesi hidrofilité değerleri ve sütun grafiği

Damlatma	1	2	3	4	5	Ortalama
1.Tüp*	1,52	1,3	1,34	1,32	1,36	1,36
2.Tüp* <sup>2</sup>	1,43	1,41	1,62	1,48	1,52	1,49
3.Tüp* <sup>3</sup>	2,83	1,5	1,71	2,02	2,11	2,03
4.Tüp* <sup>4</sup>	1,82	1,91	2,24	1,92	2,03	1,98
5.Tüp* <sup>5</sup>	1,71	1,93	2,11	1,84	1,96	1,91

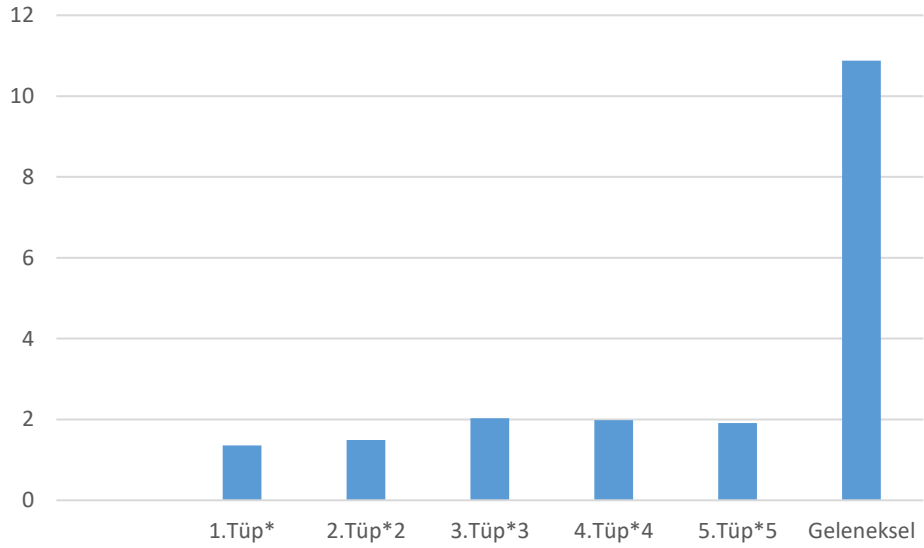
\*<sup>1</sup>: %0,5 Lakkaz

\*<sup>2</sup>: % 1,0 Lakkaz

\*<sup>3</sup>: % 1,5 Lakkaz

\*<sup>4</sup>: %2,0 Lakkaz

\*<sup>5</sup>: %2,5 Lakkaz



**Çizelge 4.13.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşa uygulanan pektinaz+selülaz+lakkaz enzim prosesi hidrofilite değerleri ve sütun grafiği

Damlatma	1	2	3	4	5	Ortalama
1.Tüp*	1,12	1,93	2,11	1,52	1,91	1,71
2.Tüp* <sup>2</sup>	1,84	2,75	2,81	2,52	2,34	2,45
3.Tüp* <sup>3</sup>	1,81	2,64	2,12	2,15	2,13	2,17
4.Tüp* <sup>4</sup>	2,34	3,82	3,21	3,04	3,09	3,1
5.Tüp* <sup>5</sup>	2,11	2,53	2,6	2,45	2,47	2,43

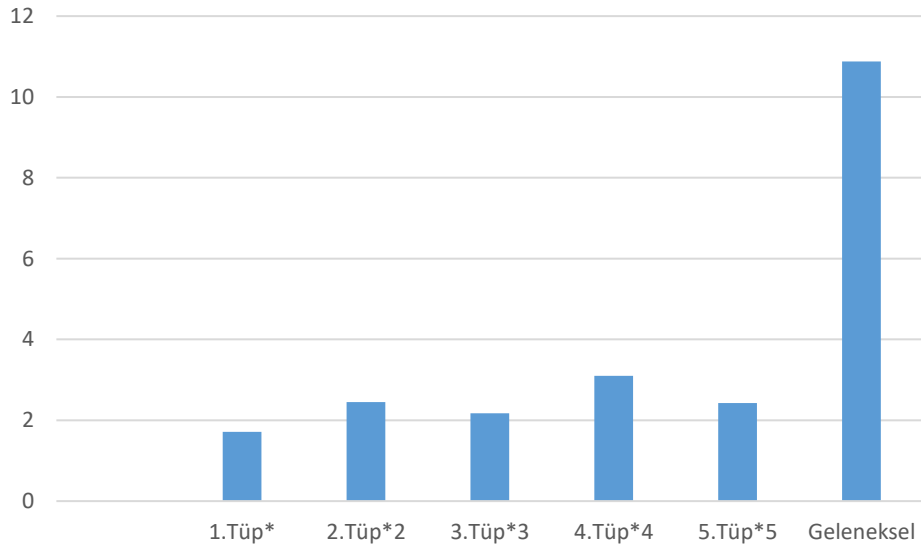
\*<sup>1</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %0,5 Lakkaz

\*<sup>2</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %1,0 Lakkaz

\*<sup>3</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %1,5 Lakkaz

\*<sup>4</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %2,0 Lakkaz

\*<sup>5</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaz + %2,5 Lakkaz



#### **Beyazlık (Berger/Stensby) ve Sarılık (Yellowness) Değerleri**

Geleneksel şekilde geri dönüştürülmüş ve enzimatik işlem gören geri dönüştürülmüş kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri incelenmiştir. Geleneksel şekilde geri dönüştürülmüş havlu kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri Çizelge 4.14’de verilmiştir.

