

## EDİTÖRLER

*Prof. Dr. Cevza CANDAN*

*Doç. Dr. Sena CİMİLLİ DURU*

# TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ

Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler

ARALIK  
2024

**İmtiyaz Sahibi** / Yaşar Hız  
**Yayına Hazırlayan** / Gece Kitaplığı  
**Birinci Basım** / Aralık 2024 - Ankara  
**ISBN** / 978-625-430-658-7

**© copyright**

2024, Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir  
yolla çoğaltılamaz.

**Gece Kitaplığı**

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak  
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA  
0312 384 80 40  
[www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com) / [gecekitapligi@gmail.com](mailto:gecekitapligi@gmail.com)

**Baskı & Cilt**

Bizim Büro  
**Sertifika No:** 42488

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ  
ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE  
DEĞERLENDİRMELER**

**EDİTÖRLER**

**Prof. Dr. Cevza CANDAN  
Doç. Dr. Sena CİMİLLİ DURU**

**gece**  
kitaplığı



# İÇİNDEKİLER / CONTENTS

## BÖLÜM 1

### DOKUMA MAKİNELERİNİN TEKNOLOJİK ŞEMALARI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

*Raşit ARSOY* ..... 7

## BÖLÜM 2

### TEKSTİLDE PLAZMA TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI

*Gamze GÜLŞEN BAKICI* ..... 25

## CHAPTER 3

### RECYCLING AND SOCIAL RESPONSIBILITY IN TEXTILES: A RESEARCH ON CONSUMER BEHAVIOR

*Fatma Füsün UYSAL, Bilge BERKHAN KASTACI,*

*Emel DEMİR ASKEROĞLU* ..... 47

## CHAPTER 4

### PINEAPPLE FIBER

*Suat CANOĞLU, Ayberk ŞİT* ..... 61





# BÖLÜM 1

## DOKUMA MAKİNELERİNİN TEKNOLOJİK ŞEMALARI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

*Raşit ARSOY<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Üyesi. Raşit ARSOY, Kafkas Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, 0000-0003-3118-7739.

## 1. Giriş

Bugün, tekstil endüstrisi ve özellikle dokuma makineleri sektörü, diğer sanayi dallarında olduğu gibi teknolojik yeniliklerin etkisi altındadır [1]. Bu durum, endüstrinin daha verimli üretim yöntemleri ve daha yüksek kalitede ürünler için yeni teknolojilere adapte olma zorunluluğunu vurgular. Teknolojik ilerlemeler, dokuma makinelerinin tasarımı, üretimi ve işlevselliği üzerinde önemli değişikliklere neden olmaktadır, böylece tekstil endüstrisi daha yenilikçi hale gelir.

Tekstil üretimi, genellikle elyaf aşamasında başlar ve iplik, kumaş ve konfeksiyon üretimini içerir [2]. Kumaşın ürün olarak üretilmeye başlaması giyim ve ev eşyaları üretiminde önemli bir evrimsel sıçrama olarak kabul edilir ve tarih boyunca benzersiz bir özellik taşıyan ürünlerden biridir. Bu süreç, insanların giyim ihtiyaçlarına ve yaşam tarzlarına uygun kumaşları üretebilme yeteneğinin gelişmesiyle birlikte, kültürel ve ekonomik bir dönüşümü de beraberinde getirmiştir. Tekstil üretimi, teknolojik gelişmelerle birlikte günümüzde oldukça çeşitli bir endüstri haline gelmiştir.

Bir dokuma makinesinin tasarımı, amacının, çalışma koşullarının ve üreteceği kumaşların tam olarak anlaşılmasını gerektirir [3]. Bu, teknolojik parametrelerin ve istikrarlı çalışma, yüksek verimlilik ve düşük işçilik ve enerji maliyetleri ihtiyacının dikkate alınmasını içerir [4]. Belirli kumaş yapıları için dokuma makinesi ayarlarının optimum parametreleri de belirlenmelidir [5]. Bu süreci desteklemek için, çözüm ilkelerinin araştırılması, seçilmesi ve değerlendirilmesinin yanı sıra çalışma elemanlarının ve tahriklerinin tasarımı ve boyutlandırılmasına yardımcı olmak için bir danışma sistemi kullanılabilir [6].

Dokuma makinesi tasarım sürecinin girdi verisi, planlanan tesisin kapasitesini içerir, bunlar makine sayısı, belirli bir zaman diliminde üretilen kumaş miktarı ve birim zamanda tüketilen hammadde miktarı olarak ifade edilebilir. Bu süreç aynı zamanda mühendislerin, projeyi gerçekleştirirken teknik ve teknoloji seçimi ile üretim düzenlemesinde karşılaştıkları pratik sorunları bağımsız bir şekilde çözme yeteneklerini geliştirmelerine olanak tanır. Ayrıca, mühendis-technisyen eğitimi süreci, makine tasarımındaki kritik aşamalara odaklanarak mühendislerin bilgi sistemlerini değerlendirmelerini ve tasarım sürecinde etkili kararlar almalarını sağlar [7, 8].

Dokuma makinesi tasarımı, mevcut teknolojik süreç ve makinenin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi temelinde geliştirilir. Teknolojik ve kinematik şemaların seçimi, üretilecek kumaş türü ile atkı atma ve ağızlık açma mekanizmalarının çalışma prensiplerine bağlıdır. Ön tasarım aşamasında, yapılan hesaplamalar sonucunda üretim süreci programının zaman diyagramı, makine mekanizmalarının ve bileşenlerinin kinematik diyagramlarını gösterir.



Dokuma makinesinin tasarımında teknolojik şema, yeni tasarlanacak makinenin teknik, teknolojik ve ekonomik parametrelerini büyük ölçüde etkilediğinden, tasarıma teknolojik şemaların özelliklerini inceleyerek ve parametrelerini belirleyerek başlanır. Bu inceleme aşağıdaki basamakları içerir:

- Dokuma makinesinin teknolojik şemasının seçilmesi;
- Dokuma makinesi zaman diyagramının oluşturulması;
- Dokuma makinesinin teknik parametrelerinin belirlenmesi;
- Dokuma makinesinin temel boyutlarının belirlenmesi.

Bu çalışmada mevcut dokuma makineleri, farklı dokuma sistemlerine göre sınıflandırılarak, her bir dokuma makinesinin teknolojik şemaları incelenmiş ve bu bilgiler, ileride tasarım yapmayı planlayan teknik elemanlar için karşılaştırmalı genel bilgi sunulması amacıyla derlenmiştir. Çalışmanın bulgularının, tekstil endüstrisindeki teknolojik ilerlemelerin dokuma makinelerine etkilerini anlamak ve bu makinelerin sektördeki yerini belirlemek isteyenler için genel bir bakış açısı sunması amaçlanmaktadır.

## 2. Dokuma makineleri

Dokuma kumaş, belirli bir sistemle çözü ve atkı olarak adlandırılan iki grup ipliğin 90 derece açıyla örülmesiyle oluşturulur. Atkı iplikleri, çözü iplikleri arasından belirli bir bağlantı düzeni gözetilerek geçirilir, atkı kumaş oluşum çizgisine doğru itilir ve çözü iplikleri belirli bir hızda, uygun gerilimde salınarak dokuma bölgesine sevk edilir. Üretilen kumaş, dokuma bölgesinden arzu edilen atkı sıklığına göre çekilerek kumaş levendine sarılır. Bu işlemleri gerçekleştiren makineler dokuma makineleri olarak adlandırılır [9-11]. Bu işlemler çeşitli dokuma makinelerinde üretilen kumaşın özelliğine göre farklı tekniklerle yapılmaktadır.

Dokuma teknolojisi çeşitli mekanizmaları kapsamaktadır [12]. Dokuma makinesinin teknolojik şeması genellikle dört ana bölge içerir: çözü salma, kumaş oluşumu (atkı ile çözü ipliklerinin doğrudan örülmesi ve tefelenmesi bölgesi), kumaş çekme ve kumaş sarma (kumaşın levendine sarılması) bölgeleri. Makinenin tasarımında kumaş oluşumu bölgesinin yatay düzleme göre konumunun doğru seçilmesi önemlidir. Kumaş oluşum bölgesi konumuna bağlı olarak dokuma makinesinin teknoloji şeması dört gruba ayrılırlar: yatay, eğimli, dikey ve özel geometrik forma sahip.

Dokuma makinelerinde kumaş oluşum bölgesinin yatay düzlemde olması, makinenin çalışmasının kontrolünü ve çözü kopmalarının giderilmesini kolaylaştırır. Aynı zamanda, ağızlık açma mekanizması makinenin alt kısmında yerleştirildiğinde, işçinin makine sıralarını açıkça görebilme-

sini sağlar. Ancak, kumaş oluşturma bölgesinin yatay düzeni ile dokuma makineleri arasındaki geçişler, çözgü levendi ve kumaş levendinin makinenin bir tarafında değil, ön ve arka tarafında yer alması nedeniyle artabilir.

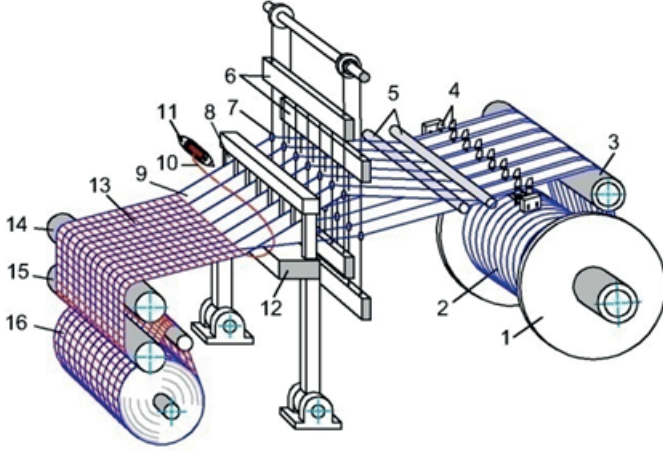
Bu çalışmada tekstil sektöründe kullanılan çeşitli dokuma makinelerin teknolojik şemaları ve özellikleri incelenecektir. Dokuma makineleri incelenirken makineler klasik ve özel geometrik formlara sahip olarak iki grupta ele alınacaktır.

## **2.1. Klasik Dokuma Makineleri**

Klasik dokuma makineleri, Mekik ve Mekikçikli, Kancalı Dokuma Makinelerini ve Akışkan Jetli (Hava ve Su Jetli) Dokuma Makinelerini içerir.

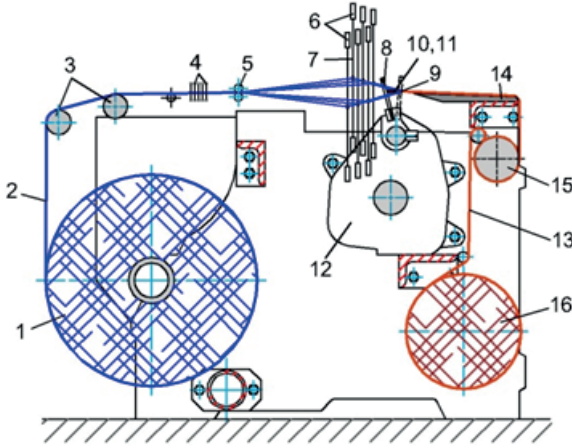
### **2.1.1. Mekik ve Mekikçikli ve Kancalı Dokuma Makineleri**

Klasik dokuma makinelerinde mekik, atkı masurasını taşır. Bu nedenle, mekik, iplik taşıyan bir parçadır ve her mekik bir masura (iplik makarası) taşır. Bu durum, sadece tek renk ve tek tür atkı ipliği kullanılmasını gerektirir. Mekikli dokuma makineleri ise iki türdür: tek mekikli ve çok mekikli (kasalı) dokuma makineleri. Günümüzde yüksek üretim hızlarına gerek duyulmadığı durumlarda, atkı ipliğinin başka yöntemlerle ağızlıktan geçirilmesinin imkansız olduğu ve büyük genişliğe (2–33 m) sahip kumaşların üretiminde mekikli dokuma makineleri başarıyla kullanılmaktadırlar [13]. Üretim hızının düşüklüğü ve kullanım zorluğuna rağmen, gerçek kumaş kenarının elde edilmesi istendiği durumlarda bu makineler tercih edilmektedir. Şekil 1’de mekikli dokuma makinelerinin teknolojik şeması gösterilmiştir. Mekikli, mekikçikli, kancalı, hava jetli–kancalı ve benzeri dokuma makinelerinin tasarımında kumaş oluşum bölgesi yatay düzlemde yerleşmiş teknolojik şema kullanılmaktadır. Bu teknolojik şema, klasik dokuma makinesi teknoloji şeması olarak tanınır.



Şekil 1. Mekikli dokuma makinesinin teknolojik şeması: 1- Çözgü levendi; 2- Çözgü iplikleri; 3- Çözgü köprüsü; 4- Lamel (çözgü kontrol elemanı) ; 5- Çözgü ipliği yönlendiricisi; 6-Çerçevesi; 7- Güçler; 8- Tarak; 9- Ağzılık; 10- Atkı; 11- Mekik; 12- Tefe; 13- Kumaş; 14- Kumaş köprüsü; 15- Kumaş sarma silindiri; 16- Kumaş levendi [14].

Mekikcikli ve kancalı dokuma makineleri ile mekikli dokuma makinelerinin teknoloji şemaları birbirlerinden az da olsa farklılık gösterir (Şekil 2). Bu farklılıklardan biri, mekikcik ve kanca ölçülerinin masura taşıyan mekiklere göre önemli derecede küçük olmasıdır. Bu durum, ağzılık ve buna bağlı olarak kumaş oluşum alanı genişliğinin küçülmesine neden olurken, dokuma makinesinin genişliği ve kapladığı alanın azalmasına yol açar. Mekikli dokuma makinelerinde, ipliğin doğrudan bobinden gelmesi, kesintisiz ve uzun süreli çalışma imkanı sağlar. Ayrıca, mekikçiğin ve kancanın mekikten yaklaşık on kat daha küçük olması, atkı ipliğinin daha hızlı dokunmasını sağlar. Mekikcikli ve kancalı dokuma makinesi şeması Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Mekikcikli ve kancalı dokuma makinesinin teknolojik şeması: 1- Çözgü levendi; 2- Çözgü iplikleri; 3- Çözgü köprüsü; 4- Lamel (çözgü kontrol elemanı) ; 5- Çözgü ipliği yönlendiricisi; 6-Çerçeveseler; 7- Gücüler; 8- Tarak; 9- Ağzlık; 10- Atkı; 11- Mekikcik/Kanca; 12- Tefe mekanizması; 13- Kumaş; 14- Kumaş köprüsü; 15- Kumaş sarma silindiri; 16- Kumaş levendi [15].

### 2.1.2. Akışkan Jetli (Hava ve Su Jetli) Dokuma Makineleri

Akışkan Jetli dokuma makinelerinin iki türü vardır: eğimli ve dikey kumaş oluşum bölgesi içeren makineler.

#### 2.1.2.1 Eğimli Kumaş Oluşum Bölgesi İçeren Dokuma Makineleri

P-105 (P-125, P-250), “Murat-Maxbo” ve benzeri hava jetli dokuma makinelerinin teknolojik şemalarında, yaklaşık 45°’lik bir açıyla eğimli kumaş oluşum bölgesi yer almaktadır (Şekil 3). Hava jetli dokuma makineleri, atkı ipliğini taşıyan bir parça bulunmadığından, günümüzde en hızlı çalışan sistemlerden biri olup diğer sistemlere göre daha fazla üretim yapar. Eğimli kumaş oluşum bölgesi içeren dokuma makinesinin teknolojik şeması Şekil 3’te gösterilmiştir. Eğimli kumaş oluşum bölgesi içeren dokuma makinelerinde kumaş oluşumu, yukarıda bahsedilen mekikli dokuma makineleriyle aynıdır.

Eğimli kumaş oluşum bölgesi içeren teknoloji şemanın avantajları şunlardır:

1. Yatayla belli bir açı altında bulunan çözgü ve atkı iplikleri, dokumacı tarafından daha iyi izlenebilir, bu da çözgü iplik kopmalarını önlemek için kolaylık sağlar.

2. Çözgü ve kumaş levendleri makinenin arka tarafına yerleştirildiğinden, bunların makineye yerleştirilmesi, çıkarılması ve taşınması daha kolay hale gelir.

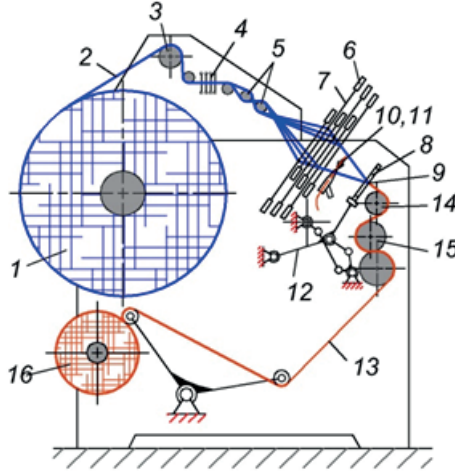
3. Makinenin toplam genişliği önemli ölçüde küçüldüğünden, makinenin kapladığı alan da küçülür.

Ancak şemanın bazı dezavantajları şunlar olabilir:

1. Çözgü levendinin yerleştirilmesi ve çıkarılması zor olabilir.

2. Ağızlık açma mekanizmasında çerçevelerin eğimli düzlemde çalışması, mekanizmanın yapısında önemli konstrüksiyon değişikliklerini gerektirebilir.

3. Dokunmuş kumaşın makinenin alt kısmından geçmesi, kirlenme olasılığını artırabilir.

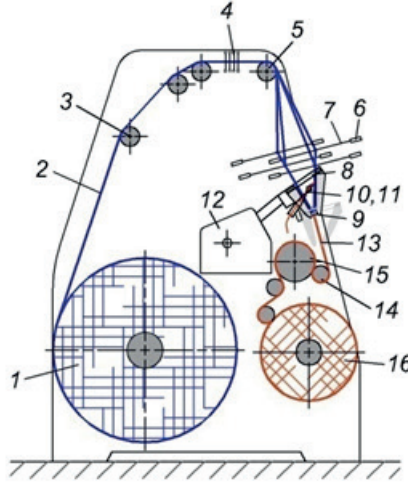


Şekil 3. Eğimli kumaş oluşum bölgesine sahip dokuma makinesinin teknolojik şeması: 1- Çözgü levendi; 2- Çözgü iplikleri; 3- Çözgü köprüsü; 4- Lamel (çözgü kontrol elemanı); 5- Çözgü ipliği yönlendiricisi; 6- Çerçeveler; 7- Gücüler; 8- Tarak; 9- Ağızlık; 10- Atkı; 11- Mekik; 12- Tefe mekanizması; 13- Kumaş; 14- Kumaş köprüsü; 15- Kumaş sarma silindiri; 16- Kumaş levendi [15].