**Çizelge 4.14** Geleneksel şekilde geri dönüştürülmüş havlu kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri

<b>Beyazlık ve Sarılık Değerleri</b>	<b>Stensby</b>	<b>Whiteness</b>	<b>GEPQS2 Yellowness</b>	<b>DIN6167 Yellowness</b>	<b>Yellowness E31</b>
Kumaş	52,68	16,75	30,85	25,15	25,15

Geri dönüştürülmüş kumaşın pektinaz + selülaz ile enzimatik işlem sonrası beyazlık ve sarılık değerleri Çizelge 4.15.'de, sadece lakkaz ile enzimatik işlem sonrası beyazlık ve sarılık değerleri Çizelge 4.16'da ve pektinaz+selülaz+lakkaz ile enzimatik işlem sonrası beyazlık ve sarılık değerleri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

**Çizelge 4.15.** Pektinaz+selülaaz ile enzimatik işlem gören geri dönüştürülmüş havlu beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği

Beyazlık ve Sarılık Değerleri	Stensby	Whiteness	GEPQS2 Yellowness	DIN6167 Yellowness	Yellowness E31
1.Tüp*	42,94	47,33	14,39	7,73	7,73
2.Tüp* <sup>2</sup>	45,66	50,29	13,05	6,26	6,26
3.Tüp* <sup>3</sup>	42,33	47,47	14,11	7,43	7,43
4.Tüp* <sup>4</sup>	58,48	64,24	7,01	3,5	3,5
5.Tüp* <sup>5</sup>	41,58	48,03	13,89	7,21	7,21

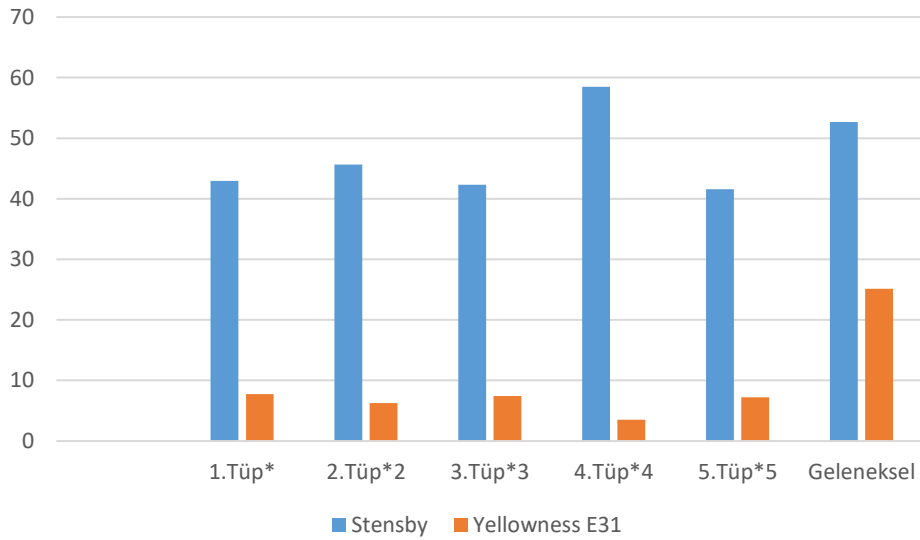
\*1: %0,5 Pektinaz + %0,2 Selülaaz

\*2: % 1,0 Pektinaz + %0,2 Selülaaz

\*3: % 1,5 Pektinaz + %0,2 Selülaaz

\*4: %2,0 Pektinaz + %0,2 Selülaaz

\*5: %2,5 Pektinaz + %0,2 Selülaaz



**Çizelge 4.16.** Lakkaz ile enzimatik işlem gören geri dönüştürülmüş havlu beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği

Beyazlık ve Sarılık Değerleri	Stensby	Whiteness	GEPQS2 Yellowness	DIN6167 Yellowness	Yellowness E31
1.Tüp*	47,16	43,63	16,32	9,72	9,72
2.Tüp* <sup>2</sup>	49,43	43,46	17,31	10,76	10,76
3.Tüp* <sup>3</sup>	47,58	36,97	19,93	13,56	13,56
4.Tüp* <sup>4</sup>	46,46	34,51	20,97	14,68	14,68
5.Tüp* <sup>5</sup>	51,21	36,73	20,8	14,45	14,45

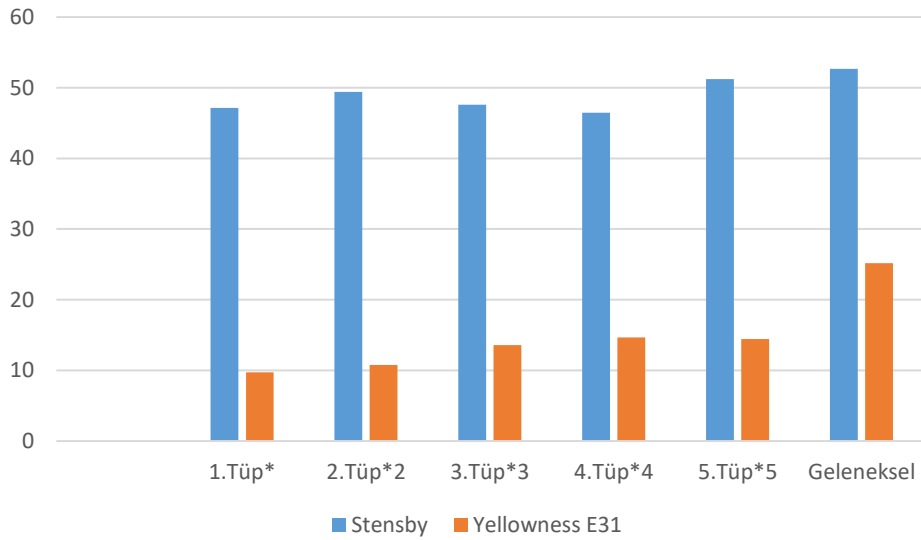
\*1: %0,5 Lakkaz

\*2: %1,0 Lakkaz

\*3: %1,5 Lakkaz

\*4: %2,0 Lakkaz

\*5: %2,5 Lakkaz



**Çizelge 4.17.** Pektinaz+selülaaz+lakkaz ile enzimatik işlem gören geri dönüştürülmüş havlu beyazlık ve sarılık değerleri ve sütun grafiği