### 2.1.2.2 Dikey Kumaş oluşum bölgesi içeren dokuma makineleri

Dikey kumaş oluşum bölgesi içeren dokuma makinelerinin çalışma süreci atkı ipliğinin ağızlıktan geçirilmesi için daha iyi bir hava veya su jeti kanalının oluşturulması ve atkı ipliğinin uçuş uzaklığının artırılması prensibine dayanmaktadır. Teknoloji şeması, çözgü ve kumaş levendlerinin mümkün olduğunca yakın yerleşmesine imkan tanıdığından, makinenin

kapladığı zemin alanını önemli ölçüde azaltabilir. Ancak şemanın dezavantajı, çözgü kopuşlarının giderilmesinin ve ağızlık açma mekanizmasında çerçevelerin dikey düzlemde çalışmasının zorlaşmasıdır. Dikey kumaş oluşum bölgesine sahip dokuma makinesinin teknolojik şeması Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Dikey kumaş oluşum bölgesine sahip dokuma makinesinin teknolojik şeması: 1- Çözgü levendi; 2- Çözgü iplikleri; 3- Çözgü köprüsü; 4- Lamel( çözgü kontrol elemanı); 5- Çözgü ipliği yönlendiricisi; 6-Çerçeveler; 7- Gücüler; 8- Tarak; 9- Ağızlık; 10- Atkı; 11- Mekik; 12- Tefe mekanizması; 13- Kumaş; 14- Kumaş köprüsü; 15- Kumaş sarma silindiri; 16- Kumaş levendi [15].

## 2.2. Özel Geometrik Forma Sahip Dokuma Makineleri

Özel geometrik forma sahip dokuma makinelerinin teknoloji şemalarını üç farklı grupta toplamak mümkündür [16]:

1. Çift kumaşlı (yüz yüze kumaş) dokuma makinelerinin teknoloji şemaları.

2. Yuvarlak çok fazlı dokuma makinelerinin teknoloji şemaları.

3. Çok ağızlıklı dokuma makinelerinin teknoloji şemaları.

### 2.2.1. Çift Kumaşlı (Yüz Yüze Kumaş) Dokuma Makineleri

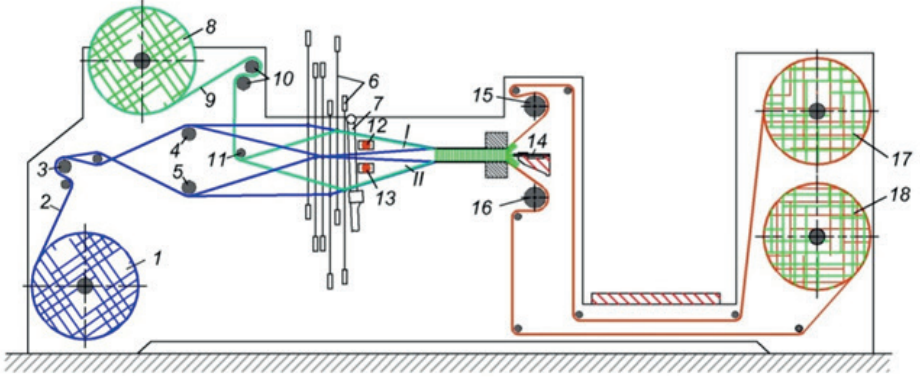
Çift kumaşlı dokuma makineleri, havlu kumaş ve halıların üretiminde kullanılır [17].

#### 2.2.1.1 Havlu kumaş dokuma makineleri

Bu makinelerde birbirinden bağımsız iki atkı ipliği kullanılır. Havlu kumaş dokuma makinesinin teknoloji şeması Şekil 5'te verilmiştir. Atkı ip-

likleri 12 ve 13 mekiklerinin veya kancalarının yardımıyla ağızlıktan geçirilir. Tefeleme işlemi sonucunda yüz yüze ve bir birleri ile ilmek çözümleri ile bağlanmış iki kumaş elde edilir.

Havlu kumaş dokuma makinelerinde kumaş oluşum bölgesinin yatay düzlemde olması makinenin çalışmasının kontrolünü ve çözgü kopmalarının giderilmesini, kumaş oluşum bölgesine makinenin kumaş çekme mili ve çözgü köprüsü kısımlarından ulaşmanın kısmen mümkün olmasından dolayı kolaylaştırır. Havlu kumaş dokuma makinelerinin dezavantajı ise alt zemin çözgü ipliklerindeki kopmaların giderilmesinin zor olmasıdır.



Şekil 5. Havlu kumaş dokuma makinesinin teknolojik şeması: 1- Çözgü levendi; 2- Çözgü iplikleri; 3- Çözgü köprüsü ; 4 ve 5- Çözgü ipliği yönlendiricileri;; 6-Çerçeveler ; 7- Tarak; 8- Hav iplikleri levendi; 9- Hav iplikleri; 10 ve 11- Hav ipliği yönlendiricileri; 12 ve 13- Mekikler; 14- Hav kesme mekanizması; 15 ve 16- Kumaş yönlendiricileri; 17 ve 18- Kumaş leventleri; I- Üst ağızlık; II- Alt ağızlık [14].

### 2.2.1.2 Halı dokuma makineleri

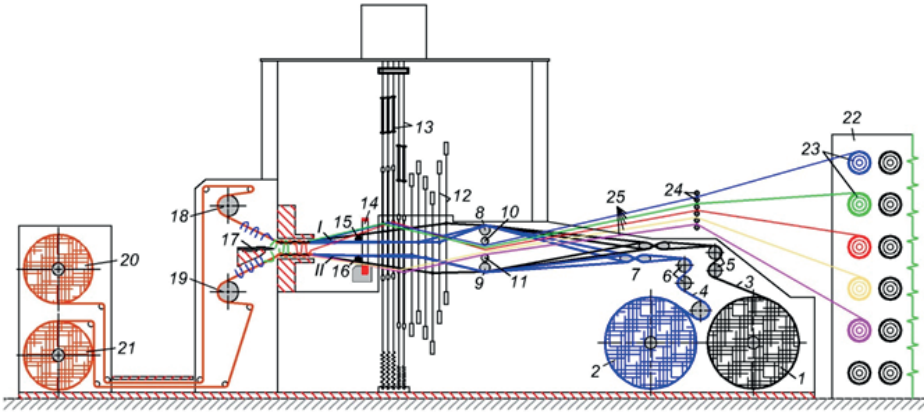
Şekil 6'da görülen teknoloji şeması, günümüzde halı üretiminde en yaygın olarak kullanılan yüz yüze halı dokuma makinesinin karmaşık yapısını göstermektedir. Yüz yüze halı dokuma yönteminde kullanılan makinenin teknoloji şeması, geleneksel dokuma makinelerinden belirgin bir şekilde farklılık gösterir; bu şema, dolgu çözümleri, atkı iplikleri, zemin çözümleri ve hav ipliklerinden oluşur.

Halı, atkı iplikleri ile zemin çözümlerinin sıkı bir şekilde bir araya gelmesiyle oluşturulur. Dolgu iplikleri, hav yüzeyini şekillendiren ilmeklerin bağlantılarını sıkıştırarak daha sağlam bir yapı oluşturur ve halıya belli bir kalınlık kazandırır. Ayrıca, dolgu iplikleri havı taşıırken, aradaki mesafeyi korur ve halının sırtında veya yüzeyinde görünmez. Hav iplikleri ise



halıya desen ve boyut katarken, atkı iplikleri zemin çözgüsüyle keşişerek taşıyıcı zemini oluşturur ve hav ipliklerinin sıkışmasını sağlar. Halı yüzeyinde desenlerin oluşturulması Jakar makinesinin yardımıyla gerçekleştirilir. Jakar makinesi hav ipliklerini hareket ettirerek halı yüzeyinde istenilen desenin elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu süreç, çift katmanlı dokuma tekniğini kullanan yüz yüze halı dokuma sürecine odaklanır. İki halı aynı anda dokunur ve dokuma işlemi tamamlandıktan sonra, hav yüzeyini oluşturan iki halı katmanı arasındaki ilmekler kesilir. Bu kesim sonucunda, her biri iki kumaş katmanından oluşan ve daha sonra iki ayrı ürüne ayrılan iki farklı halı ortaya çıkar [18]. Bu nedenle, her bir halıda desenler birbiriyle uyumludur ve kumaş katmanları arasındaki mesafe, gereken ilmek uzunluğuna göre ayarlanabilir. Hav yüksekliği, bu mesafenin tam ortasında bulunarak, halının dokusunu ve görünümünü belirler. Hareketli bıçak, raylı sistem üzerinde yer alır ve görevi, iki halı katı arasındaki ilmek çözgülerini kesmektir. Bu bıçak, dokuma işlemi tamamlandıktan sonra devreye girer ve iki halıyı birbirinden ayırır [19]. İlmeğin uzunluğu bıçağın hareketi ile ayarlanır ve iki halı arasındaki mesafe cımbız ile korunur. Dolgu çözgüleri, ilmek oluşumu sırasında iki halının bir araya gelmesini engeller, ilmek aktarma işlevini üstlenir ve ilmek uzunluğunun ayarlanmasını sağlar [20].



Şekil 6. Halı dokuma makinesinin teknolojik şeması: 1- Zemin Çözgü levendi; 2- Dolgu Çözgü levendi; 3- Zemin çözgü iplikleri; 4- Dolgu çözgü iplikleri; 5 ve 6- Zemin ve dolgu çözgü ipliği köprüleri; 7- Çözgü ipliği kontrol mekanizması; 8 ve 9- Zemin ve dolgu çözgü ipliği yönlendiricileri; 10 ve 11- Hav ipliği yönlendiricileri; 12- Zemin ve dolgu çözgü ipliği çerçeveleri; 13- Jakar makinesi; 14- Tarak (tefe mekanizması); 15 ve 16- Mekik (veya kança); 17- Hav kesme mekanizması; 18 ve 19- Kumaş yönlendiricileri; 20 ve 21- Halı levanteleri; 22- Hav ipliği çağlığı; 23- Hav bobinleri; 24 ve 25 - Hav ipliği kontrol sistemi; I- Üst ağızlık; II- Alt ağızlık [20].



Bıçak, hav yüzeyini zeminlere paralel olarak keser, bu da halka havlı (bukle) halı üretimini engeller ve farklı hav yüksekliklerine müdahale etmeyi zorlaştırır. Bu durum, sistemin olumsuz yönlerinden biridir. Ayrıca, kesim işleminden sonra halı yüzeyinde oluşabilecek hataların görülmesi zaman alır, bu da olası hataların geç fark edilmesine ve her iki halıda aynı anda hata oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle, bıçaklı kesim yöntemi bazı dokuma süreçlerinde dezavantajlar yaratabilir ve kalite kontrolü açısından zorluklar ortaya çıkarabilir [21, 22]. Ayrıca, yüz yüze halı dokuma sisteminde renk çeşitliliği sınırlıdır ve kumaş oluşum bölgesi yatay düzlemde olmasına rağmen, makinenin çalışmasının kontrolü ve çözgü kopmalarının giderilmesi kolay değildir. Halı dokuma makinelerinin bir dezavantajı da alt zemin çözgü ipliklerindeki kopmaların giderilmesinin çok zor olmasıdır.

### 2.2.2. Çok Fazlı Dokuma Makineleri

Klasik dokuma makinelerinde kumaş, birbirini izleyen üç işlem olan ağızlık açma, atkı atma ve tefeleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucu elde edilir. Geleneksel tek fazlı dokuma makineleri, mevcut yapılarıyla dokuma verimliliği açısından neredeyse en yüksek seviyeye ulaşmış durumdadırlar [23]. Bu işlemlerin aynı anda yapılması kumaş dokuma işlemi hızını ve makine verimliliğini önemli derecede artırabilir [24]. Klasik dokuma makinelerinin hızının ve verimliliğinin artırılmasının önünde duran en büyük problem, atkı ipliğinin bir doğru boyunca ileri geri hareket etmesi ve kumaş oluşum fazlarının (ağızlık açma, atkı atma ve tefeleme işlemleri) aynı anda yapılmasının imkansız olmasıdır. Ancak, bu kısıtlanmanın üstesinden gelmek için çok fazlı dokuma sistemine sahip makineler geliştirilmiştir [14]. Dokuma makinelerinde, eş zamanlı olarak birden fazla dokuma işleminin senkronize bir şekilde gerçekleştirilmesi durumuna “çok fazlı dokuma sistemleri” adı verilir. Bu sistemler, aynı anda farklı noktalarda ağızlık açma, atkı atma ve tefe vurma gibi işlemleri gerçekleştirir. Çok fazlı dokuma makineleri genellikle iki türe ayrılır: (1) yuvarlak çok fazlı dokuma makineleri, (2) düz ve silindirik çok fazlı dokuma makineleri.

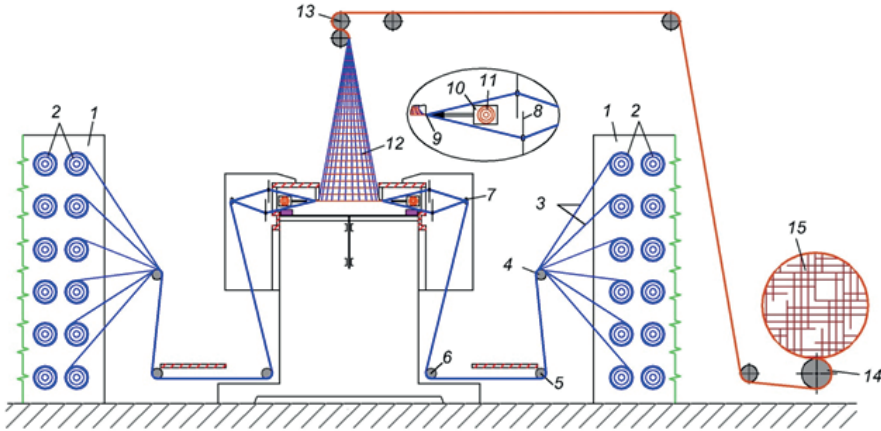
#### 2.2.2.1. Yuvarlak Çok Fazlı Dokuma Makineleri

Klasik dokuma makinesinde kumaş oluşum çizgisi bir daire ile değiştirilirse, mekiğin kapalı bir dairesel yol boyunca hareket ettiği ve atkıyı sürekli olarak attığı çok fazlı yuvarlak bir dokuma makinesi elde edilmiş olur (Şekil 7). Makinenin işleyişi ve teknolojik sürecin sürekliliği kriterlerine göre, böyle bir makine çok önemli yapısal ve teknolojik problemler ortaya çıkmazsa, idealdir [25].

Böyle bir makinenin teknoloji şemasının kumaş oluşum bölgesinde, ağızlık ile hazır kumaş bir doğru boyunca yerleşeceğinden, orta ve küçük çaplı boru şekilli kumaşların üretiminde kumaş oluşumunda yer alan

atki atma ve tefeleme mekanizmalarının yerleştirilmesi ve çalıştırılması zorlaşır. Öte yandan, makinede kumaş oluşum bölgesi dikey olarak yerleştirildiğinden, makinelerin yükseklikleri büyük alınır. Pratikte, söz konusu mekanizmaların çalışma ortamını kolaylaştırmak için kumaş oluşum bölgesinde, ağızlık ile hazır kumaş birbirlerine göre dikey olarak yerleştirilirler. Kumaş oluşum bölgesinin bu şekilde düzenlenmesi, sadece makine mekanizmalarını uygun şekilde yerleştirmeyi değil, aynı zamanda yüksek iç basınca maruz kalan yangın hortumları üretiminde atki için gerekli sıklığı sağlamayı mümkün kılar.

Yuvarlak dokuma makineleri yangın hortumları, örtüler, çuval ve diğer talep gören ürünlerin üretimi için geliştirilmiştir. Bu makinelerde, dört, altı veya sekiz mekiğin, dalgalı bir ağızlığın içinden ardışık olarak geçerek kumaşın tüp şeklini oluşturduğu yuvarlak bir yol izlediği görülür. Dairesel hareket eden elektromanyetik bir alan metal mekikçikleri kendine çekerek atki ipliğinin ağızlıktan geçmesini sağlar. Geleneksel kumaşlar, tefeleme işleminin istenilen düzeyde olmaması nedeniyle halen yuvarlak dokuma makinelerinde üretilmemektedir. Çözgü ipliklerinin çözgü levendinden aktarılmasında ipliklerin gerilmesi farklılık gösterdiğinden, büyük alan kaplamasına bakılmaksızın makinede çözgü çablığı kullanılır.



Şekil 7. Yuvarlak çok fazlı dokuma makinesinin teknolojik şeması: 1-Çözgü iplikleri çablığı (alanı); 2- Çözgü bobinleri; 3- Çözgü iplikleri; 4, 5 ve 6- Çözgü ipliği köprüleri; 7- Dairesel çözgü ipliği yönlendiricisi; 8- Çerçeveler; 9- Ağızlık; 10- Mekik; 11- Atki ipliği; 12- Kumaş; 13 ve 14 – Kumaş köprüleri; 15- Kumaş levendi [13]

Mekikler kapalı dairesel bir yörüngede hareket eder ve ağızlıktan hiçbir yerde çıkmaz. Bu nedenle, içindeki atki ipliğinin rezervini yenilemek

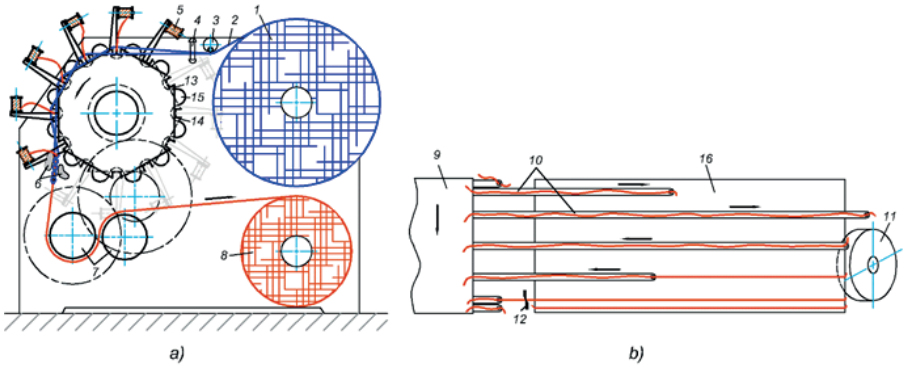
veya hareket halindeyken atkı rengini değiştirmek mümkün değildir. Bu nedenle, yuvarlak dokuma makinelerinde 750 ila 2500 gram atkı ipliği taşıyan büyük mekikler kullanılır.