Beyazlık ve Sarılık Değerleri	Stensby	Whiteness	GEPQS2 Yellowness	DIN6167 Yellowness	Yellowness E31
1.Tüp*	44,91	43,49	17,33	10,84	10,84
2.Tüp* <sup>2</sup>	42,24	34,56	21,48	15,3	15,3
3.Tüp* <sup>3</sup>	41,23	30,86	23,23	17,17	17,17
4.Tüp* <sup>4</sup>	40,86	27,74	24,37	18,39	18,39
5.Tüp* <sup>5</sup>	40,84	28,4	23,94	17,93	17,93

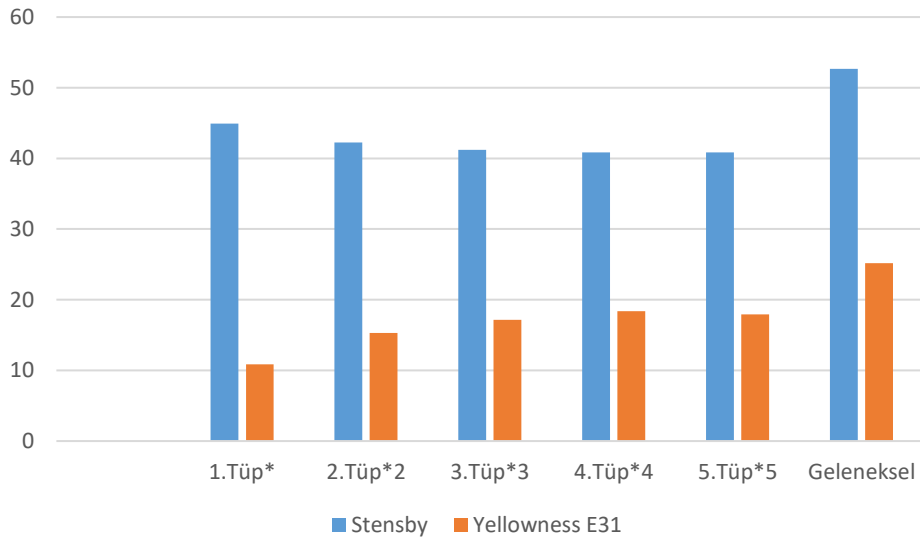
\*<sup>1</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaaz + %0,5 Lakkaz

\*<sup>2</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaaz + %1,0 Lakkaz

\*<sup>3</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaaz + %1,5 Lakkaz

\*<sup>4</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaaz + %2,0 Lakkaz

\*<sup>5</sup>: %1 Pektinaz + %0,2 Selülaaz + %2,5 Lakkaz



Ölçülen beyazlık ve sarılık değerleri içinde Çizelge 4.15.'de gösterilen pektinaz+selülaaz ile yapılan çalışmanın 4.tüpünde olduğu görülmüştür. Pektinaz değeri yükseldikçe beyazlığın belirli bir doyma noktasına kadar pozitif yönde etkilendiği görülmüştür. Lakkazın varlığının artmasının beyazlık ve sarılık değerlerini negatif yönde etkilediği hem Çizelge 4.16.'de hem de 4.17.'de görülmüştür.

### Mukavemet değerleri

Geleneksel işlem görmüş geri dnüşrlmüş havlu kumaşa ve başarılı çalışma olarak görülen pektinaz+selülaz ile 4.tüpte işlem gören kumaşa mukavemet testleri yapılmıştır. 5 çözgü ve 5 atkı yönünden numuneler alınarak, EN ISO 13934-2:2014 standardı ile testler gerçekleştirilmiştir. Geleneksel işlem görmüş geri dnüşrlmüş havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları izelge 4.18.'de ve pektinaz+selülaz ile 4.tüpte işlem gören geri dnüşrlmüş havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları izelge 4.19.'da verilmiştir.

**Çizelge 4.18.** Geleneksel işlem görmüş geri dnüşrlmüş havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları

<b>Numune (zg)</b>	<b>Maximum G (N)</b>	<b>Maksimum Kuvvette Uzama (%)</b>	<b>Kopma Kuvveti</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Zamanı (S)</b>
1	316.64	41.08	252.97	52.35	01:02
2	296.28	38.99	236.91	47.86	00:57
3	263.4	35.83	209.9	46.14	00:55
4	297.42	34.86	237.37	46.14	00:55
5	319.00	38.20	255.04	50.98	01:01
Ortalama	298.55	37.79	238.44	48.69	00:58
Min	263.42	34.86	209.92	46.14	00:55
Maks	319.00	41.08	255.04	52.35	01:02
Oran	55.59	6.22	45.12	6.21	00:07
Orta	297.42	38.20	237.37	47.86	00:57
Std. Sapma	22.28	2.5	18.05	2.84	00:03
Güven Limitleri	±27.62	±3.09	±22.38	±3.52	±00:04
Dağ. Katsayı	%7.46	%6.60	%7.57	%5.84	%5.90

**Çizelge 4.18.** Geleneksel işlem görmüş geri dönüştürülmüş havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları(devam)