### 2.2.3. Çok Ağzlıklı Dokuma Makineleri

Burada tarif edilen dokuma makineleri, birkaç dokuma ünitesini senkronize etmek için bir yöntem kullanır, bu da birkaç yerde aynı anda tarama, atkı atma ve tefeleme işlemlerine izin verir. Atkı ipliklerini kumaş eni boyunca hareket ettirmek için, açılan ağızlıklardan geçen küçük atkı taşıyıcıları veya kancalar kullanılır. Bu tür ağızlıkların sayısı, yerleştirilen atkı ipliklerinin sayısına karşılık gelir. Tefeleme işlemi sürekli ve profilli dönel tarakların kullanımını içerir. Bu makinelerin hızı her zaman yüksek olmasa da, dakikada 2000 metrenin üzerinde atkı atma hızlarına ulaşabilmektedir. Çok fazlı dokuma makinelerinde atkı hızının 5000 m/dak sınırını geçmesi, verimlilik değerlerinin kancalı, mekikçikli ve jetli dokuma makinelerinin verimliliğiyle neredeyse üç katına çıktığına işaret eder. Bu makineler sıra ağızlıklı ve dalga ağızlıklı olarak iki formda mevcuttur.

#### 2.2.3.1 Sıra Ağzlıklı Çok Fazlı Dokuma Makineleri

Sıra ağızlıklı kumaş dokuma sisteminin bilinen en önemli dezavantajı, çözgü ipliklerinin aşırı derecede sürtünmeye maruz kalması, aşınması ve bu nedenle kopmaların artmasıdır. Makinede sadece belirli bir kumaş deseninin, bez ayağı kumaşının üretilebildiği görülmektedir. Makinede çözgü sıklığı çok düşüktür ve değiştirilmesi mümkün değildir. Bu sistem genellikle özel kumaşların üretiminde kullanılabilir (Şekil 8).

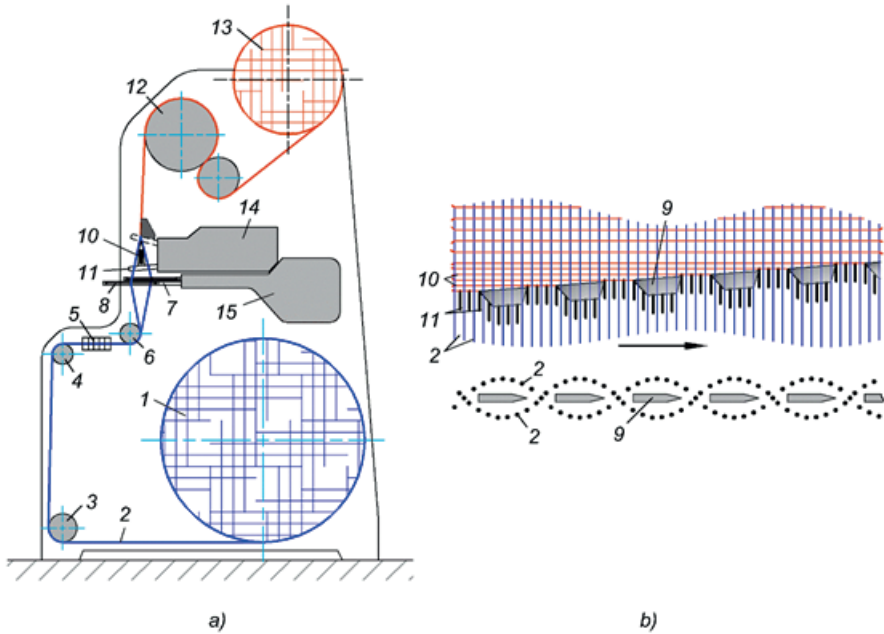


Şekil 8. Sıra ağızlıklı çok fazlı dokuma makinesinin teknolojik şeması: a) teknolojik şema; b) atkı ipliklerinin ağızlıktan geçirilmesi. 1- Çözgü levendi; 2- Çözgü iplikleri; 3- Çözgü köprüsü; 4- Lamel (çözgü kontrol elemanı); 5- Atkı ipliği bobinleri; 6- kumaş yönlendiricisi; 7- Kumaş köprüsü; 8- Kumaş levendi; 9- Atkı atma mekanizması; 10- Kancalar; 12- Atkı kesme mekanizması (bıçağı); 13 ve 14- Kança yönlendiricileri, 15- Dairesel tefeleme tarağı [13].

### 2.2.3.2 Dalga Ağzıklı Çok Fazlı Dokuma Makineleri

Dalga ağızlıklı kumaş oluşma sisteminin teknoloji şeması Şekil 9'da gösterilmiştir. Şemada, 10 numaralı atkı ipliğini taşıyan 9 adet mekiğin, belirtilen yönde hareket ettiği görülmektedir. Bu mekiğin önünde açılan ve ardında kapanan dalga şeklindeki A ağızlığı, sabit bir hızla hareket etmektedir. Ağızlık sayısı, mekiğin boyutlarına ve kumaş genişliğine bağlı olarak belirlenir. Kumaş oluşum işlemi, ağızlığa yerleştirilen atkı ipliklerinin, özel olarak tasarlanmış 11 numaralı tefe dişlerinin yardımıyla dalga şeklinde hareket ederek kumaş çizgisine sıkıştırılması sonucu gerçekleştirilir.

Kapalı ağızlığa yerleştirilmiş mekiğe hareket iletilmesi oldukça zor bir süreçtir. Bu işlem için birçok yöntem önerilmektedir. Bu yöntemlerden biri, ağızlığın dikey olarak konumlandırılması ve mekiğin ağırlığının, mekiği ağızlıkta sabitleyen kuvvet olarak kullanılmasıdır. 11 numaralı tefe dişleri, alttan üste doğru hareket ettiğinde, sürtünme kuvvetinin etkisiyle mekiğeler yatay doğrultuda belirli bir hızla hareket ederler.



Şekil 9. Dalga ağızlıklı çok fazlı dokuma makinesinin teknolojik şeması: a) teknolojik şema; b) atkı ipliklerinin ağızlıktan geçirilmesi. 1- Çözgü levendi; 2- Çözgü iplikleri; 3 ve 4- Çözgü köprüsü; 5- Lamel (çözgü kontrol elemanı); 6- Çözgü ipliği yönlendiricisi; 7 ve 8- Çerçeveseler; 9- Mekikçikler; 10- Atkı ipliği; 11- Özel taraklar; 12- kumaş köprüsü; 13- Kumaş levendi [13].

Dalga ağızlıklı çok fazlı dokuma makinesinin temel avantajları, kumaş oluşumunun klasik yöntemlere benzemesi, makinenin düşük hızlarda çalışması ve yüksek verimliliğe sahip olmasıdır. Bez ayağı kumaşların üretiminde kullanılabilir. Ancak, armürlü ve jakarlı kumaşların dokunabilmesi için makinenin son derece karmaşık bir ağızlık açma mekanizması ile donatılması gerekmektedir.

### 3. Sonuçlar

Klasik dokuma makineleri, mekik ve mekikçikli, kancalı, akışkan jetli makineler olarak sınıflandırılır. Mekikli makinelerde atkı ipliğini taşıyan mekikler, genellikle düşük üretim hızlarında çalışsa da geniş ve sağlam kumaş üretiminde kullanılır. Mekikçikli ve kancalı makinelerde mekiklerin küçültülmüş versiyonları olan mekikcik veya kanca kullanılır, bu da daha hızlı dokuma sağlar. Akışkan jetli makineler ise hava veya su jetleri kullanarak atkı ipliğini taşır ve genellikle eğimli veya dikey kumaş oluşum bölgelerine sahiptir. Eğimli düzen, çözgü ve atkı ipliklerinin daha iyi izlenmesini sağlarken, dikey düzen ise makine alanını azaltır ancak çözgü kopmalarını gidermede zorluk yaratabilir.

Özel geometrik formlara sahip dokuma makineleri arasında çift kumaşlı, yuvarlak çok fazlı ve çok ağızlıklı dokuma makineleri bulunur. Çift kumaşlı makineler, havlu ve halı üretiminde kullanılır. Bu makinelerde iki atkı ipliğiyle yüz yüze iki kumaş dokunur ve sonunda kesilerek ayrı ürünler elde edilir. Yuvarlak çok fazlı makineler, mekiklerin kapalı bir dairesel yörüngede hareket ederek sürekli atkı attığı sistemlerdir. Genellikle tüp şeklinde kumaş üretimi için idealdir ve yangın hortumları gibi ürünlerin üretiminde kullanılır. Çok ağızlıklı makineler, birden fazla dokuma işleminin aynı anda gerçekleşmesini sağlar ve sıra ağızlıklı ile dalga ağızlıklı olarak iki formda bulunur. Sıra ağızlıklı makineler sürtünme ve kopma sorunları yaratabilirken, dalga ağızlıklı makineler yüksek verimlilik sunar ve genellikle düz bez ayağı kumaşların üretiminde kullanılır.

Klasik dokuma makineleri belirli avantajlara sahipken, özel geometrik makineler yüksek verimlilik ve belirli ürünlerin üretiminde üstünlük sağlar. Mekik ve kancalı makineler sağlam kenarlı kumaş üretiminde iyiyken, jetli makineler hız avantajı sunar. Özel formlara sahip makineler, özellikle hacimli ve çok katmanlı ürünlerin üretiminde verimlilik ve özel yapı avantajları sunar. Her tür makine, farklı dokuma gereksinimlerine uygun olarak belirli avantajlar ve dezavantajlar taşır ve seçim, üretim hedeflerine göre yapılmalıdır.

## Kaynaklar

1. Duru, O. (1999). Çeşitli Dokuma Makinalarının Sistem Karşılaştırmaları ve Üretim Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
2. Nayak, R., Singh, A., Padhye, R., Wang, L. (2015). RFID in Textile and Clothing Manufacturing: Technology and Challenges. Fashion and Textiles, 2(1).
3. Lei, M. (2009). Designing Programme for Equipping Machines in Weaving Process. Chemical Fiber & Textile Technology, 2, 43-45.
4. Zhen-Jun, Q. (2009). Tech-progress of Preparation of Weaving Operation. Textile Accessories.
5. Choogin, V., Bandara, P., Chepelyuk, E. (2013). Weaving machine parameters for specific woven fabric structures. Mechanisms of Flat Weaving Technology, Woodhead Publishing Series in Textiles, Elsevier, 2013, doi.org/10.1533/9780857097859.151, 151-170.
6. Goldhahn, H., Majschak, J.P., Kurfürst, K. (1993). Unterstützung des Konstruktionsprozesses durch ein Beratungssystem Verarbeitungstechnik. Forschungsbericht Nr.980, TU Dresden, Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik.
7. Ala, D.M., Çelik, N. (2015). Bilgisayar Destekli Yarı-Otomatik Tasarlanmış ve Geliştirilmiş Yerli Bir Numune Dokuma Makinesi. Tekstil ve Mühendis, 22, 17-23.
8. Büyükyılmaz, N. (2019). Tekstil Tasarımına Yönelik Kurs Programlarının Değerlendirilmesi. Motif Akademi Halkbilimi Dergisi, 12, 25, 152-168.
9. Başer, G. (2004). Dokuma Tekniği ve Sanatı. Cilt 1, Punto Yayınları, İzmir.
10. Eren R. (2009). Dokuma hazırlık Teknolojisi. MKM Yayıncılık, Bursa.
11. Tekstildershanesi. Dokuma Makinaları. <http://www.tekstildershanesi.com.tr/bilgi-deposu/dokuma-makinalari.html>, Son erişim tarihi: 10 Eylül 2021.
12. Gandhi, K. (2020). The fundamentals of weaving technology. Woven Textiles. <https://doi.org/10.1533/9780857095589.1.117>.
13. Jürgens Looms. (2024). <https://www.juergens-loom.com/>, Son erişim tarihi: 5 Mayıs 2024.
14. Talavashek, O., Svaty, V. (1985). Mekiksiz tezgahlar. Çekçe'den çeviri. Legprombytizdat, Moskova, 335 s.
15. A. V. Ditsky, R. M. Malafeev, V. I. Terentyev, A. A. Tuvaeva. (1983). Dokuma makineleri tasarlanmanın temelleri. A.V. Ditsky'nin genel editörlüğü altında. Moskova, Makine Mühendisliği, 320 s.
16. Derstekstil. Dokuma Makinelerinin Ana Elemanları. <https://www.derstekstil.com/>

til.name.tr/dokuma-makinelerinin-ana-elemanlari.html. Son erişim tarihi: 15 Ağustos 2021.

17. Erdoğan, Ü. H. (2001). Ege Bölgesinde Üretilen Makine Hahları ve Kullanılan Liflerin Başlıca Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 28-34.
18. Uyanık, S. (2012). Makine Halısı Üretimi. 1.baskı, Öncü Basımevi, Gaziantep, 20-30.
19. Tekin, M. (2002). Yüz Yüze Halı Dokumacılığı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 34-42.
20. Günaydın, E. (2016). Makine Halısı Üretiminde Ön Tehlike Listesi Yöntemi ile Risk Envanteri Oluşturulması. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
21. Başer, G. (1998). Temel Dokuma Tekniği ve Kumaş Yapıları. TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Yayınları, 2, 201-209.
22. Göktepe, Ö. (1992). Halı Üretim Teknikleri ve Kaliteye Tesir Eden Faktörler-1. Tekstil & Teknik, 91, 38-42.
23. Türkyılmaz, T.A. (2023). <https://tekstilbilgi.tr.gg/%C7ok-Fazli%26%23305%3B-Dokuma-Makineleri.htm>
24. Budanov, K.D., Martirosov, A.A., Popov, E.A., Tuvaeva, A.A. (1975). Tekstil Ekipmanlarının Hesaplanması ve Tasarımı. Eğitim kitabı. Makine mühendisliği, Moskova, 390 s.
25. Mitropolsky, B.I., Lyubovitsky, V.P., Fomchenko, B.R. (1972). Dokuma Makinelerinin Tasarımı. Makine Mühendisliği, Leningrad (S.Petersburg), 208 s.







## BÖLÜM 2

### TEKSTİLDE PLAZMA TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI

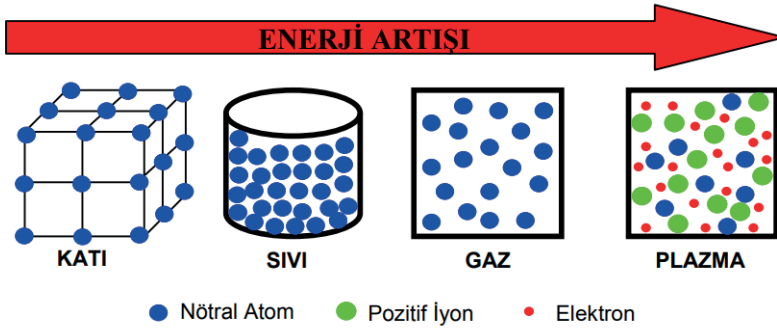
*Gamze GÜLŞEN BAKICI<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi Adana Organize Sanayi Bölgesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu ORCID: 0000-0002-4241-7096

## 1. Giriş

### 1.1. Plazma Nedir?

Plazma, elektriksel olarak nötr olup rastgele yönlerde hareket eden pozitif ve negatif yüklü parçacıklardan oluşan bir topluluktur. İçindeki parçacıklar kolektif hareket eder, bu nedenle sistem yüksüzdür. Bir katı madde, sabit basınç altında sıcaklık arttıkça sıvıya, sıvı ise gaz haline geçer. Yüksek sıcaklıkta gaz molekülleri ayrışır, daha fazla ısıtıldığında elektronlar koparak yüklü parçacıklar (iyonlar ve elektronlar) oluşturur ve madde plazma haline gelir (Şekil 1). Bu durumda, atomlar parçalanır ve sürekli hareket eden iyonlar ve elektronlardan oluşan bir sistem meydana gelir. Plazma içinde ayrıca fotonlar, radikaller, yarı kararlı atomlar ve nötr parçacıklar da bulunur (Akan, 2006).



Şekil 1. Maddenin dört hali (Akan, 2006)

Plazma teknolojisi, tekstil endüstrisi, elektronik, havacılık ve uzay, otomotiv, gıda, çelik, biyomedikal, atık yönetimi, ambalaj gibi çeşitli endüstrilerde kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle mikroelektronik devre üretiminde plazma tabanlı işlemler vazgeçilmezdir. Plazmalar; plastikler, polimerler, metaller, seramikler ve biyomalzemeler dahil birçok malzeme yüzeyini modifiye etmek için deneysel ve endüstriyel ölçekte kullanılmaktadır (Shahidi, Ghoranneviss, & Moazzenchi, 2014).

### 1.2. Tekstil Endüstrisinde Çevre Dostu Üretim Yaklaşımları ve Plazma Teknolojisinin Rolü

Küresel ısınma, su kaynaklarının azalması ve çevreye yönelik yasal düzenlemeler, tüm sektörlerde çevre dostu üretim yöntemlerini zorunlu hale getirmektedir. Tekstil üretiminde çevresel etkilerin değerlendirilmesi, hammaddeden son ürüne kadar olan tüm süreçlerin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu süreçler; lif, iplik, dokuma/örme, giysi

üretimi ve üretim sonrası aşamaları kapsar. Yeşil tekstiller, organik üretim, ekolojik tasarım, sürdürülebilirlik gibi kavramlar bu yeni anlayışın örnekleri olup, her bir üretim aşamasındaki atık oranları, enerji tüketimi ve kimyasal kullanım gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (İşmal & Yıldırım, 2011).