<b>Numune (Atkı)</b>	<b>Maximum Güç (N)</b>	<b>Maksimum Kuvvette Uzama (%)</b>	<b>Kopma Kuvveti</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Zamanı (S)</b>
1	319.63	47.88	255.21	57.59	01:09
2	302.50	44.52	241.97	52.58	01:03
3	243.84	42.55	194.87	51.43	01:01
4	256.23	45.59	204.50	56.36	01:07
5	260.14	45.43	207.55	54.29	01:05
Ortalama	276.47	45.19	220.82	54.45	01:05
Min	243.84	42.55	194.87	51.43	01:01
Maks	319.63	47.88	255.21	57.59	01:09
Oran	75.79	5.34	60.34	6.15	00:07
Orta	260.14	45.43	207.55	54.29	01:05
Std. Sapma	32.72	1.93	26.20	2.56	00:03
Güven Limitleri	±40.56	±2.39	±32.48	±3.17	±00:03
Dağ. Katsayı	%11.83	%4.27	%11.87	%4.69	%4.65



**Çizelge 4.19.** Pektinaz+Selülaz ile 4.tüpte işlem gören geri dönüştürülmüş havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları

<b>Numune (Çözgü)</b>	<b>Maximum Güç (N)</b>	<b>Maksimum Kuvvette Uzama (%)</b>	<b>Kopma Kuvveti</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Zamanı (S)</b>
1	353.39	19.53	280.21	20.77	00:25
2	378.81	22.36	302.65	23.57	00:28
3	451.59	18.82	359.46	19.53	00:23
4	433.77	16.48	344.87	17.19	00:20
5	420.58	16.23	307.58	17.10	00:20
Ortalama	407.63	18.68	318.95	19.63	00:23
Min	353.39	16.23	280.21	17.10	00:20
Maks	451.59	22.36	359.46	23.57	00:28
Oran	98.20	6.13	79.24	6.47	00:07
Orta	420.58	18.82	307.58	19.53	00:23
Std. Sapma	40.48	2.51	32.43	2.70	00:03
Güven Limitleri	±50.19	±3.11	±40.21	±3.35	±00:03
Dağ. Katsayı	%9.93	%13.42	%10.17	%13.76	%13.63

**Çizelge 4.19.** Pektinaz+Selülaz ile 4.tüpte işlem gören geri dönüştürülmüş havlu kumaşı mukavemet testi sonuçları(devam)

Numune (Atkı)	Maximum Güç (N)	Maksimum Kuvvette Uzama (%)	Kopma Kuvveti	Kopma Uzaması (%)	Kopma Zamanı (S)
1	330.50	32.43	225.05	32.56	00:39
2	358.17	32.14	227.68	32.26	00:38
3	345.09	32.43	260.58	32.36	00:39
4	344.12	29.68	242.99	29.82	00:35
5	343.96	29.05	266.60	29.13	00:35
Ortalama	344.37	31.15	254.58	31.27	00:37
Min	330.50	29.05	225.05	29.13	00:35
Maks	358.17	32.43	277.68	32.56	00:39
Oran	27.67	3.38	52.63	3.43	00:04
Orta	344.12	32.14	260.58	32.26	00:38
Std. Sapma	9.79	1.65	20.74	1.66	00:01
Güven Limitleri	±12.14	±2.04	±25.71	±2.05	±00:02
Dağ. Katsayı	%2.84	%5.28	%8.15	%5.30	%5.31

Çizelge 4.18. ve Çizelge 4.19.'da incelenen mukavemet sonuçlarına göre enzimatik işlem görmüş geri dönüştürülmüş kumaşın, geleneksel işlem görmüş ve yumuşatıcı kimyasal içeren geri dönüştürülmüş kumaştan daha mukavemetli olduğu görülmüştür. Enzimatik işlem görmüş havlu kumaşın çözgü yönünde %26,75 ve atkı yönünde %19,7 daha mukavemetli olduğu görülmüştür.

### **KOI değerleri**

Geleneksel işlem görmüş geri dönüştürülmüş kumaş ve pektinaz+selülaz ile 4.tüpte işlem gören geri dönüştürülmüş havlu kumaş proses sularına kimyasal oksijen ihtiyacı testi yapılmıştır. Yapılan KOİ testi tirimetrik metod, Standart Methods 5520 C: Closed Reflux,

Trimetric Method, APHA, 19th edn, American Public Health Association, 1995 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Koi testi sonuçları Çizelge 4.20’de verilmiştir

**Çizelge 4.20.** Geri dönüştürülmüş havlu kumaşının KOİ sonuçları

<b>Numune</b>	<b>300-3500 Mg/Litre</b>	<b>500-10000 Mg/Litre</b>
Geri dönüştürülmüş Geleneksel Rucofin GSP 9g/Litre	>3500	7150
Pektinaz+selülaz ile 4.tüpte işlem gören geri dönüştürülmüş havlu kumaş	>3500	4255

Çizege 4.20.’de görülen sonuçlara göre enzimatik işlemin kimyasal oksijen ihtiyacı düşüktür. Endüstriyel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biri olan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) sudaki yükseltgenabilir maddelerin kimyasal yolla oksitlenmeleri için gerekli oksijen miktarını tanımlamaktadır. Sonuçlar açısından bakıldığında enzimatik işlem sonrası KOİ miktarı konvansiyonel işleme göre yaklaşık %40.48 oranında daha düşük çıkmıştır.