Tekstil endüstrisinin, küresel temiz su kirliliğinin yaklaşık %20'sinden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir ve bu yüksek su tüketiminin başlıca nedeni, malzemelerin yaş işlemleridir (boyama, bitim işlemleri vb.) (Aragón Chivite, Portolés Gil, Campà, Bautista Pérez, & Félix de Castro, 2024). Plazma teknolojisinin tekstil malzemelerinin işlenmesinde son yıllarda kaydettiği gelişmeler, bu yöntemin tekstil işlemleri için alternatif bir teknoloji olarak büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. Tekstillerin ıslak işlemleri (örneğin, haşıl sökme, kasar, ağartma, boyama/baskı ve apre) büyük miktarda su tüketmekte, atık su ile çevreyi kirlletmekte ve yüksek enerji gereksinimi oluşturmaktadır. Bu durum, daha “yeşil süreçlere” olan ihtiyacı artırmıştır. Plazma teknolojisi, etkili bir şekilde kullanıldığında, kuru bir işlem olması, enerji verimliliği sağlaması, minimum kimyasal kullanım gerektirmesi ve çevreye zararlı atık oluşturulmaması gibi avantajları sayesinde daha çevreci çözümler sunabilir (Shahidi vd., 2014). Plazma, uzun vadede maliyet açısından verimli bir işlem olabilir, ancak ilk kurulumda mevcut sistemlerde önemli ve maliyetli değişiklikler yapılması gerekir. Bu da sanayilerin bu teknolojiyi benimsemesini zorlaştırmıştır (Patti, 2024).

## 2. Plazmanın Sınıflandırılması

Plazma türlerinin sayısının fazlalığı, evrensel bir sınıflandırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Ancak, plazma türlerini sınıflandırmanın basit ve yaygın bir yolu, bunları termal ve termal olmayan (non-termal) plazmalar olmak üzere iki ana gruba ayırmaktır. Tekstil materyallerinin yüksek sıcaklıkta bozulma riski nedeniyle, yalnızca soğuk (non-termal) plazma tekstil malzemelerine uygulanabilir (Ahmed ve ElShishtawy, 2010; Dave ve diğerleri, 2019; Kan ve Yuen, 2007; Man ve diğerleri, 2015). Ayrıca, plazma işlemi, kullanılan odacık basıncı, voltaj ve güç jeneratörünün frekansına bağlı olarak farklı türlere ayrılır. Plazma üretimi için bir gaz ortamına doğru akım (DC) veya alternatif akım (AC) farklı frekanslarla uygulanabilir. Plazma üretiminde kullanılabilecek alternatif akım güç kaynakları arasında düşük frekans (LF, 1-500 kHz), radyo frekansı (RF, genellikle 13,56 MHz veya 27,12 MHz) ve mikrodalga (MW, genellikle 915 MHz veya 2,45 GHz) bulunur (Haji & Naebe, 2020).

## 2.1. Termal Plazmalar

Termal plazmalar, DC veya AC elektriksel deşarjlar, RF ve mikrodalga deşarjları gibi çeşitli yöntemlerle yapay olarak üretilebilir ve genellikle atmosferik basınca yakın koşullarda gözlemlenir. Termal plazmalar, gazdaki farklı türler arasında termal denge sağlandığı ve sıcaklıkların binlerce derece Santigrat seviyelerine ulaştığı plazmalardır. Bu tür plazmalar, yıldızlar, şimşekler, kuzey ışıkları ve diğer gök cisimlerinde gözlemlenebilir. Termal plazmaların yıkıcı doğası nedeniyle, hiçbir tekstil materyali bu tür plazmalara dayanıklı değildir (Mowafi, Abou Taleb, & El-Sayed, 2022).

## 2.2. Termal Olmayan (Non-termal) Plazmalar

Termal olmayan (Non-termal) plazmalar, atmosferik basınç plazmaları ve vakum (düşük basınç) plazmaları olarak iki ana grupta sınıflandırılabilir. Bu plazma türlerinin avantaj ve dezavantajları hâlâ tartışılmakta olup, hangi türün kullanılacağı, işleme hızı, örnek boyutu ve istenen modifikasyonun kapsamına göre belirlenir.

### 2.2.1. Vakum Plazma (Düşük Basınç Plazma)

Düşük sıcaklık plazma işlemi, en umut verici ve gelişmiş polimer modifikasyon yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, yüzey özelliklerini geniş bir yelpazede değiştirmeyi ve polimer malzemelerin kullanım alanlarını önemli ölçüde artırmayı sağlar. Yüzey modifikasyonu, işlenen liflerin hidrofiliğini artırır. Bu işlemde, polimerin büyük kısmı bozulmadan kalır ve orijinal malzemenin mekanik, fiziko-kimyasal ve elektrofiziksel özellikleri korunur (Ahmed & El-Shishtawy, 2010). Ancak, vakum plazma (LPP) teknolojisi, pahalı vakum sistemleri gerektirdiğinden, büyük ölçekli ve sürekli işleme süreçlerinde zorluklar yaratmaktadır. Bu durum, teknolojinin tekstil endüstrisinde ticari olarak uygulanabilirliğini sınırlamaktadır (Mowafi vd., 2022).

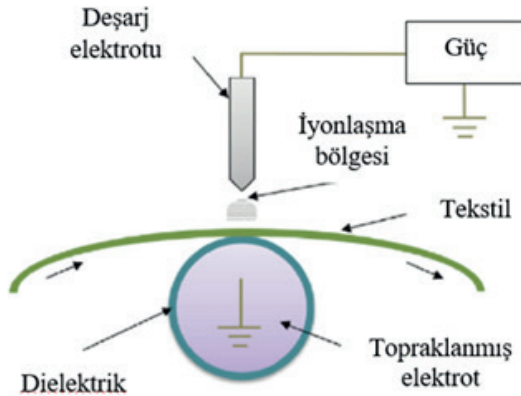
Vakum plazmalar, 10 mTorr ile 1 Torr arasındaki düşük basınçlarda oluşan ve kontrollü bir sistemde yapılan plazma türleridir. Düşük basınçta, elektronlar ve iyonlar arasındaki serbest yol uzunluğu artar, bu da çarpışma sayısını azaltır ve yüzeyle etkileşimi artırır. Elektronlar, iyonlar ve UV ışınlarının sinerjik etkisi, yüzey modifikasyonunu daha etkili hale getirir ve atmosferik plazmalara göre daha iyi sonuçlar sağlar. Vakum plazmalarında gaz miktarı kontrol edilebilir, böylece gaz karışımları da düzenlenebilir (Seventekin & Özdoğan, 2008).

### 2.2.2. Atmosferik Plazma

Atmosferik plazmalar ise, vakum plazmalarının dezavantajlarından kaçınmak için son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır. Atmosferik plazmalar, atmosfer koşulları altında meydana gelir ve vakum plazmalarından en önemli farkı, vakum tertibatına ihtiyaç duymadan sürekli bir şekilde ve açık en çalışabilmesidir (Seventekin & Özdoğan, 2008).

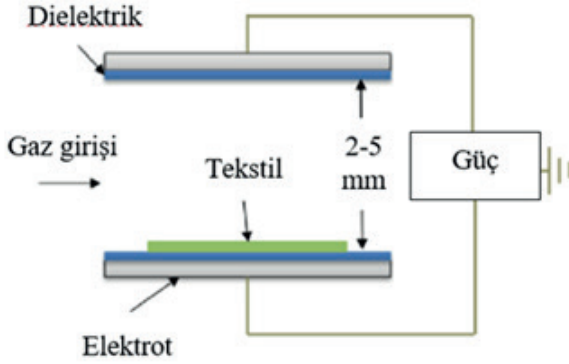
Son dönemde, atmosferik basınçta üretilen plazmaların tekstil ve diğer materyallerin yüzey modifikasyonunda stabilite, homojenlik ve işlenebilirlik açısından mükemmel sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Atmosferik plazmalar, düşük basınç plazma ve ıslak kimyasal işlemlerle karşılaştırıldığında maliyet açısından daha verimli bir alternatif sunmakta olup, pahalı vakum ekipmanlarına ihtiyaç duymaz ve sürekli, homojen yüzey işleme olanağı sağlar (Mowafi vd., 2022). Atmosferik plazma yöntemleri corona deşarj, dielektrik bariyer deşarj, atmosferik basınçlı glow deşarj ve atmosferik basınçlı plazma jeti olmak üzere dört farklı gruba ayrılır.

**Korona Deşarjı (CD):** Korona, polimer yüzeylerin modifikasyonlarında uygulanan en eski plazma teknolojisidir (Şekil 2). Atmosferik basınçta, korona deşarjı, çeşitli şekil ve boyutlarda iki elektrot arasında düşük frekanslı ve yüksek voltajlı (10–15 kV) bir elektrik uygulayarak indüklendir. Elektrotlar arası mesafenin çok yakın (yaklaşık 1 mm) olması gerekir. Bu da kalın malzemeler ve hızlı, tutarlı işlemler için uyumsuz hale gelir. Korona işlemi, liflerin yüzey alanını ve yüzey pürüzlülüğünü artırabilir, ancak tekstiller için homojen olmayan bir işlemdir. Bunun nedeni, iyonizasyonunun düzensiz olmasıdır; esas olarak gevşek lifleri etkiler ve kumaşların derinliklerine nüfuz etmez (Mowafi vd., 2022). İşlemdeki homojen olmayan etki, yüzeyde küçük delikler oluşması ve işlem kontrolünün zorluğu dezavantajlarından (Seventekin & Özdoğan, 2008).



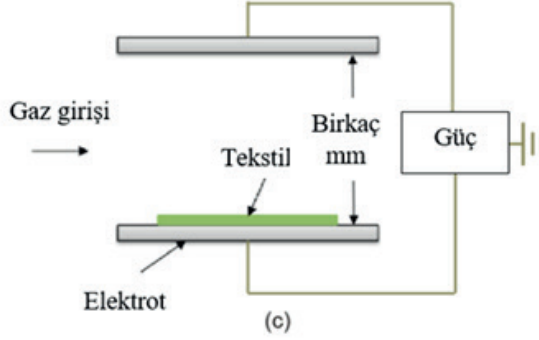
Şekil 2. Korona deşarjı (CD) şematik gösterimi (Naebe, Haque, & Haji, 2022)

**Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD):** DBD, en başarılı atmosferik plazma kaynaklarından biri olup, büyük ölçekli sistemlere uyarlanabilme kapasitesi nedeniyle endüstriyel uygulamalar için büyük bir potansiyel taşımaktadır (Şekil 3). DBD plazmasında, dielektrik bir katman en az bir elektrotu kaplar (Mowafi vd., 2022). DBD, dielektrik kaplamalı elektrot çiftlerine voltaj uygulanarak üretilir. Klasik atmosferik plazmalarda arklar nedeniyle bölgesel ısınmalar ve uniform olmayan etkiler oluşurken, DBD’de dielektrik kaplama kapasitör görevi görür ve termal olmayan plazma oluşumunu sağlar, böylece daha homojen etkiler elde edilir. Plazma oluşumu için, uygulanan voltajın gazları bozmak için gerekli voltajdan büyük olması gerekir (Seventekin & Özdoğan, 2008). DBD kısa süreli bir etkiye sahiptir. Bu durum, önemli türlerin oluşumu için gerekli olan kimyasal reaksiyonları kesintiye uğratabilir (Mowafi vd., 2022).



Şekil 3. Dielektrik bariyer deşarjı (DBD) şematik gösterimi (Naebe vd., 2022)

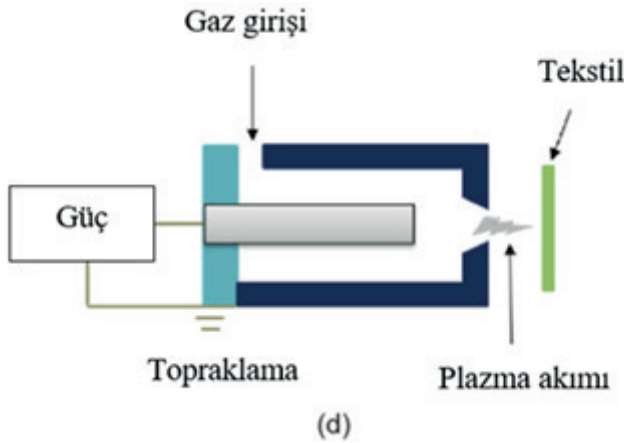
**Atmosferik Basınçlı Glow Deşarj (APGD):** Glow deşarj, en eski plazma türüdür ve düşük veya atmosferik basınçta inert ya da reaktif gazlarla üretilebilir (Şekil 4). Bu plazma, yüksek düzgünlük ve esneklik sunar. Kapalı bir sistemde, DC, AC, RF veya MW gerilimler uygulanarak elde edilebilir (Seventekin & Özdoğan, 2008). DBD plazmaya kıyasla daha düşük bir voltaj ve daha yüksek bir frekansta üretilen bu plazma, düzgün bir yapıya, nispeten uzun bir süreye ve düşük ila orta düzeyde yüzeyel güç yoğunluklarına sahiptir. Bu özellikler, yüzeyde ısınmayı veya hasarı önler. Bir radyo frekans kaynağı, birkaç milimetre aralıkla ayrılmış iki paralel elektrot arasında bağlanır. Elektrotların, bir DC deşarjını sürdürebilmek için iletken olması gerekir. En basit durumda, genellikle atmosferik basınçta helyum veya argon gazı içeren bir hücreye yerleştirilmiş elektrotlar arasında bir potansiyel uygulanarak bir deşarj oluşturulur. Uygulanan voltaj birkaç kV’dan 100 V’a kadar değişebilir (Mowafi vd., 2022).



Şekil 4. Atmosferik basınçlı glow deşarjı (APGD) şematik gösterimi (Naebe vd., 2022)

**Atmosferik Basınçlı Plazma Jeti (APPJ):** Atmosferik basınç altında çalışan plazma jetleri, yüzey modifikasyonu için en son tekniktir (Şekil 5). Oda sıcaklığında, yüzey işlemleri için son derece etkilidir. Plazma jetinin DBD'ye (dielektrik bariyer deşarjı) karşı avantajı, her türlü geometrik yüzeye uygulanabilmesi ve homojen reaktif gazlar üretebilmesidir (Saleem, Naz, Shoukat, Shukrullah, & Hussain, 2021; Mowafi vd., 2022).

Atmosferik basınç hava plazma sistemi, düşük işletme maliyetleri nedeniyle bu görev için en çok tercih edilen sistemlerden biridir. Atmosferik basınç hava plazma cihazları, vakum sistemlerinden kaçınılması ve işletim gazı olarak havanın kullanılması nedeniyle tüm düşük basınç plazma sistemlerine kıyasla önemli bir avantaj sağlamaktadır (Mohamed & El-Sayed, 2024).



Şekil 5. Atmosferik basınçlı plazma jeti (APPJ) şematik gösterimi (Naebe vd., 2022)

### 3. Plazma İşlemine Etki Eden Parametreler

Plazma işleminin etkinliği, birçok faktöre bağlıdır. Plazma işleminin etkisini belirleyen başlıca faktörler; kullanılan gazın türü, gaz akış hızı, sistem basıncı, deşarj gücü, işlem süresi, plazma ile işlem görmüş yüzeyin yaşlanması, plazma işlemi sırasında meydana gelen sıcaklık değişimidir.

Plazma işleminin sonucu, büyük ölçüde kullanılan gazın veya kullanılan buharın türüne bağlıdır. Organik, organosilikon veya organometalik buharların çoğu, yüzeylerde ince bir film oluşturmaya eğilimlidir ve bu filmlerin birikimi, bu tür durumlarda polimer yüzeyini değiştiren ana faktördür. Diğer yandan, asal gaz, azot, oksijen, hidrojen, amonyak veya su buharı gibi polimerleşmeyen gazlar, oksidasyon, aşındırma, çapraz bağlanma ve muhtemelen aşılama (grafting) gibi işlemler yoluyla polimer yüzeylerini değiştirir. Bununla birlikte, aşınmanın gaz fazına çeşitli kimyasal türler sağladığı, bunların bazılarının özellikle hidrojen veya amonyak gibi reaktif olmayan gazlarla karışımlarda birikinti oluşturabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Kan & Yuen, 2007).

**İnert Gazlar:** Plazma teknolojisinde sıkça kullanılan üç inert gaz helyum, neon ve argondur. Argon, daha düşük maliyeti nedeniyle en yaygın tercih edilen inert gazdır. İnert gaz plazması, reaktif gazların uygulanmasından önce yüzey temizliği yapmak ve polimerlerin yapışma özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Kan ve Yuen, 2007).

**Oksijen İçeren Gazlar:** Oksijen ve oksijen içeren plazma, polimer yüzeylerini modifiye etmek için en sık tercih edilen yöntemlerdendir. Oksijen plazmasının, polimer yüzeylerinde C=O, C-O, O-C=O ve C-O-O gibi çeşitli oksijen fonksiyonel gruplarını oluşturabildiği bilinmektedir. Bu süreç sırasında oksijen plazmasında iki temel mekanizma eşzamanlı olarak işler. İlki atomik oksijenin yüzeydeki karbon atomlarıyla etkileşime girerek polimer yüzeyini aşındırması (etching) ve bu etkileşim sonucunda uçucu reaksiyon ürünlerinin oluşumudur. İkincisi ise plazmadan üretilen aktif türler yüzey atomlarıyla reaksiyona girerek polimer yüzeyinde oksijen fonksiyonel gruplarını meydana getirir (Kan & Yuen, 2007).

**Azot İçeren Gazlar:** Azot içeren plazma, polimer yüzeylerinin ıslanabilirliğini, baskı yapılabirliğini, bağ yapabilirliğini ve biyouyumluluğunu artırmak için yaygın olarak kullanılır (Kan & Yuen, 2007).

**Flor İçeren Gazlar:** Flor içeren gaz kullanıldığında, yüzey reaksiyonları, aşındırma ve plazma polimerizasyonu aynı anda gerçekleşebilir. Hangi reaksiyonların baskın olacağı, gaz beslemesi, işlem parametreleri ve polimer alt tabakasının kimyasal doğasına bağlıdır.  $CF_x$  radikalleri, polimerizasyonu teşvik eden önemli bileşiklerdir. Tetraflorometan, flor atomlarıyla reaksiyona giren bir malzeme için en yüksek aşındırma özellikleri-



ne sahiptir (Kan & Yuen, 2007).

**Hidrokarbonlar:** Metan, etan, etilen, asetilen ve benzen gibi hidrokarbonlar, karbon filmlerinin üretiminde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu filmlerin optik kırılma indisi ve geçirmezlik gibi olağanüstü fiziksel özellikleri olup onlara anti-yansıma ve aşınma dirençli kaplamalar gibi birçok potansiyel uygulama sağlar (Kan & Yuen, 2007).

**Halokarbonlar:** Flor içeren inorganik gazların (örneğin flor, hidrojen florür,  $NF_3$ , brom triflorür, kükürt tetraflorür ve  $SF_6$ ) ve monomerlerin plazması, polimer yüzeylerine flor atomları ekleyerek hidrofobik malzemeler üretmek için kullanılır (Kan & Yuen, 2007).

**Organosilikon Plazma:** Organosilikon monomerlerinden elde edilen plazma polimerleri, mükemmel termal ve kimyasal dirençlerinin yanı sıra olağanüstü elektriksel, optik ve biyomedikal özelliklere sahiptir. Bu polimerler, modern teknolojinin çeşitli alanlarında kullanılabilir. Örneğin, mikroelektronikte dielektrik kaplamalar veya kapsülleme malzemeleri ile tıpta biyoyumlu malzemeler olarak tercih edilebilirler. Yaygın organosilikon öncülleri arasında silanlar, disilanlar ( $SiSi$ ), disiloksanlar ( $SiOSi$ ) bulunmaktadır (Kan & Yuen, 2007).

#### 4. Plazma Teknolojisi ile Modifikasyon

Plazma, malzeme yüzeyiyle etkileşime girdiğinde, plazmayı oluşturan türler, çarpışmalar sonucu enerjilerini malzemeye aktarır; bu sırada yüzeydeki bazı bağlar ayrılır, radikaller oluşur ve böylece yüzeyde modifikasyonlar meydana gelir. Bu modifikasyonlar, yüzey aktivasyonu, korozyon, çapraz bağlanma, zincir ayrılması, oksidasyon ve diğer kimyasal reaksiyonları içerir. Bu modifikasyonlardan sonra, malzemenin temel özellikleri değişmeden kalır. Plazma işlemi ile tekstil ürünlerinin hidrofilitiği, adhezyon (yapışma), temizlik, sterilizasyon derecesi, yüzey serbest enerjisi ve yüzey sürtünme katsayısı artırılabilir. Bunların yanı sıra, uygun monomerler kullanılarak, yüzeyde ince film oluşumu ile su/yağ/kir itici, alev geciktirici, antimikrobiyal özellikler gibi etkiler elde edilebilir. Plazma işlemi sırasında üretilen reaktif parçacıklar, polimerin hacimsel özelliklerini değiştirmeden yüzeyde farklı modifikasyonlara yol açar. Bu modifikasyonlar, yüzey aktivasyonu, temizlik, korozyon, aşındırma, plazma polimerizasyonu gibi şekillerde olabilir (Öztürk, 2012)

#### Yüzey Temizliği

Temizlik, yüzeydeki organik kalıntıların uzaklaştırılması sürecidir. İyon bombalanması sırasında, göze görünmeyen kirler (yağ birikintileri, Si kalıntıları, kısmen emilmiş kirler) fiziksel olarak buharlaştırılarak temizlenir. Sürecin verimliliği, kirlenme düzeyine ve kullanılan gaz türüne bağlı olarak değişir. Plazma işlemi sırasında mekanik bir etkileşim olmadı-

ğı için, partiküller veya inorganik kirleticiler temizlenemez. Plazma yüzey temizliği, liflerin, filmlerin ve kumaşların ıslanabilirliğini, emiciliğini ve baskı yapılabilirliğini artırmak; yüzeylere yapıştırıcı bağlanmasını sağlamak; yünlerin mumdan arındırılması; yüzeylerin sterilizasyonu veya dezenfeksiyonu; ve yüzeylerin yapışma özelliklerini iyileştirmek gibi özel uygulamalara sahiptir (Ertürk, 2012).

### **Aşındırma**

Yüzeydeki zayıf kovalent bağlar, plazma ile katı yüzey arasındaki etkileşim sonucu korozyon ile ayrılabilir ve bu etkileşim sonucunda gaz halindeki ürünler oluşur. Korozyon, madde buharlaştığı için malzeme üzerinde meydana gelir. Korozyon etkisiyle, toplam yüzey alanı artar. Aşındırma, genellikle politetrafloroetilen (PTFE) ve polioximetilen (POM) gibi plastik yüzeylerde, malzemenin yapışma kalitesini artırmak için kullanılır (Ertürk, 2012). Aşındırma, soy gazlar, oksitleyici gazlar, hava, inorganik veya organik gazlar gibi reaktif gazlarla yapılır (Kutlu, 2008). Plazma temizliği ile plazma aşındırma arasındaki fark, yüzeyden ne kadar malzemenin uzaklaştırıldığıdır. Plazma aşındırma işleminden sonra, belirgin korozyon izleri gözlemlenebilir (Ertürk, 2012).

### **Yüzey Aktivasyonu**

Plazma aktivasyonu, işlem gören yüzeye yeni fonksiyonel grupların eklenmesini içerir. Yüzeyin özellikleri, eklenen kimyasal grupların türüne bağlı olarak değişir. Plazma yüzey aktivasyonu, yüzeydeki polimer fonksiyonel gruplarını plazma iyonlarından gelen diğer atomlarla değiştirme işlemidir. Plazma ortamında, reaktif türler tekstil liflerinin yüzeyine bombardıman yaparak serbest radikaller oluşturur. Bu serbest radikaller, plazma türleri ile reaksiyona girdiğinde fonksiyonel gruplar oluşur (Donkor, Sun, Bucknall, & Buckman, 2024).

### **Plazma Polimerizasyonu**

Plazma polimerizasyonunda materyallerin yüzeyinde ince polimer filmleri oluşmasını sağlar. Bu işlemde monomer doğrudan plazmaya eklenir ve polimerizasyon işlemi plazma içinde gerçekleşir (Shahidi vd., 2014). Plazma polimerizasyonu, hem düşük basınçta hem de atmosfer basıncında gerçekleştirilebilir. İnce polimer kaplamaların biriktirilmesiyle gerçekleştirilen işlevselleştirme, çeşitli uygulamaları nedeniyle benzersiz bir süreçtir. Bu uygulamalar arasında adhezyon, su iticilik, antibakteriyel özellik, yüzey ıslanabilirliği gibi özellikler yer alır. Yüksek enerjili uyarılmış elektronlar, molekülleri serbest elektronlara, iyonlara, radikallere ve uyarılmış moleküllere ayırır. Bu serbest radikaller ve uyarılmış moleküller, alt tabakada yoğunlaşır ve polimerleşir. İyonlar ve elektronlar ise daha önce birikmiş polimerle kimyasal bağlar kurar veya çapraz bağlar oluşturur (İqbal vd., 2019).

## 5. Plazma Teknolojisinin Tekstilde Kullanımı

Bir tekstil lifinin yüzey özellikleri, nem yönetimi, boyama ve genel performans üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Gama ışınları, UV radyasyonu, lazer işlemi, plazma uygulamaları, mikrodalga işlemleri, katyonzasyon ve nanopartiküllerin kullanımı, farklı tekstil liflerinin yüzeyini değiştirmek için kullanılan başlıca tekniklerden bazılarıdır (Haji & Naebe, 2020).

Plazma işlemleri, tekstil üretiminin birçok aşamasında, hem doğal hem de sentetik malzemelere istenilen fonksiyonellik ve son kullanım özelliklerini kazandırmak amacıyla kullanılabilir. Bu işlemler, ön terbiye aşamasından bitim işlemlerine kadar geniş bir yelpazede uygulanabilir (Akçalı & Oktav Bulut, 2012). Bu teknoloji, tekstil materyallerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Özellikle materyalin ıslanabilirlik özelliklerinin iyileştirilmesi, boyama ve baskı verimliliğinin artırılması, su itici, antimikrobiyal, antibakteriyel özelliklerin kazandırılması gibi amaçlarla yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, su iticilik, güç tutuşurluk, buruşmazlık gibi fonksiyonel özelliklerin kazandırılması, ham dokuma kumaşlardan haşıl maddelerinin uzaklaştırılması ve denim kumaşlarda renk soldurma çalışmaları gibi uygulamalarda da plazma teknolojisi önemli bir rol oynamaktadır.

### 5.1. Örnek Çalışmalar: Islanabilirlik, Boyanabilirlik ve Basılabilirliğin İyileştirilmesi

Tekstil ve boyama endüstrisi, küresel ölçekte üretilen boyalı atık suların yaklaşık %75'ini oluşturan başlıca sanayi sektörleridir. Bu durum, çevresel açıdan ciddi bir endişe kaynağıdır, çünkü çoğu sentetik kökenli ve biyolojik olarak parçalanamayan boyalar, doğal ortamda birikerek su kaynaklarını kirletebilir ve ekosistemde olumsuz etkilere yol açabilir. Tekstil ve boyama işlemlerinde kullanılan su ve kimyasal maddeler, çevre kirliliğine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Plazma, kumaşın yüzey özelliklerini değiştirerek boyaların kumaşa daha verimli tutunmasını ve boyama işleminin etkinliğini artırmasını sağlar. Bu sayede, daha az su ve kimyasal madde kullanılarak aynı boyama sonuçlarına ulaşılabilir. Plazma işlemi genellikle geleneksel boyama işlemlerinden önce bir ön işlem olarak uygulanır; burada, boyalı atık suyun oluşumu hala bir dezavantaj oluşturmaktadır (Haque & Naebe, 2023).

Plazma işlemleri, gelecekte büyük bir potansiyele sahip olan yeni bir malzeme türü olan miselyum tabanlı malzemenin ıslanabilirliğini artırmak amacıyla incelenmiştir. Optimize edilmiş vakum plazma (LPP) ile miselyum tabanlı malzemenin su emme kapasitesi %2000 oranında artırılmıştır (Aragón Chivite vd., 2024).

Metalik pigment baskıya hazırlık amacıyla %100 ham ve ağartılmış pamuklu kumaşların yüzeylerini aktive etmek için hava plazma işlemi kullanılmıştır. Çalışma, yüzey morfolojisi, ıslanabilirlik ve yüzey kimyası özelliklerini incelemiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), işlem görmüş numunelerde pürüzlülük ve oluklar ortaya çıkarmıştır. Temas açısı, işlem görmemiş kumaşlara kıyasla, ham kumaş için %29, ağartılmış kumaş için ise %41 oranında artış göstermiştir. Bu bulgular, kumaşların yüzey serbest enerjisinin artmasına ve metalik pigment baskı süreci için uygun hale gelmesine katkı sağlamıştır (Donkor vd., 2024).

Pamuklu kumaş, düşük frekansta 10 dakika süreyle oksijen, azot ve argon gazları kullanılarak plazma işlemine tabi tutulmuştur. Plazma işlemi sonrasında numunelerin hidrofilik özellikleri, temas açısı ölçümleri ile analiz edilmiştir. İşlem sonrası numuneler, alüminyum folyo altında ve normal ortam koşullarında bir ay boyunca saklanmış, ardından hidrofilik özellikleri yeniden temas açısı ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Çalışma bulguları, oksijen ve azot gazlarının pamuklu kumaşın hidrofilik özelliklerini artırdığını, argon gazının ise bu özellikleri azalttığını ortaya koymuştur. Ayrıca, plazma işleminin pamuklu kumaşın hidrofilikliği üzerindeki etkisinin zamanla azaldığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, plazma işlemini takiben tekstil yaş işlem süreçlerinin vakit kaybetmeden gerçekleştirilmesi önerilmektedir (Kilinc, Canbolat, Eyuboglu, & Kut, 2015).

15-90 saniye süreyle uygulanan DBD işlemi, polyester kumaşta lif yüzey pürüzlülüğünü ve COOH gruplarını artırarak önemli yüzey modifikasyonlarına neden olmuştur. Bu değişiklikler, kumaşın atkı yönündeki su emme yüksekliğini %22,5 oranında artırmış ve dispers boyalarla boyanabilirliğini iyileştirmiştir. Boyanabilirlikteki artış, işlem süresine bağlı olarak değişmiş; özellikle 60 saniyelik işlem, belirgin bir iyileşme sağlamıştır. Plazma işlemine tabi tutulmuş kumaşlar, aynı boya konsantrasyonunda işlem görmemiş kumaşlara kıyasla daha koyu renk almıştır (Kim, Vu Thi Hong, Vu Thi, & Vu Manh, 2021).

Polyester kumaş yüzeyi, atmosferik basınç altında gerçekleştirilen oksijen plazma işlemiyle farklı çalışma koşullarında modifiye edilerek kumaşın hidrofilikliği ve boyanabilirlik özellikleri iyileştirilmiştir. Plazma işlemi sonucu oluşan yüzey aşındırma etkisi, kumaşın yüzey pürüzlülüğünde artışa yol açmış ve bu durum SEM ve XRD analizleriyle doğrulanmıştır. Ayrıca, FT-IR spektroskopisi ile tespit edilen oksijen bazlı fonksiyonel gruplardaki artış, kumaşın ıslanabilirliğinde belirgin bir iyileşme sağlamıştır. Oksijen plazma işlemi uygulanmış ve 100 °C'de dispers boyalarla boyanmış kumaşların renk kuvveti (K/S) değerleri, 130 °C'de boyanan işlenmemiş kumaşlara kıyasla hafifçe daha yüksek bulunmuştur (Kamel, El-Zawahry, Helmy, & Eid, 2011).

Atmosferik plazma işlemiyle modifiye edilmiş polyester (PES) ve polipropilen (PP) dokuma kumaşların ıslanabilirlikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, PES ve PP kumaşların modifikasyonu için argon ve hava plazma kullanılmıştır. Sonuçlar, atmosferik basınçta uygulanan soğuk plazma işleminin, polimer alt tabakaların hidrofilliğini etkili ve güvenli bir şekilde artırırken yüksek maliyet veya çevresel kirlilik yaratmadan kullanılabilirliğini göstermektedir (Yaman vd., 2009).

Atmosferik basınç plazma işleminin yün lifleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yün kumaşlar farklı sürelerle plazma işlemine tabi tutulmuş ve ardından asit boyarmaddelerle boyanmış, ayrıca asit boyarmaddesi içeren baskı patı ile basılmıştır. En yüksek boya emilimi, en uzun süre (100 saniye) plazma işlemine tabi tutulan kumaşlarda elde edilmiştir. Benzer sonuçlar baskı işlemlerinde de gözlemlenmiştir. AFM analizi, plazma işleminin epikütikül tabakasına zarar verdiğini, XPS analizi ise yüzeyde kimyasal değişiklikler meydana geldiğini göstermiştir. Sonuç olarak, plazma işlemi görmüş yün, daha düşük sıcaklıklarda daha fazla boyarmadde adsorplar ve bu işlem, gelecekte boyama ve baskı işlemleri için ön işlem olarak kullanılabilir (Chvalinova & Wiener, 2008).

Mikrodalga (MW) ve radyo frekans (RF) plazmalarında azot, oksijen ve karışımları kullanılarak polyester kumaşların hidrofillik dereceleri incelenmiştir. Deneylerde, RF plazma modifikasyonunun MW'ye göre daha etkili olduğu, azot plazma işleminin daha uzun süre ve yüksek güç gerektirdiği bulunmuştur. Modifikasyon verimliliği, gaz türüne ve plazma jeneratörüne bağlıdır. Saf oksijen plazması 48 saat etkili olurken, azot ve hava plazmalarının etkisi 24 saat sonra kaybolmuştur (Vatuna vd., 2004).

Plazma püskürtme işleminin yünün doğal boyama özellikleri üzerindeki etkisi ve mordanlama işlemine alternatif olma potansiyeli incelenmiştir. Bakır sülfat ( $\text{CuSO}_4$ ) metal mordan olarak kullanılmıştır. Ayrıca, DC magnetron plazma püskürtme cihazında elektrot malzemesi olarak bakır tercih edilmiştir. Sonuçlar, plazma işleminin mordan işlemine etkili bir alternatif sunarak yünün doğal boyama özelliklerini iyileştirdiğini ve antibakteriyel etkinliğini artırdığını göstermiştir (Ghoranneviss vd., 2011).

## 5.2. Örnek Çalışmalar: Su İtici Özellik Kazandırılması

Bir yüzeyin ıslanabilirliği, kimyasal bileşimi ve morfoljisiyle şekillenir ve temas açısı ölçümleriyle değerlendirilir. Sıvı bir damla katı bir yüzeye temas ettiğinde, sıvı-katı-buhar üç fazlı temas hattında sıvı yüzeyinin teğeti ile yatay düzlem arasında bir açı oluşur. Su temas açısı ölçümleri, yüzeyin ıslanabilirlik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Su temas açısı ölçümlerine göre, yüzey ıslanabilirliği dört kategoriye ayrılır. Su temas açısı değeri  $90^\circ < \theta < 150^\circ$  arasında olan yüzeyler hidrofobik,  $10^\circ < \theta < 90^\circ$  arasında olan yüzeyler ise hidrofilik olarak sınıflandırılır. Su temas açısı

değeri 150°'den büyük olan yüzeyler süperhidrofobik, 10°'den küçük olan yüzeyler ise süperhidrofilik olarak adlandırılır (Iqbal vd., 2019).

Plazma ile yapılan hidrofobik ve süperhidrofobik yüzey üretimi üzerine yapılan çalışmaların çoğu, düşük basınçlı plazmalarla ilgilidir. Ancak, düşük basınçlı plazma teknolojisi, pahalı vakum ekipmanları ve sınırlı entegrasyon gereksinimleri gibi dezavantajlar taşır. Buna karşın, atmosfer basıncı plazmaları, pahalı ekipman gereksinimi olmadan endüstriyel ölçekte sürekli işlem yapabilme potansiyeline sahip olduğu için tercih edilmektedir. Çeşitli atmosfer basıncı plazma kaynakları önerilse de, çoğu çalışma Dielektrik Bariyer Deşarjları (DBD) ve Atmosfer Basıncı Plazma Jetleri (APPJ) ile ilgilidir (Dimitrakellis & Gogolides, 2018).