### **Mikroskop Görüntüleri**

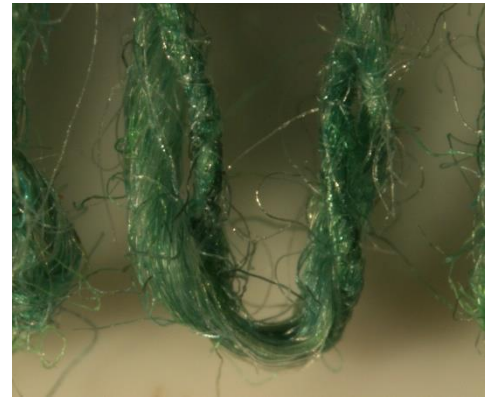
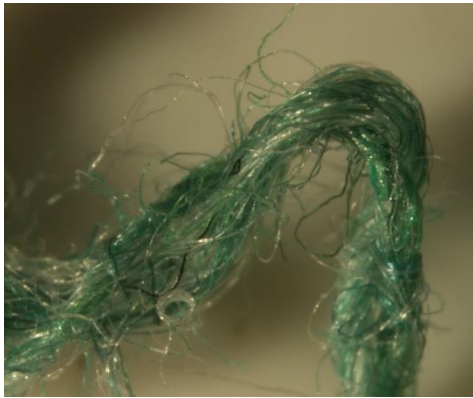
Geleneksel işlem görmüş geri dönüştürülmüş havlu kumaşı ile pektinaz+selülaz ile 4.tüpte işlem gören geri dönüştürülmüş havlu kumaş Nikon SMZ 18 model mikroskopta incelenmiştir. Yapılan inceleme hav bukleleri ve hav iplikleri olarak ve renkleri olarak 3 yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde hav bukle görüntüleri Şekil 4.6. ve 4.8’de verilirken. Kumaş görüntüleri ise 4.7. ve 4.9.’da verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Geleneksel Olarak Geri Dönüştürülmüş Beyaz Bukle (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Beyaz Bukle (Sağ)



**Şekil 4.7.** Geleneksel İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Beyaz Kumaş (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Beyaz Kumaş (Sağ)

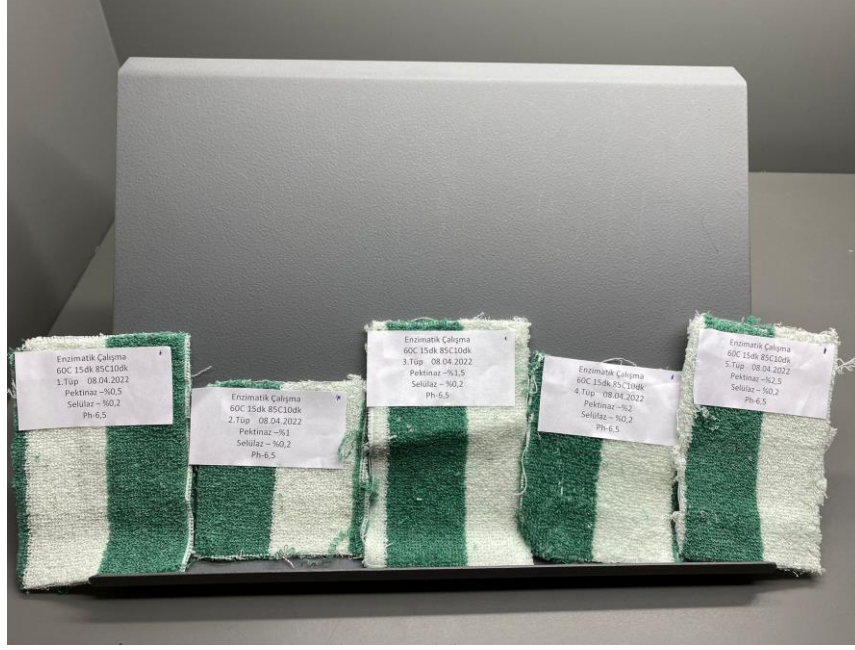


**Şekil 4.8.** Geleneksel İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Yeşil Bukle (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Yeşil Bukle (Sağ)

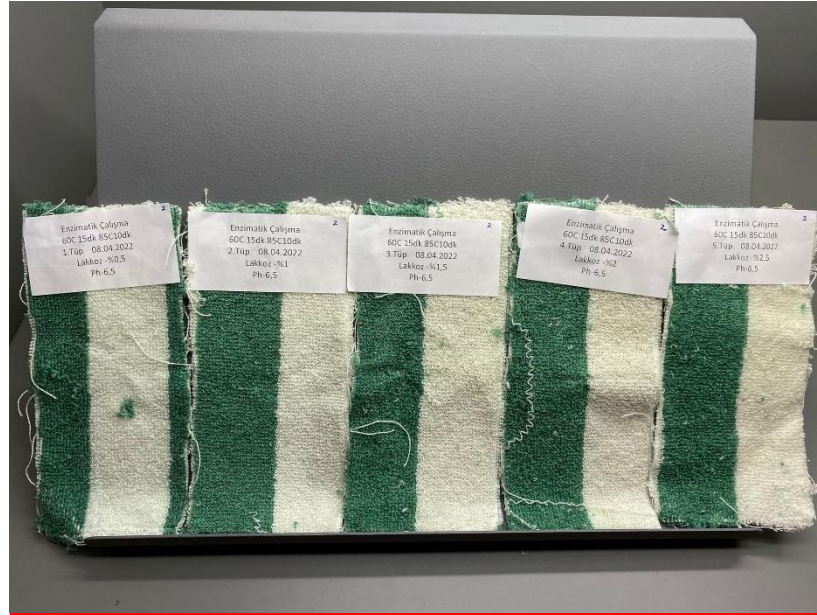


**Şekil 4.9.** Geleneksel İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Yeşil Kumaş (Sol) ve Enzimatik İşlem Görmüş Geri Dönüştürülmüş Yeşil Kumaş (Sağ)

Enzimatik işlem görmüş geri dönüştürülmüş havluların renk açısından daha parlak ve beyaz nüanslı olduğu görülmektedir. Enzimatik olarak işlem gören kumaş burada %2 pektinaz + %0,2 selüloz oranlarında çalışma yapılmış kumaştır ve beyazlık – sarılık tablosu da incelendiğinde burada selülozün sabit olarak bırakıldığı çalışmada pektinaz enziminin artışı ile belirli bir seviyede optimum beyazlık seviyesine ulaştığı görülmüştür. Ayrıca bir diğer başarı kıstası olan sağlamlık seviyesinde de hem görsel anlamda hem de mukavemet testlerinde görüyoruz ki enzimatik işlem görmüş geri dönüşmüş kumaşın, geleneksel geri dönüştürülmüş kumaşa göre avantajı mevcuttur.