Hidrofobik malzemeler, flor içeren gazların plazma polimerizasyonu ile elde edilir. Örneğin, karbon nanotüpler, tetrafloroetilen plazma polimer kaplamaları kullanılarak süperhidrofobik hale getirilir. Hidrofobik ve oleofobik kaplamalar, perfloroakrilatların plazma polimerizasyonu ile elde edilir. (Iqbal vd., 2019).

Polyester kumaş temel malzeme olarak kullanılmış ve fonksiyonel malzemeler olarak polidimetilsiloksan (PDMS) ile politetrafloroetilen (PTFE) mikron tozu seçilmiştir. Su geçirmez ve nefes alabilir özelliklere sahip kumaş, plazma ön işleme, emdirme ve ardından plazma ile çapraz bağlama yöntemleriyle üretilmiştir (Zhao vd., 2023). Yapılan başka bir çalışmada ise Hexametildisiloksan (HMDSO) plazma polimerizasyonu ile çevre dostu flor içermeyen su itici tekstiller üretilmiştir (Jebali vd., 2023).

### **5.3. Örnek Çalışmalar: Antimikrobiyal ve Antibakteriyel Özellik Kazandırılması**

Antimikrobiyal apre, tekstil materyallerinin mikrobiyal hasardan korunmasına katkı sağlayarak, malzemenin dayanıklılığını artırmakta ve kullanıcıyı mikrobiyal enfeksiyonlardan korumaktadır. Mantarlar ve bakterilerle birlikte, tekstillerin antiviral özelliklere sahip bir apre ile işlenmesi, virüslerin yayılmasını engelleme potansiyeli sunmakta olup, özellikle mevcut pandemi sürecinde bu özellik daha da ön plana çıkmıştır. Bu bağlamda, tekstillerde antimikrobiyal apre uygulamaları, artan önemi ve potansiyeliyle dikkat çekmektedir ve önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Naebe vd., 2022).

Plazma destekli antimikrobiyal apre, polimer kaplama (biriktirme) veya aşırı polimerizasyonu ile elde edilir. Polimer kaplama (biriktirme), antimikrobiyal apre polimerinin ince bir film halinde tekstil alt tabakasına uygulanması iken, aşırı polimerizasyonu, antimikrobiyal apre ile tekstil yüzeyinin entegrasyonudur. Ayrıca, plazma apre öncesi bir ön işlem olarak kullanılsa bile, tekstilin temel fonksiyonel özellikleri (örneğin, emilim)

büyük ölçüde iyileştirilebilir ve benzer bir apre etkisi daha az su ve zaman kullanılarak elde edilebilir (Naebe vd., 2022).

İki farklı antibakteriyel monomer ile pamuklu kumaş üzerinde aşılama işlemi gerçekleştirilmiştir. Plazma işleminde, argon ve oksijen karışımından oluşan gazlar kullanılmış, plazma deşarj gücü ise 300 W olarak belirlenmiş ve işlem süresi 5 dakika olarak uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, 30 dakikalık temas süresinde, işlenen kumaşın %99,85 oranında *S. aureus* ve %99,07 oranında *E. coli*'yi inaktive ederek belirgin bir antibakteriyel etki gösterdiği tespit edilmiştir (Cheng, Jia, Sun, Liu, & Liang, 2022).

Cu, Zn ve Ag, güçlü antibakteriyel etkinlik gösteren en etkili antimikrobiyal nanopartiküller arasında yer almaktadır. Bu nanopartiküller, PA 6.6 ve PES kumaş yüzeylerine başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda kumaş üzerindeki plazma modifikasyonu ve Ag ile Cu nanopartiküllerinin başarılı şekilde kaplandığı doğrulanmıştır. İlk antimikrobiyal testler, PES kumaşı üzerinde gerçekleştirilmiş olup, tüm nanopartiküllerin antimikrobiyal etki sergilediği, ancak Cu ve Zn nanopartiküllerinin yalnızca *S. aureus* üzerinde etkinlik gösterdiği, Ag nanopartikülünün ise yalnızca *E. coli* üzerinde etkinlik gösterdiği bulunmuştur (Ribeiro vd., 2017).

Pamuklu kumaşlar üzerinde antibakteriyel bitim işlemi öncesinde argon plazma işleminin etkileri araştırılmıştır. Antibakteriyel bitim işleminden sonra yıkanmış ve yıkanmamış numunelerin antibakteriyel aktiviteleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, plazma işleminin antibakteriyel aktiviteyi belirgin şekilde artırdığını ve yıkama işlemine en dayanıklı antibakteriyel maddenin noniyonik difenilalken bazlı kimyasal olduğunu göstermiştir. SEM görüntüleri, argon plazma işleminden sonra pamuk yüzeyinin daha pürüzlü hale geldiğini ve yüzeye daha fazla gümüş partikülünün tutunduğunu ortaya koymuştur (Arik, Demir, Özdoğan, & Gülümser, 2011).

#### **5.4. Örnek Çalışmalar: Alev Geciktirici (Güç Tutuşur) Özellik Kazandırılması**

Polyester liflerine alev geciktiricilik kazandırmak için en yaygın yöntem, halojen bazlı ve fosfor bazlı kimyasal katkı maddelerinin üretim sırasında kullanılmasıdır. Halojen bazlı katkılar, alev geciktirici gazlar olarak koruyucu bir bariyer oluştururken, fosfor bazlı katkılar kömürleşme ile yanıcılığı azaltır. Bu çalışmada, fosfor bazlı alev geciktiricilerin plazma işlemi ile yüzey aktivasyonu ve yüksek sıcaklıkta boyama yöntemiyle polyester kumaşlara entegre edilmesi ele alınmıştır. Bu yöntem, her türlü polyester kumaşı alev geciktirici hale getirmede esneklik sağlarken, üretim sürecinde maliyet avantajı sunmaktadır (Kamel vd., 2011).



Polyester kumaş, atmosferik plazma işlemine tabi tutulup, yüksek sıcaklık-yüksek basınç (HTHP) yöntemiyle 3-hidroksifenil fosfinil-propanoik asit (3HPP) ile muamele edilmiştir. Kumaşlara %4'e kadar farklı konsantrasyonlarda 3HPP uygulanmıştır. Plazma işleminin ıslanabilirlik ve sıvı emme kapasitesini artırdığı, ayrıca kumaşın 3HPP absorpsiyonunu iyileştirdiği belirlenmiştir. Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) değeri referans kumaşta %20,8, plazma uygulanmış ve %4 oranında 3HPP ile muamele edilmiş kumaşta ise %30 olarak bulunmuştur (Nandy, Sreekumar, Palaskar, & Mehra, 2024).

Alev geciktirici bitim işlemlerinde sıkça kullanılan kimyasalların miktarının düşük frekanslı oksijen plazma işlemi ile azaltılabileceği düşünülmüştür. Plazma işlemine 10 dakikalık bir maruz kalma sonucunda en yüksek hidrofilik kumaş elde edilmiştir. LOI (Sınırlı Oksijen İndeksi) sonuçları, oksijen plazma işleminden sonra emdirme yönteminde 100 g/L alev geciktirici kimyasal yerine 50 g/L konsantrasyonunda alev geciktirici kimyasal kullanılabileceğini göstermiştir (Ömeroğulları & Kut, 2012).

Dayanıklı alev geciktirici pamuk lifleri, yeni sentezlenen P/Si bazlı alev geciktirici (PFR) nanoparçacıkları ile emdirme işlemi ve sonrasında plazma ile çapraz bağlama yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Modifiye pamuk liflerinin sınırlı oksijen indeksi (LOI), %27 olarak bulunmuş olup alev geciktirici özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Ayrıca, modifiye pamuk liflerinin alev geciktirici özelliklerinin dayanıklılığı, tekrarlanan yıkamalar sonrasında doğrulanmıştır (Li vd., 2022).

Polyester kumaşın alev geciktiricilik ve termal stabilite özelliklerini iyileştirmek amacıyla plazma yüzey aktivasyonu ile nanopartikül adsorpsiyonu birleştirilmiştir. Kumaş önce plazma ile aktive edilmiş, ardından bir solüsyon içinde işlem görmüştür. Etkileri karşılaştırabilmek için plazma uygulanmamış kumaşlar da hazırlanmıştır. Plazma ile işlenen kumaşlar, muamele edilmeyen kumaşlara kıyasla tutuşma süresinde %104'lük bir artış göstermiştir (Carosio, Alongi, & Frache, 2011).

### 5.5. Örnek Çalışmalar: Haşıl Sökme Etkisi

Helyum ve hava gazları karışımıyla yapılan atmosferik basınç plazma işlemi, nişasta ile haşıl işlemi görmüş ham pamuk kumaşları modifiye etmek için kullanılır. Plazma, yüzey morfolojisini değiştirir, haşıl sökme etkisi yaratır ve kumaşın emme ve ıslaklık özelliklerini iyileştirir. Plazma türleri, yüzeyle etkileşime girerek haşıl maddelerinin bağlarını kırar ve bunların sonraki yıkama işlemleri ile kumaştan uzaklaştırılmasını sağlar. Yüzeydeki pürüzlülük artışı ve -OH, -C=O, C-N fonksiyonel gruplarının yüzeye eklenmesi, kumaşın su çekme özelliklerini iyileştiren faktörlerdir (Saleem vd., 2021).



Atmosferik basınç plazması ile polivinil alkol (PVA) filmlerinin haşıl sökme mekanizması incelenmiştir. Ağırlık kaybı analizleri, plazma parçacıklarının yüzeye etkisi sonucu yüzeyde sürekli bir aşındırma olduğunu ve bu etkinin baskın olduğunu göstermektedir. Daha güçlü gaz bileşenlerinin kullanılması, yüzeyden kaldırılan kalınlık ve meydana gelen ağırlık kaybını artırmıştır. Oksijen ve  $CF_4$  gazlarının besleme gazına dahil edilmesi, zincir kırılmalarını artırmış ve bu durum, PVA'nın çözünürlüğünü yükseltmiştir (Matthews, McCord, & Bourham, 2005).

### 5.6. Diğer çalışmalar

Plazma teknolojisi daha önce belirtilen alanların dışında medikal uygulamalar ve sterilizasyon (Crofton vd., 2016; Reema, Khanikar, Bailung, & Sankaranarayanan, 2022), adhezyon (Janu vd., 2023), çekmezlilik işlemleri (Höcker, 2002), denim kumaşların renk soldurma işlemleri (Ghoranneviss, Moazzenchi, Shahidi, Anvari, & Rashidi, 2006; Ghoranneviss vd., 2007), keçeleşmezlik (Shahidi, Rashidi, Ghoranneviss, Anvari, & Wiener, 2010) ve benzeri bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu teknoloji kimyasal olarak zararlı maddelerin üretilmediği, daha ekolojik ve ekonomik faydalar sağlayan teknik bir yeşil süreçtir.

### 6. Sonuç

Geleneksel kimyasal işlemler, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yöntemler olmakla birlikte, çevresel ve ekonomik açıdan birçok olumsuz sonuca yol açmaktadır. Bu yöntemler, kumaşları işlemek için büyük miktarda su, kimyasal madde ve enerji tüketirken, aynı zamanda atıkların doğada birikmesine ve ekosistemi olumsuz şekilde etkilemesine neden olur. Kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD) değerleri yüksek olan atık sular, bu işlemlerin en büyük çevresel sorunlarından biridir. Bu tür atıklar, su kaynaklarını kirleterek su ekosistemlerini tehdit edebilir ve canlı organizmalar üzerinde toksik etkiler oluşturabilir. Ayrıca, yaş işlemler sırasında kumaşları alkali ortamda işlemek için kullanılan yüksek pH değeri gerektiren kimyasallar da çevreye zararlıdır. Bu kimyasal maddelerin arıtılmadan doğaya salınması, ciddi ekotoksikolojik sonuçlar doğurabilir ve çevresel kirliliği artırabilir (Donkor vd., 2024).

Bu sebeplerle, tekstil endüstrisi çevreye daha duyarlı, daha az kimyasal ve su tüketen, aynı zamanda enerji tüketimini minimize eden alternatif teknolojiler arayışına girmiştir. Plazma teknolojisi, bu alandaki en umut verici çözümlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Plazma işlemleri, geleneksel kimyasal işlemlere alternatif olarak, daha az su ve kimyasal kullanımı ile tekstil materyallerinde istenen fonksiyonel özelliklerin kazandırılmasını sağlar. Bu sayede, üretim süreçlerinde çevre dostu uygulamalar mümkün hale gelir.

## Referanslar

1. Ahmed, N.S. & El-Shishtawy, R.M. (2010). The use of new technologies in coloration of textile fibers. *Journal of Materials Science*, 45, 1143-1153. <https://doi.org/10.1007/s10853-009-4111-6>
2. Akan, T. (2006). Maddenin 4. hali plazma ve temel özellikleri. *Elektronik Çağdaş Fizik Dergisi*, 4(1), 1-10.
3. Akçalı, K. & Oktav Bulut, M. (2012). Plazma teknolojilerinin yün elyafı üzerindeki etkileri üzerine bir inceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi Journal of Engineering Science and Design*, 2(1), 65-72.
4. Aragón Chivite, P., Portolés Gil, N., Campà, R.G., Bautista Pérez, L. & Félix de Castro, P. (2024). Plasma technology applied to improve wettability for emerging mycelium-based materials. *Processes*, 12(5), 933. <https://doi.org/10.3390/pr12050933>
5. Arik, B., Demir, A., Özdoğan, E. & Gülümser, T. (2011). Effects of novel antibacterial chemicals on low temperature plasma functionalized cotton surface. *Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon*, 21(4), 356-363
6. Carosio, F., Alongi, J., & Frache, A. (2011). Influence of surface activation by plasma and nanoparticle adsorption on the morphology, thermal stability and combustion behavior of PET fabrics. *European Polymer Journal*, 47(5), 893-902. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2011.01.009>
7. Cheng, Y., Jia, L., Sun, C., Liu, Y. & Liang, H.E. (2022). Antimicrobial finishing of cotton fabric by atmospheric pressure plasma. *Materials Research Express*, 9(7), 075401. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac7707>
8. Chvalinová, R. & Wiener, J. (2008). Sorption properties of wool fibres after plasma treatment. *Chem. Listy*, 102, 1473-1477.
9. Crofton, A.R., Hudson, S.M., Howard, K., Pender, T., Abdelgawad, A., Wolski, D. & Kirsch, W. M. (2016). Formulation and characterization of a plasma sterilized, pharmaceutical grade chitosan powder. *Carbohydrate Polymers*, 146, 420-426. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.003>
10. Dimitrakellis, P. & Gogolides, E. (2018). Hydrophobic and superhydrophobic surfaces fabricated using atmospheric pressure cold plasma technology: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 254, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2018.03.009>
11. Donkor, S.O., Sun, D., Bucknall, D. & Buckman, J. (2024). Surface activation of cotton fabric with low-temperature air plasma treatment for metallic printing. *Fibers and Polymers*, 25, 4321-4332. <https://doi.org/10.1007/s12221-024-00738-7>

12. Höcker, H. (2002). Plasma treatment of textile fibers. *Pure and applied chemistry*, 74(3), 423-427. <https://doi.org/10.1351/pac200274030423>
13. Ghoranneviss, M., Moazzenchi, B., Shahidi, S., Anvari, A. & Rashidi, A. (2006). Decolorization of denim fabrics with cold plasmas in the presence of magnetic fields. *Plasma Processes and Polymers*, 3(3), 316-321. <https://doi.org/10.1002/ppap.200500061>
14. Ghoranneviss, M., Shahidi, S., Moazzenchi, B., Anvari, A., Rashidi, A. & Hosseini, H. (2007). Comparison between decolorization of denim fabrics with oxygen and argon glow discharge. *Surface and Coatings Technology*, 201(9-11), 4926-4930.  
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.07.162>
15. Ghoranneviss, M., Shahidi, S., Anvari, A., Motaghi, Z., Wiener, J. & Šlambořová, I. (2011). Influence of plasma sputtering treatment on natural dyeing and antibacterial activity of wool fabrics. *Progress in Organic Coatings*, 70(4), 388-393.  
<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.11.017>
16. Haji, A. & Naebe, M. (2020). Cleaner dyeing of textiles using plasma treatment and natural dyes: A review. *Journal of cleaner production*, 265, 121866. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121866>
17. Haque, A.N.M.A. & Naebe, M. (2023). Zero-water discharge and rapid natural dyeing of wool by plasma-assisted spray-dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136807. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136807>
18. Iqbal, M., Dinh, D.K., Abbas, Q., Imran, M., Sattar, H. & Ul Ahmad, A. (2019). Controlled surface wettability by plasma polymer surface modification. *Surfaces*, 2(2), 349-371. <https://doi.org/10.3390/surfaces2020026>
19. İşmal, Ö.E. & Yıldırım, L. (2011). Tekstil tasarımında çevre dostu yaklaşımlar. *Akdeniz Sanat*, 4(8), 9-13.
20. Janů, L., Dvořáková, E., Polášková, K., Buchtelová, M., Ryšánek, P., Chlup, Z., ... & Zajíčková, L. (2023). Enhanced adhesion of electrospun polycaprolactone nanofibers to plasma-modified polypropylene fabric. *Polymers*, 15(7), 1686. <https://doi.org/10.3390/polym15071686>
21. Jebali, S., Carneiro de Oliveira, J., Airoudj, A., Riahi, A., Fioux, P., Morlet-Savary, F., ... & Bally-Le Gall, F. (2023). Fluorine-free plasma polymers to obtain water-repellent cotton fabrics: How to control their durability?. *Coatings*, 13(11), 1827.  
<https://doi.org/10.3390/coatings13111827>
22. Kamel, M.M., El Zawahry, M.M., Helmy, H. & Eid, M.A. (2011). Improvements in the dyeability of polyester fabrics by atmospheric pressure oxygen plasma treatment. *Journal of the Textile Institute*, 102(3), 220-231. <https://doi.org/10.1080/00405001003672366>

23. Kan, C. W., & Yuen, C. W. M. (2007). Plasma technology in wool. *Textile Progress*, 39(3), 121-187. <https://doi.org/10.1080/00405160701628839>
24. Kilinc, M., Canbolat, S., Eyupoglu, C. & Kut, D. (2015). The evaluation with statistical analyses of the effect of different storage condition and type of gas on the properties of plasma treated cotton fabrics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2170-2176.  
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.285>
25. Kim, T.N.T., Vu Thi Hong, K., Vu Thi, N. & Vu Manh, H. (2021). The effect of DBD plasma activation time on the dyeability of woven polyester fabric with disperse dye. *Polymers*, 13(9), 1434. <https://doi.org/10.3390/polym13091434>
26. Li, N., Chen, P., Liu, D., Kang, G., Liu, L., Xu, L., ... & Wu, D. (2022). Novel P/Si based nanoparticles for durable flame retardant application on cotton. *Cellulose*, 29(3), 2063-2076.  
<https://doi.org/10.1007/s10570-021-04309-4>
27. Matthews, S.R., McCord, M.G. & Bourham, M.A. (2005). Poly (vinyl alcohol) desizing mechanism via atmospheric pressure plasma exposure. *Plasma Processes and Polymers*, 2(9), 702-708. <https://doi.org/10.1002/ppap.200500056>
28. Mohamed, A. A.H. & El-Sayed, I. M. (2024). The impact of large volume atmospheric pressure air glow discharge plasma on enhancing denim fabric (textile) sewing process. *Journal of Taibah University for Science*, 18(1), 2303814. <https://doi.org/10.1080/16583655.2024.2303814>
29. Mowafi, S., Abou Taleb, M. & El-Sayed, H.E.D. (2022). A review of plasma-assisted treatments of textiles for eco-friendlier water-less processing. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(5), 737-749.
30. Naebe, M., Haque, A.N.M.A. & Haji, A. (2022). Plasma-assisted antimicrobial finishing of textiles: A review. *Engineering*, 12, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.01.011>
31. Nandy, S., Sreekumar, T.V., Palaskar, S. & Mehra, N. (2024). Plasma-assisted incorporation of flame-retardant chemicals for improved flame retardancy of polyester fabrics. *Polymer Engineering & Science*, 64(11), 5411-5425. <https://doi.org/10.1002/pen.26924>
32. Ömeroğulları, Z. & Kut, D. (2012). Application of low-frequency oxygen plasma treatment to polyester fabric to reduce the amount of flame retardant agent. *Textile Research Journal*, 82(6), 613-621. <https://doi.org/10.1177/0040517511420758>
33. Öztürk, E. (2012). *Plazma Polimerizasyonu Yöntemi İle Bazı Tekstil Yüzeylerinin Hidrofob Özelliklerinin İyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

34. Patti, A. (2024). Green advances in wet finishing methods and nanoparticles for daily textiles. *Macromolecular Rapid Communications*, 2400636. <https://doi.org/10.1002/marc.202400636>
35. Reema, Khanikar, R.R., Bailung, H. & Sankaranarayanan, K. (2022). Review of the cold atmospheric plasma technology application in food, disinfection, and textiles: A way forward for achieving circular economy. *Frontiers in Physics*, 10, 942952. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.942952>
36. Ribeiro, A.I., Modic, M., Cvelbar, U., Dinescu, G., Mitu, B., Nikiforov, A., ... & Zille, A. (2017). Double dielectric barrier (DBD) plasma-assisted deposition of chemical stabilized nanoparticles on polyamide 6,6 and polyester fabrics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 254(10), 102010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/10/102010>
37. Saleem, M., Naz, M.Y., Shoukat, B., Shukrullah, S. & Hussain, Z. (2021). Functionality and applications of non-thermal plasma activated textiles: A review. *Materials Today: Proceedings*, 47, 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.158>
38. Seventekin, N. & Özdoğan, E. (2008). *Atmosferik plazma tekniğinin sentetik tekstil materyallerine uygulanabilirliğinin araştırılması*. TÜBİTAK Projesi (Proje No: 107M527).
39. Shahidi, S., Rashidi, A., Ghoranneviss, M., Anvari, A. & Wiener, J. (2010). Plasma effects on anti-felting properties of wool fabrics. *Surface and Coatings Technology*, 205(1), 349-354. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.08.003>
40. Shahidi, S., Ghoranneviss, M. & Moazzenchi, B. (2014). New advances in plasma technology for textile. *Journal of Fusion Energy*, 33, 97-102. <https://doi.org/10.1007/s10894-013-9657-2>
41. Vatuna T., Spatenka P., Pichal J., Koller J., Aubrecht L. & Wiener J., (2004). PES fabric modification. *Czechoslovak Journal of Physics*, 54, 475-482. <https://doi.org/10.1007/BF03166441>
42. Yaman, N., Özdoğan, E., Kocum, İ. C., Ayhan, H., Öktem, T. & Seventekin, N. (2009). Improvement surface properties of polypropylene and polyester fabrics by glow discharge plasma system under atmospheric condition. *Textile and Apparel*, 19(1), 45-51.
43. Zhao, B., Xu, L., Lin, P., Zhang, H., He, X., Ji, T. & Zhang, Y. (2023). Properties of superhydrophobic and acid-alkali-resistant polyester fabric produced using plasma processing. *Coatings*, 13(12), 2007. <https://doi.org/10.3390/coatings13122007>





## CHAPTER 3

### RECYCLING AND SOCIAL RESPONSIBILITY IN TEXTILES: A RESEARCH ON CONSUMER BEHAVIOR

*Fatma Füsün UYSAL<sup>1</sup>,*

*Bilge BERKHAN KASTACI<sup>2</sup>,*

*Emel DEMİR ASKEROĞLU<sup>3</sup>*

1 Doç.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği, <https://orcid.org/0000-0001-9674-9558>,

2 Öğr.Gör.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çerkezköy Meslek Yüksekokulu, Tekstil Teknolojisi, <https://orcid.org/0000-0001-6897-0554>,

3 Doç.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çerkezköy Meslek Yüksekokulu, Pazarlama ve Reklamcılık, <https://orcid.org/0000-0003-3953-5734>.

## LITERATURE

### 1. An Overview of Textile Waste

Textile wastes are defined as:

- Clothing made of textiles for personal use
- All materials in the form of scraps, pieces, fibers originating from textile and apparel production
- Towels, tablecloths, carpets, curtains, duvet covers, covers, blankets and similar items made of textiles for daily use at home (cevremuhendisligi.org,2022).

Every year, hundreds of tons of textile waste are sent to landfills. Even though textile is 100% recyclable, 15% is recycled even in developing countries. When textile waste is recycled, it will be fed back to the economy as a secondary material. On average, about 4-5% of urban solid waste consists of textile waste (Türemen et al,2019). Herjento et al.(2016) explains that the literature review shows the ways of getting rid of unwanted clothes. These include:1- Ridding-clothes beyond repair are usually thrown into landfill. 2- Recycling-These clothes, reasonably good and still unusable, are recyclable.3-Donating-These clothes are donated to charity organizations.4-Sharing 5-Exchanging clothes 6-Reselling-Selling of unwanted clothes to consignment shops.

These shops buy used textile products from textile owners or take them by giving a commission and resell them. Consumer's clothing disposal behaviours depend on different motivation factors. Consumers, concerned about economic benefits, choose to resell or reuse clothes of wearable unwanted but in the good condition. Some of consumers prefer donating their unwanted clothes to charity organizations (Zhang,2020).

In literature, it is emphasized that giving to family or friends and donating to charity organizations are the most preferred ways of re-using of worn clothes (Nencková et al,2020).Reuse is still the preferred treatment because of the available limited options of material recycling of textiles(Nørup et al,2019).

In a study done in Ontario, it is reported that only 22% of all textiles in residential waste streams is suitable for recycling. The rest percent can be used for reusing or so contaminated not good for recycling (Fibre2fashion.com,2022). Recycling textile fibers in making textile fibers is mentioned as not possible at an industrial level (Watson et al, 2016). In Sweden ,it



is mentioned that the main disposal way for textile waste is incineration because of co-disposal with municipal solid waste(Nerlund,2021). Sweden has launched Siptex, the world's first automatic plant sorting by fiber composition and color by using near infrared light (Stöhr,2021).

The clothes taken for re-use in the USA and Europe are then separated, and the ones that can be used are given to charities, sold to second-hand clothing shops or third world countries. Some of them are recycled into textile products in recycling facilities. During production, solid wastes such as fiber, yarn, piece fabric, ragweed and velvet dust are generated. Some of these production wastes are processed into fiber and yarn and reused in the textile industry. The rest is used in the manufacture of insulation, filling material and paper, velvet shaving powder is used in the production of glue and banknotes (Üçgül et al,2015).

Many Turkish people keep and store their used clothes at home for their family members, neighbors, people in need. In order to make rugs, mattresses, people use those worn clothes. In Turkey, second hand stores are no common compared with developed countries. During national and international disasters, used clothes are collected by governmental and non-governmental organizations for donating people in need (Büyükaslan et al,2015).

### **Social Responsibility and Individual Social Responsibility**

Individuals have different forms of social responsibility. An individual's emotional intelligence skills, such as social awareness and empathy, play a role in personal social responsibility activities as well as social responsibility activities within an organization. This situation affects the individual's ability to act with social responsibility awareness in society.

This concept, called individual social responsibility in the literature, is defined as the individual's awareness of what impact her personal actions have on society. Individual social responsibility can include the following (Dias, 2012: 174):

1. Charitable acts, including philanthropy such as donation of money.
2. Working for the community, such as volunteering, giving blood donations, and working at a food bank or animal shelter.
3. Supporting issues that affect society, such as advocating political or social issues that can help others—for example, advocating for child labor laws, purchasing fair trade products, recycling.
4. Individual ethics, such as integrity and honesty. These individual ethics can also include the “golden rule”: treat others how you wish to be treated. This might mean with empathy and a sense of fairness.

## **2.Methodology**

Re-use of worn textile products such as giving to family or friends, donating, throwing them into municipal textile boxes is one of the frequently used ways to prevent waste at home. The survey method was used to understand the contributions of these methods used in the research to recycling.

Surveys are conducted to obtain information from individuals verbally or in writing. The information requested from the individual may be various types of quantitative and qualitative data about himself, his environment or his institution. This information is obtained primarily through face-to-face interviews, written mail, telephone or online. One or more of these techniques may be used together; that is, both face-to-face surveys and the internet may be used in the same research (Arıkan:98).

The aim of this study is to measure the consumers awareness and perception of textile waste disposal, second-hand use and recycling. This was done through a user survey, depending on various factors. This awareness and perception was evaluated according to gender, age, and educational status.

Before organizing the survey, a pre-test was conducted on a group of 10 people and necessary corrections were made. The survey was conducted with 350 people. 326 of the survey forms were valid. Random data collection method was used in the survey conducted via Google forms.

### **Hypotheses of the study**

H1. Consumers think that by consuming with a recycling approach, they develop a behavior that is beneficial to the environment.

H2. Consumers think that they are informed about recycling in textiles.

Table 1: Knowledge about recycling in textiles according to education level

<b>Descriptive Statistics</b>						
		<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Std.Deviation</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
I have knowledge about recycling in textile		<b>326</b>	<b>3,3190</b>	<b>1.24384</b>	<b>1.00</b>	<b>5.00</b>
<b>Age Status</b>		<b>326</b>	<b>3,3466</b>	<b>1.13386</b>	<b>1.00</b>	<b>6.00</b>
<b>Kruskal-Wallis Test</b>						
<b>Ranks</b>						
I have knowledge about recycling in textile	<b>Age</b>	<b>N</b>	<b>Mean Rank</b>			
	<b>&lt;18</b>	<b>3</b>	<b>159,67</b>			
	<b>18-25</b>	<b>99</b>	<b>166,49</b>			
	<b>26-35</b>	<b>67</b>	<b>136,18</b>			
	<b>36-45</b>	<b>99</b>	<b>163,43</b>			
	<b>46-55</b>	<b>55</b>	<b>190,55</b>			
	<b>&gt;55</b>	<b>3</b>	<b>185,00</b>			
	<b>Total</b>	<b>326</b>				
I have knowledge about recycling in textile						
<b>Kruskal-Wallis Test</b>	<b>H</b>	<b>11.040</b>				
<b>df</b>		<b>5</b>				
<b>Asymp.Sig.</b>		<b>.051</b>				

There is no significant relationship between knowledge about recycling in textiles and educational status. It is seen that the state of having knowledge about recycling in textiles is significantly related to. ( age. 36-45 age (n:55) mean rank 190.55)(According to test Kruskal-Wallis,  $p>.05$ ,  $p=0.085$ )

*Table 2: The situation of those who say they are not interested in throwing textile products into donation boxes or giving them to donation centers*

<b>Descriptive Statistics</b>						
		<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Std.Deviation</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
I am not interested in throwing textiles into donation boxes or giving them to donation centers		<b>326</b>	<b>9,1074</b>	<b>7.31389</b>	<b>1.00</b>	<b>24.00</b>
<b>Age Status</b>		<b>326</b>	<b>3,3466</b>	<b>1.13386</b>	<b>1.00</b>	<b>6.00</b>
<b>Kruskal-Wallis Test</b>						
<b>Ranks</b>						
I am not interested in throwing textiles into donation boxes or giving them to donation centers	<b>Age</b>	<b>N</b>	<b>Mean Rank</b>			
	<b>&lt;18</b>	<b>3</b>	<b>87,17</b>			
	<b>18-25</b>	<b>99</b>	<b>148,02</b>			
	<b>26-35</b>	<b>67</b>	<b>167,93</b>			
	<b>36-45</b>	<b>99</b>	<b>179,91</b>			
	<b>46-55</b>	<b>55</b>	<b>164,38</b>			
	<b>&gt;55</b>	<b>3</b>	<b>94,33</b>			
	<b>Total</b>	<b>326</b>				
I am not interested in throwing textiles into donation boxes or giving them to donation centers						
<b>Kruskal-Wallis Test</b>	<b>H</b>	<b>11.039</b>				
<b>df</b>		<b>5</b>				
<b>Asymp.Sig.</b>		<b>.051</b>				

It is seen that there is a significant difference in age for those who say that they are not interested in throwing textile products in the donation box or giving them to donation centers. (According to test Kruskal-Wallis,  $p > .05$ ,  $p = .51$ )

Table 3: Considering that you are developing an environmentally beneficial behavior when buying or selling second-hand textile products depending on their age

Descriptive Statistics						
		N	Mean	Std.Deviation	Minimum	Maximum
It is seen that there is a significant relationship between age and thinking that he/she develops an environmentally beneficial behavior while buying or selling second-hand textile products.		326	3,9264	1.26762	1.00	5.00
<b>Age Status</b>		326	3,3466	1.13386	1.00	6.00
Kruskal-Wallis H Test						
Ranks						
I am not interested in throwing textiles into donation boxes or giving them to donation centers	<b>Age</b>	<b>N</b>		<b>Mean Rank</b>		
	<18	3		248		
	18-25	99		175		
	26-35	67		150,07		
	36-45	99		172,57		
	46-55	55		139,88		
	>55	3		120,17		
<b>Total</b>		326				
Test Statistics <sup>ab</sup>						
It is seen that there is a significant relationship between age and thinking that he/she develops an environmentally beneficial behavior while buying or selling second-hand textile products.						
<b>Kruskal-Wallis H Test</b>	11,841					
<b>df</b>	5					
<b>Asymp.Sig.</b>	.037					

It is seen that there is a significant relationship between age and thinking that he/she develops an environmentally beneficial behavior while buying or selling second-hand textile products.

(According to test Kruskal-Wallis,  $p > .05$ ,  $p = .037$ )

*Table 4: Distribution of those who pay attention to whether products are recycled when purchasing new products, by age*

<b>Descriptive Statistics</b>						
		<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Std.Deviation</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
When purchasing new products, I pay attention to the recycled products.		<b>326</b>	<b>2,5031</b>	<b>1.29317</b>	<b>1.00</b>	<b>5.00</b>
<b>Age Status</b>		<b>326</b>	<b>3,3466</b>	<b>1.13386</b>	<b>1.00</b>	<b>6.00</b>
<b>Kruskal-Wallis Test</b>						
<b>Ranks</b>						
It is possible to say that the answer "I pay attention to the recycling of the products when purchasing new products" has a significant relationship with age.	<b>Age</b>	<b>N</b>	<b>Mean Rank</b>			
	<b>&lt;18</b>	<b>3</b>	<b>206,50</b>			
	<b>18-25</b>	<b>99</b>	<b>164,24</b>			
	<b>26-35</b>	<b>67</b>	<b>145,01</b>			
	<b>36-45</b>	<b>99</b>	<b>175,51</b>			
	<b>46-55</b>	<b>55</b>	<b>165,06</b>			
	<b>&gt;55</b>	<b>3</b>	<b>84,17</b>			
	<b>Total</b>	<b>326</b>				
<b>Test Statistics</b> <sup>ab</sup>						
It is seen that there is a significant relationship between age and thinking that he/she develops an environmentally beneficial behavior while buying or selling second-hand textile products.						
<b>Kruskal-Wallis Test</b>	<b>10,978</b>					
<b>df</b>	<b>5</b>					
<b>Asymp.Sig.</b>	<b>.052</b>					

It is seen that there is a significant relationship between age and thinking that he/she develops an environmentally beneficial behavior while buying or selling second-hand textile products. (According to test Kruskal-Wallis,  $p > .05$ ,  $p = .052$ )

Table 5: The state of having knowledge about recycling in textiles by gender

Descriptive Statistics						
		N	Mean	Std.Deviation	Minimum	Maximum
I have knowledge about recycling in textile		326	3,3190	1.24384	1.00	5.00
Gender Status		326	1,3742	.48467	1.00	2.00
Kruskal-Wallis Test						
Ranks						
I have knowledge about recycling in textile	Gender	N	Mean Rank	Sum of Ranks		
	Female	204	175,22	35745,00		
	Male	122	143,90	17556,00		
	Total	326				
Test Statistics <sup>ab</sup>						
The state of having knowledge about recycling in textiles by gender						
Mann-Whitney U	10053,000					
Wilcoxon <u>W</u>	17556,000					
Z	-2,989					
Asymp.Sig.	.003					

There is a significant difference in the percentage of people who think that they are developing an environmentally beneficial behavior when buying or selling second-hand textile products, according to gender. (According to test Mann Whitney -U,  $p > .05$ ,  $p = 0.003$ )

*Table 6: Distribution of those who think that buying or selling second-hand textile products is an environmentally beneficial behavior; according to age*

<b>Descriptive Statistics</b>						
		<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Std.Deviation</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
I think that I have developed an environmentally beneficial behavior when buying or selling second-hand textile products.		326	3.9264	1.26762	1.00	5.00
<b>Gender?</b>		326	1.3742	.48467	1.00	2.00
<b>Man-Whitney Test</b>						
<b>Ranks</b>						
I think that I have developed an environmentally beneficial behavior when buying or selling second-hand textile products.	<b>Cinsiyet</b>	<b>N</b>	<b>Mean Rank</b>	<b>Sum of Ranks</b>		
	<b>Female</b>	204	174.80	35659.00		
	<b>Male</b>	122	144.61	17642.00		
	<b>Total</b>	326				
<b>Test Statistics</b>						
		I think that I have developed an environmentally beneficial behavior when buying or selling second-hand textile products.				
<b>Man-Whitney U</b>				<b>10139.00</b>		
<b>Wilxon W</b>				<b>17642.00</b>		
<b>Z</b>				<b>-2.993</b>		
<b>Asymp. Sig. (2-tailed)</b>				<b>.003</b>		
<b>a. Grouping variable: Gender?</b>						

There is a significant gender difference in the ratio of those who think that they develop an environmentally beneficial behavior when buying or selling second-hand textile products. (According to test Mann,  $p > .05$ ,  $p = 0.003$ )



Table 7: When purchasing new products, I pay attention to the recycled products.