**Şekil 4.10.** Geri Dönüştürülmüş Havlu SelülaZ + Pektinaz Enzimatik İşlem



**Şekil 4.11.** Geri Dönüştürülmüş Havlu Lakkaz Enzimatik İşlem





**Şekil 4.12.** Geri Dönüştürülmüş Havlu SelülaZ + Pektinaz + Lakkaz Enzimatik İşlem

## 5. SONUÇ

Günümüzde yaşanan en önemli tartışma konularının başında sürdürülebilirlik gelmektedir. ‘Bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılayabilme imkanlarından ödün vermeksizin karşılayabilmek’ (Our Common Future Brundtland Report, 1987) olarak yapılan sürdürülebilirlik tanımı ve buradan hareketle 2012 yılında yapılan Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansında oluşturulan 17 adet Sürdürülebilir Küme içerisinde Tekstil sektörü Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim başlığı altında çalışmalarına yoğunlaşmıştır. Dünyada yaşanan kaynak azalması sorunu, tüm sektörleri yeni kaynak arayışlarına yöneltmiştir. Tekstil terbiye sektörü de özellikle kaynakları çok fazla kullanan, çevresel açıdan çok fazla yük getiren sektörlerin başında gelmektedir. Yüksek Lisans tez çalışmasında deneysel uygulamalar Bursalı Tekstil firması bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Firmanın en yoğun kullandığı hammadde %100 pamuk lifidir. Bilindiği gibi konvansiyonel pamuk lifinin kullanıldığı tekstil yüzeylerinin ön terbiye işlemleri ve renklendirilmesi aşamalarında çok yoğun su, enerji ve kimyasal madde kullanılmaktadır. Üretimde kullanılan bu su ve kimyasallar sonrasında da atık olarak kanala gönderilmektedir. Bu çalışmada hem kullanılan hammaddede geri dönüştürülmüş lif kullanımı ile hem de ön terbiye işlemleri içerisinde çevre dostu kimyasallar arasında yer alan enzimlerin kullanımı ile, üretimde ve atık oluşumunda çevresel etkiyi azaltmak hedeflenmiştir.

Tez çalışmasında hammadde olarak %100 doğal pamuk, geri dönüştürülmüş pamuk ve geri dönüştürülmüş polyester kullanılmıştır. Bu hammaddeler konstrüksiyon olarak benzer özelliklerde havlu kumaşı olarak dokunmuştur. Kumaşlara uygulanan enzimatik işlemler sonrası hidrofilité, beyazlık derecesi, mukavemet ölçümleri ile kumaşta elde edilen etkiler, KOİ ölçümü ile de işlem suyunun çevresel etkisi değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmanın çıktıları ise özellikle geri dönüştürülmüş liflerden üretilen havlu ürünlerinin performans özelliklerinde pozitif yönde görülmektedir.

Uygulanan enzimatik işlem ile hidrofilité değeri çok ciddi şekilde arttırılmıştır. Çalışmanın sonucunda kullanılan pektinaz enzim miktarı arttıkça hidrofilité seviyesinde artış olduğu görülmüştür. Doğal olarak pektinaz enziminin, lif bünyesinde bulunan pektin



maddesini parçalaması, kirlilikleri azaltması beklenen bir sonuçtur. Lakkaz enzim miktarı arttığında ise hidrofilite seviyesi ilk etapta artmış ancak belirli bir noktadan sonra azalma eğilimi göstermiştir. Pektinaz ve lakkaz enziminin birlikte kullanıldığı denemelerde ise lakkaz enziminin varlığı ve oranı hidrofilite değerinde ciddi bir değişim sağlamamıştır.

Çalışmanın temel amaçlarından biri olan ağartma işlemi ve enzimatik işleme beyazlık derecesinde istenen sonucun elde edilmesine yönelik olarak sonuçlar incelendiğinde pektinaz ve lakkaz enzim seviyesi arttıkça beyazlık derecesinde azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Literatürde lakkaz enzimi boyama prosesleri sonrası atık suların renksizleştirilmesi konusunda yoğun olarak kullanılmaktadır. Sadece atık sular için değil aynı zamanda denim sektöründe ponza taşı yerine kullanılıp indigo boyarmaddesinin aşındırılmasında da kullanılmaktadır. Fakat yapılan çalışmada enzim konsantrasyonunun artışının kumaşların beyazlık derecelerine olumlu etkisinin olmadığı söylenebilir.

Geleneksel ağartma işlemi uygulanmış ve pektinaz + selüloz + lakkaz enzimleri ile kombine enzimatik ağartma işlemi uygulanmış kumaşların dayanım özellikleri açısından değerlendirilmesinde ise enzimatik işlemlerin kumaşları ve iplikleri daha fazla deforme ettiği dolayısıyla da kumaşların mukavemetlerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Kopma uzaması verileri incelendiğinde ise enzimatik ağartma işlemi görmüş kumaşların geleneksel ağartma yöntemi ile işlem gören kumaşlara göre, çözgü yönünde daha yüksek uzama değerleri verdiği görülürken, atkı yönünde kesilen örneklerin kopma uzaması değerlerinde farklılık yok denilebilecek kadar azdır. Ağırlık kaybı açısından ise geleneksel işlem görmüş kumaş 450 g / m<sup>2</sup> olarak ölçülürken, enzimatik işlem görmüş pamuk kumaş 440 g / m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Geri dönüştürülmüş pamuk ve polyester karışım kumaş ile yapılan çalışmalarda ise, pektinaz miktarı artış gösterdikçe hidrofilite seviyesi işlem süresine bağlı olarak farklı sonuçlar vermektedir. Uzun süreli işlemlerde pektinaz artışı hidrofiliteyi olumsuz şekilde etkilerken, aynı pektinaz artışı kısa süreli işlem uygulandığında hidrofiliteyi olumlu yönde etkilemektedir. Lakkaz enzimi hem tek başına kullanıldığında hem de kombine olarak kullanıldığında işlemdeki enzim miktarı yükseldikçe hidrofilite seviyesi azalım

eğilimi göstermektedir. İşlem süresi kısaldığında kombine çalışmada ilk etapta hidrofilitate artış gösterse de, sonradan bir değişim meydana gelmemekte ve sabit kalmaktadır.

Hidrofilitate seviyesi ile beraber çalışma boyunca ağırlıklı olarak çalışılan diğer parametre olan beyazlık derecesi açısından ise, pektinaz miktarı yükseldikçe beyazlık seviyesinde ciddi değişim görülmemiştir. Buna rağmen kısa süreli çalışılan proste görülen beyazlık dereceleri daha iyi seviyededir. Lakkaz enzimi miktarı yükseldikçe de beyazlık seviyesi azalma eğilimi göstermiştir. Hem tek başına kullanıldığında hem de kombine işlemden süreden bağımsız olarak beyazlığı olumsuz yönde etkilemektedir. Yine de lakkaz ile kısa süreli çalışıldığında nispeten daha iyi sonuçlar görülmektedir.

Çalışmalar süresince kumaşların su emebilme yetenekleri ve bununla beraber beyazlık seviyeleri incelenirken, aynı zamanda kumaştan beklenen en önemli özelliklerden biri de sağlamlığıdır. Yapılan işlemlerin kumaşın mukavemetine etkisi James Heal Titan mukavemet ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde geleneksel olarak işlem görmüş geri dönüştürülmüş kumaş ile, pektinaz + selüloz enzimlerinin kombine kullanıldığı çalışmada geri dönüştürülmüş kumaş değerlendirilmiştir. Enzimatik işlem gören geri dönüştürülmüş kumaşlar hem çözgü hem atkı yönünde, geleneksel işlem görmüş geri dönüştürülmüş kumaşlara göre daha mukavemettir. Bununla birlikte kopma uzaması verileri incelendiğinde geleneksel işlem görmüş kumaşların, enzimatik işlem görmüş kumaşlara göre çok ciddi üstünlüğü görülmektedir. Kumaşların ağırlıkları ölçüldüğünde geleneksel kumaş 450 g / m<sup>2</sup> olarak ölçülürken, enzimatik işlem görmüş kumaş 442 g / m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak çalışma kapsamında hedeflenen geri dönüştürülmüş hammaddelerle ve çevre dostu enzimatik işlemler kullanılarak ön işlemlerde dayanım kaybı olmadan etkili bir beyazlık derecesi elde edilmesine yönelik elde edilen verilerin beklentileri karşıladığı ve ticari olarak uygulanabilir sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

İlerleyen süreçlerde bu çalışma temel alınarak gerçekleştirilecek araştırmalarda kısa süreli enzimatik işlemler ile farklı kombinasyonlar denenmesi, maliyet-performans ilişkilendirmesi kapsamında yeşil üretim sistemlerine etkisinin sayısal olarak belirlenmesi ve yerli enzim sentezlenmesi çalışmalarına yoğunlaşılması önemli olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Achinas, Spyridon & Achinas, Vasileios & Euverink, Gert-Jan. (2017). A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. 3. 299-307. 10.1016/J.ENG.2017.03.002.
- Ardıç, Y. 2007. Selülozik Liflerin Farklı Şartlarda Fibrilleşme ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Bilimleri Anabilim Dalı, 1–182.
- Arık, B., Körlü, A., Duran, K. 2008. Lakkaz Enzimlerinin Tekstilde Kullanım Alanları. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1–6.
- Atav, R., Namırtı, O., Karabulut, K. 2014. Enzimatik Ön İşlemin Poliester Liflerinin Düşük Sıcaklıkta Boyanması için Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. XIII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu : XIII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu, , 333–336.
- Awais, H. 2021, March 1. Environmental benign natural fibre reinforced thermoplastic composites: A review. Composites Part C: Open Access, Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100082>
- Benli, H. 2015. Selüloz Esaslı Tekstil Materyalleri İçin Çevre Dostu Terbiye Proseslerinin Oluşturulması: Yeşil Fabrika. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 1–292.
- Bhandari, Bal & Bahadur (2018). EFFECT OF ENZYME SUPPLEMENTATION ON METHANE PRODUCTION AND DRY MATTER INTAKE IN LACTATING COWS. 10.13140/RG.2.2.11983.43683.
- Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Tarla ve Bahçe Bitkileri Daire Başkanlığı 2021. Ürün Masaları Pamuk Bülteni, 18
- Çetin, L. 2017. Denizli’de Üretilen Dokuma Havlu ve Bornozluk Kumaşların Haslık ve Su Emicilik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 1–92.
- Cruz, J. 2017. Study of moisture absorption characteristics of cotton terry towel fabrics. Procedia Engineering : Procedia Engineering (Vol. 200), Elsevier Ltd: , 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.055>
- Demiral, S. 2008. Havlu Dokuma Makinalarında Optimum Çözgü Gerginliği ve Havlu Kumaşlar Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 1–104.
- Demirbilek, D., Bulut, M. 2021. Kenevir Liflerinin Eldesi, Özellikleri ve Kompozit Uygulama Alanları. Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences, 4(2)
- Erkan, M. 2013. Pamuk Lifi İle Uyumlu Sentetik Lif Karışımlarından İplik ve Kumaş Üretilip Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 1–97.
- Eser, B., Çelik, P., Çay, A., Akgümüş, D. 2016. Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları. Tekstil ve Mühendis, 23(101):, 44–60. <https://doi.org/10.7216/1300759920162310105>
- Głuszewski, Wojciech. (2017). Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation.
- Gordon ve Hsieh 2007. Cotton: Science and Technology, Woodhead Pub. in association with the Textile Institute.

- Güngör, A., Palamutçu, S., İkiz, Y. 2009. Pamuklu Tekstiller ve Çevre: Bir Bornozun Yaşam Döngü Değerlendirmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3:.
- İnkaya, T. 2006. Pamuklu Mamullerin Ağartılmasında Enzim Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 1–192.
- Kabir, S. M. M., Koh, J. 2021. Sustainable Textile Processing by Enzyme Applications. *Biodegradation Technology of Organic and Inorganic Pollutants*, Chapter 19. Retrieved from [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- Khan, M. A. 2020. Enzyme in textile processing. *Pakistan Textile Journal* , 38–39.
- Kırca, G. Ş. 2012. Pamuk, Rejenere Selüloz ve Karışımlarından Oluşan Örmeye Mamüllerin Enzimatik Modifikasyonu Ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 1–184.
- Koçak, S. Ç. 2015. Osmanlı'dan Günümüze Havlu ve Günümüz Havlu Üretimi Üzerine Öneriler. *Sanatta Yeterlilik Tezi*, Haliç Üniversitesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Anasanat Dalı, Tekstil ve Moda Tasarımı Programı, 1–245.
- Kumar, D. 2021. Application of enzymes for an eco-friendly approach to textile processing. *Environmental Science and Pollution Research*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16764-4>
- Kumar, D., Bhardwaj, R., Jassal, S., Goyal, T., Khullar, A., Gupta, N. 2021. Application of enzymes for an eco-friendly approach to textile processing. *Environmental Science and Pollution Research*, Circular Economy For Global Security. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16764-4>
- Liu, L. 2022. Recycling of full components of polyester/cotton blends catalyzed by betaine-based deep eutectic solvents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3):. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107512>
- Madhu, A. 2022. Sustainable Approach for Cotton Fabric Pretreatment with Immobilized Enzymes. *Fibers and Polymers*, 23(4):, 993–1007. <https://doi.org/10.1007/s12221-022-4193-1>
- Margoutidis, George. (2019). Mechanochemical transformations of  $\alpha$ -chitin.
- Mojsov, K. 2020. Enzymatic treatments for cotton. *Tekstilna industrija*, 68(2):, 12–17. <https://doi.org/10.5937/tekstind2002011m>
- Mondal, I. H. (Ed.). (2021). *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles*. Woodhead Publishing.
- Nam, Sunghyun & Condon, Brian. (2014). Internally dispersed synthesis of uniform silver nanoparticles via in situ reduction of  $[Ag(NH_3)_2]^+$  along natural microfibrillar substructures of cotton fiber. *Cellulose*. 21. 2963-2972. [10.1007/s10570-014-0270-y](https://doi.org/10.1007/s10570-014-0270-y).
- Negm, M. 2020. *Handbook of Natural Fibres*. Cotton Fibres, picking, ginning, spinning and weaving, 1–48.
- Ribul, M., Lanot, A., Tommencioni Pisapia, C., Purnell, P., McQueen-Mason, S. J., Baurley, S. 2021. Mechanical, chemical, biological: Moving towards closed-loop bio-based recycling in a circular economy of sustainable textiles. *Journal of Cleaner Production*, 326: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129325>
- Şahinbaşkan, B. Y. 2010. Selülozik Elyaf İçeren Materyallerin Çevre Dostu Yöntemlerle Boyanması. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, Tekstil Eğitimi Programı, 1–370.

- Subash, M. chares 2021. December 1. Eco-friendly degumming of natural fibers for textile applications: A comprehensive review. *Cleaner Engineering and Technology*, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100304>
- Subramanian, K., Sarkar, M. K., Wang, H., Qin, Z. H., Chopra, S. S., Jin, M., Kumar, V., Chen, C., Tsang, C. W., Lin, C. S. K. 2022. An overview of cotton and polyester, and their blended waste textile valorisation to value-added products: A circular economy approach–research trends, opportunities and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(21):, 3921-3942. <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1966254>
- Telli, A., Özdil, N., Babaarslan, O. 2012. PET Şişe Atıklarının Tekstil Endüstrisinde Değerlendirilmesi ve Sürdürülebilirliğe Katkısı. *Tekstil ve Muhendis*, , 49–55. <https://doi.org/10.7216/130075992012198607>
- Toprak, T. 2014. Pamuklu Kumaşlarda Kombine Enzim Proseslerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 1–157.
- Uçal, N. B. 2005. Pamuklu Mamullerde Kullanılan Çapraz Bağlayıcı Maddeler İle Renk Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 1–104.
- Usluoğlu, A. 2016. Bitkilerden Elde Edilecek Bazı Enzimlerin Tekstil Proseslerinde Kullanılması. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 1–131.
- Yousef, S. 2020. Sustainable green technology for recovery of cotton fibers and polyester from textile waste. *Journal of Cleaner Production*, 254:. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120078>

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Artuğ Anıl SAĞIR  
Doğum Yeri ve Tarihi : 04.02.1995 Bursa  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Tan Okulları Anadolu Lisesi  
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Tezli Yüksek Lisans

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Hamzagil Emprime A.Ş.  
Bursalı Grubu

İletişim (e-posta) : anilsagir95@gmail.com

Yayınları :