Descriptive Statistics						
		N	Mean	Std.Deviation	Minimum	Maximum
When purchasing new products, I pay attention to the recycled products.		326	2,5031	1.29317	1.00	5.00
<b>Gender Status</b>		326	1,3742	.48467	1.00	2.00
Kruskal-Wallis Test						
Ranks						
When purchasing new products, I pay attention to the recycled products.	Gender	N	Mean Rank	Sum of Ranks		
	Female	204	174,01	35498,00		
	Male	122	145,93	17803,00		
	Total	326				
Test Statistics <sup>ab</sup>						
There is a significant gender difference in the rate of participation in the statement “I pay attention to the recycling of products when purchasing new products”.						
<b>Mann-Whitney U</b>	100300,000					
<b>Wilcoxon W</b>	17803,000					
<b>Z</b>	-2,686					
<b>Asymp.Sig.</b>	.007					

There is a significant difference in the agreement rate with the statement “When purchasing new products, I pay attention to whether the products are recycled” according to gender.

(According to test Mann Whitney -U,  $p > .05$ ,  $p = 0.007$ )

## **Conclusion**

The aim of this study is to measure the consumers awareness and perception of textile waste disposal, second-hand use and recycling. This was done through a user survey, depending on various factors. This awareness and perception was evaluated according to gender, age, and educational status. The survey was conducted with 350 people. 326 of the survey forms were valid. Random data collection method was used in the survey conducted via Google forms.

Hypotheses were tested according to the data obtained in the research. Consumers think that by consuming with a recycling approach, they develop a behavior that is beneficial to the environment. According to the research results, the participants of the research Consumers think that they are informed about recycling in textiles. This situation includes a significant difference according to gender.

The rate of those who pay attention to whether a new product has been recycled when purchasing it varies by gender. Women are more likely to prefer recycled products in their consumption behavior than men.

According to the data obtained in the research, there is a significant difference in the rate of those who think that they develop an environmentally beneficial behavior when buying or selling second-hand textile products. The participation rate of female participants is higher than that of male participants.

It is seen that there is no significant difference in age among those who say they are not interested in throwing textile products in the donation box or giving them to donation centers. The interest in throwing textile products in the donation box or giving them to donation centers does not differ according to age.

This study can be made more comprehensive by expanding the sample size. In addition, new research can be conducted to reveal the importance of sustainability not only in the textile field but also in all industrial products.

## REFERENCES

- Arıkan, F. (2018). Anket Yöntemi Üzerinde Bir Değerlendirme, Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 1: 97-159. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/551880>.
- Buyükaslan E, Jevšnik S, Kaloglu F (2015). A Sustainable Approachable Collect Post-Consumer Textile Waste in Developing Countries, Marmara Journal of Pure and Applied Sciences, Special Issue-1:107-111.
- Çevre Mühendisliği Paylaşım ve İletişim Portalı, Tekstil Atıklarının Geri Kazanımı, <https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/sifir-atik/1107-tekstil-atiklarin-geri-kazanimi>. 05.08.2024.
- Dias, L. P. (2012). Beginnings human relations (V.1.0). (<http://2012books.lardbucket.org>).
- Herjanto H, Scheller-Sampson J, Erickson E. (2016). The Increasing Phenomenon of Second-Hand Clothes Purchase: Insights from the Literature, JMK, Vol 18, No:1, Maret, 1-18.
- Impossible to find pre-consumer textile waste amount in Canada: Survey, Fibre2fashion.com.
- Kiehn K, Vojkovic A.W. (2018). Millenials Motivations fo shopping Second-Hand Clothing as part of Sustainable Consumption Practice, Master's Thesis, The Swedish School of Textiles, University of Borås.
- Nerlund, A. (2021, January 26). How to be a change maker - The SYSAV way of a circular business model. Panel Recording. Retrieved March 3, 2021, from <https://www.youtube.com/watch?v=1Ima9kqum5o>.
- Nørup N, Pihl K, Damgard A, Scheutz C. (2019). Replacement rates for second-hand clothing and household textiles- A survey study form Malwi, Mozambique and Angola, Journal of Cleaner Production, Vol.235, 1026-1036.
- Stöhr K (2021). Perceived Konowldge, Attitudes and Self-Efficacy Concerning Textile Waste Prevention Among the Citizens of Malmö, Master's Thesis, Malmö University, Sweden.
- Türemen M, Demir A, Özdoğan, E. (2019). Recycling and İmportance for textile industry, Pamukkale University Journal of Engineering Studies, 25(7), 805-809.
- Üçgül İ, Turak, B. (2015). "Tekstil katı atıklarının geri dönüşümü ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi". Academic Platform Journal of Engineering and Science, APJES IIIII, 39-48, 2015.

- Watson, D., & Palm, D., Brix, L., Amstrup, M., Syversen, F., Nielsen, R., (2016). Exports of Nordic Used Textiles: Fate, benefits and impacts [Ebook] (pp. 1-18). Copenhagen: Nordic Council of Ministers. <https://doi.org/10.6027/tn2016-558> .
- Zhang L,Wu T,Liu S, Songyan J,Wu H, Yang J.(2020). Consumer's clothing disposal behaviors in Nanjing, China,Journal of Cleaner Production, 276,123184.
- Nencková L,Pecáková I, ŠAUER p.(2020).Disposal behaviour of Czech consumers towards textile products, Waste Mnagement,106,71-76.



# CHAPTER 4

## PINEAPPLE FIBER

*Suat CANOĞLU<sup>1</sup>, Ayberk ŞİT<sup>2</sup>*

---

1 Prof.Dr., Marmara University, Faculty of Technology, Department of Textile Engineering, Recep Tayyip Erdoğan Campus, Istanbul / Türkiye scanoglu@marmara.edu.tr / ORCID: 0000-0002-1604-9875

2 Marmara University, Faculty of Technology, Department of Textile Engineering, Recep Tayyip Erdoğan Campus, Istanbul / Türkiye ayberksit@marun.edu.tr / ORCID: 0009-0008-9116-9800

## 1. INTRODUCTION

Population growth causes an increase in the demand for fibers. Use of synthetic fibers is also growing in order to meet this demand [1]. There is interest in finding new sources of raw materials with physical and mechanical properties comparable to synthetic fibers [2].

Considering concerns about sustainable development, efforts to increase efficient use of raw resources and reduce resulting waste are encouraged. From this perspective, agricultural by-products can be used as a resource of fiber. Reusing waste will reduce amount of waste produced [3].

Pineapple (*Ananas comosus*) is a tropical plant, belonging to the Bromeliaceae family [4,5]. Pineapple plant grows up to 1-2 m. It consists of leaves that are approximately 6 cm wide [6]. The leaves are sword-shaped and dark green in colour. White, fine silky fibers are obtained from the leaves of the plant [7]. Pineapple is a rich source of bromelain. Bromelain is used in various food industries, cosmetics industry and dietary supplements [2]. This plant is cultivated mainly for its fruits. Considering circular economy, need to obtain also other products has become increasingly important [5]. Pineapple field is seen in Figure 1(a) and the fruit of pineapple is seen in Figure 1(b) [2].

According to FAO crops and livestock products (production) data, Indonesia ranked first in pineapple production in 2022 with 3,203,775.15 tons, the Philippines ranked second with 2,914,424.68 tons, and Costa Rica ranked third with 2,909,750 tons. It was seen that pineapple production was 29,361,138.34 tons in 2022 [8].

Pineapple leaf is renewable, available in abundance and rarely used agricultural residue [9]. Regarding environmental and sustainability awareness, there are concerns about long-term impact of crop waste burning [3]. Burning pineapple leaves causes environmental pollution [1]. This agricultural waste should be used appropriately [9]. These leaves can be further processed to obtain value-added products [3].

Pineapple leaf fibers (PALFs) are a waste product of pineapple cultivation. Thus, pineapple fiber can be obtained for industrial purposes with no additional cost input [10]. Pineapple leaf fiber is a renewable and sustainable material. It is also gaining interest as a biodegradable alternative to synthetic fibers [11]. This fiber has a rich cellulose content and is an environmentally friendly fiber [1]. Figure 1(c) shows PALF from pineapple leaves and Figure 1(d) shows PALF [2].



**Figure 1.** Production of PALF; a) pineapple field, b) fruit of pineapple, c) PALF from pineapple leaves, d) PALF [2]

In the following parts of this book chapter, extraction, properties, structure and applications of pineapple fiber will be discussed.

## 2. EXTRACTION OF PINEAPPLE FIBER

There are various methods for extracting pineapple leaf fiber from pineapple leaves [2]. Properties of pineapple leaf fiber may vary due to variation of the extraction method [12].

Manual extraction of pineapple leaf fiber with a ceramic plate is carried out by moving ceramic plate over pineapple leaf with pressure and quickly. In mechanical extraction of pineapple leaf fiber with decorticator machine, pineapple leaf is scraped using the decorticator machine [1].

The manual extraction of pineapple leaf fiber is laborious and time consuming. Manual extraction method provides low yields and additionally difficult to scale up. The automatic decorticator machine, on the other hand, is costly and it requires a skilled operator [12].

Leaves need to be scraped by hand within the first three days after harvest. If left for a longer period of time, the leaves will dry out and the fibers will become difficult to obtain [13].

Retting method is a conventional method used for extracting fibers from pineapple leaves [13]. There are several retting methods. The retting process can be carried out in various ways [12]. In the retting method, scratched pineapple leaves are immersed in a retting tank. Urea or diammonium phosphate is added to speed up the retting. After the retting process, the leaves are washed with fresh water [1].

Pineapple leaf fiber was extracted by a decortication machine called Pineapple Leaf Fiber Machine 1 (PALF M1). In this machine, instead of crushing the pineapple leaf, blades were used to remove the waxy layer on it. In the PALF M1 mechanism, a pineapple leaf is placed between two blades. Removal of the outer waxy layer will occur during the first step. In the second stage, waxy layer remaining in the first step will be removed. Then, Pineapple Leaf Fiber Machine 2 (PALF M2) is used in scouring and drying of the extracted pineapple leaf fiber. In this stage, green debris accumulated in the pineapple leaf fiber will be additionally cleaned and removed. In addition to removing them, PALF M2 will also dry the fiber. Average diameter of pineapple leaf fiber bundles extracted from PALF M1 was 75.70  $\mu\text{m}$  and average diameter of pineapple leaf fiber bundles extracted by hand scrapping was 90.70  $\mu\text{m}$ . When the values were examined, it was seen that PALF M1 obtained more refined fiber in comparison to hand scrapping. Pineapple leaf fiber extracted using PALF M1 recorded a tensile strength of 613.75 MPa and 6.67% strain to failure while pineapple leaf fiber extracted by hand scrapping recorded a tensile strength of 393.70 MPa and 3.24% strain to failure. In hand scrapping, forces are continuously applied to the same point. The applied force is not evenly distributed along the length of the fiber. Therefore, this force can cause the fiber to become damaged and broken at a certain point. Consequently, tensile properties of the fiber will be affected [3].

In a study, four different fiber extraction methods were used. These were extraction by water retting, extraction by scraping plus washing with water, extraction by beaten plus retting in water, extraction with sodium hydroxide. In extraction by water retting process, the plant sample was immersed in distilled water. The aim was to stimulate growth of microorganisms. In the second method, the sample was scraped with the help of a serrated knife. After that, washing process was applied with lukewarm water. In the third method, the sample was beaten using a wooden stick. The aim here was to ensure partial decohesion of the fibers and to make it easier for water to penetrate in the next step. In the last method, the leaves of the plant were dried in an oven at 80°C. Then, it was



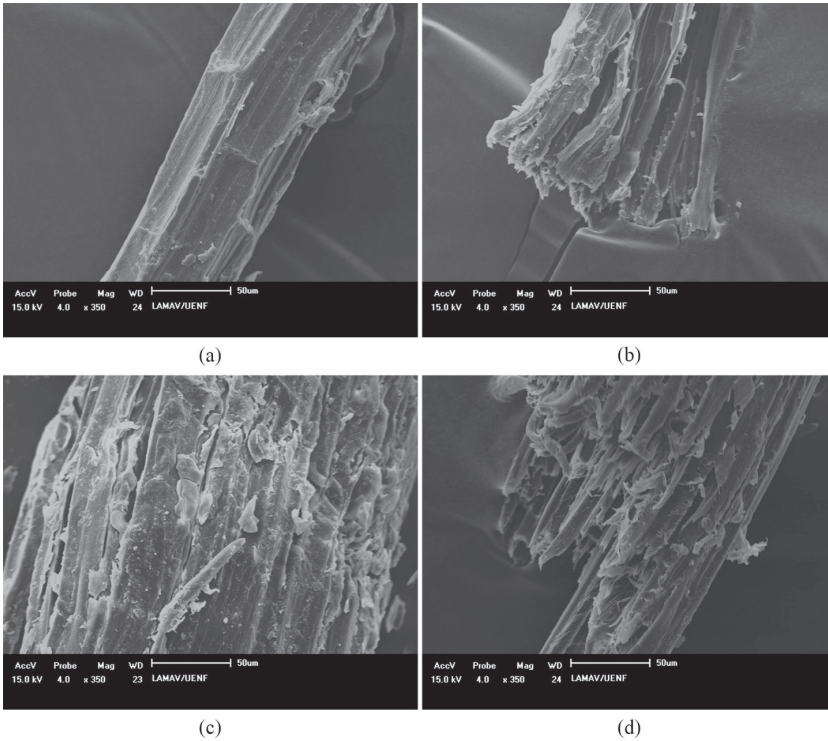
mixed with 5% NaOH and distill water. The least amount of time was spent in the scraping plus washing process, at half an hour. In the extracting by water retting process, duration was 4 weeks in distill water. However, the extraction process in which higher fiber yield (60 to 70%) was obtained was extraction by water retting. The extraction process that obtained the lowest fiber yield was chemical retting, with 20% to 50% [14].

### **3. STRUCTURE AND PROPERTIES OF PINEAPPLE FIBER**

Cellulose, hemicellulose and lignin are the major constituents of pineapple leaf fiber. Chemically, pineapple leaf fiber mainly contains polysaccharides and lignin and other compounds such as pectin, fat, wax, uronic anhydride, coloring matter, pentosan, inorganic substances [7].

Pineapple leaf fiber extracted by PALF M1 and hand scrapping showed multi-fibrillar structure. Fibrils were bound to each other by lignin in addition to hemicellulose [3].

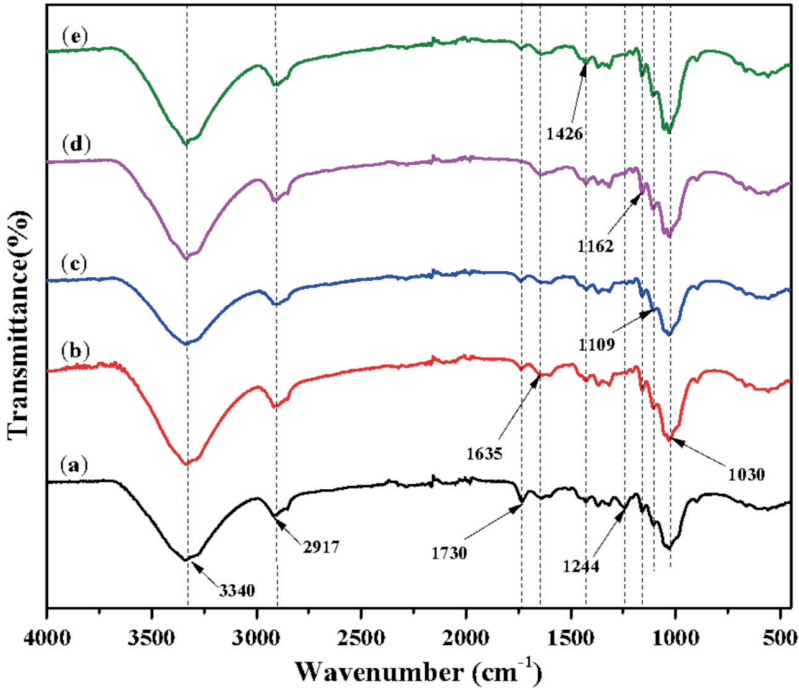
SEM micrographs of pineapple leaf fiber are shown in Figure 2. In the study, average tensile strength was reported as 289.4 MPa for the diameter interval of 100-130 microns, 129.0 MPa for the diameter interval of 130-160 microns, 81.7 MPa for the diameter interval of 160-190 microns, 68.8 MPa for the diameter interval of 190-220 microns, 68.4 MPa for the diameter interval of 220-250 microns and 44.4 MPa for the diameter interval of 250-280 microns. The finer fibers have a tendency to be more uniform with closer packed microfibrils. Thicker pineapple leaf fiber with more microfibrils, defects, and porosity than a finer pineapple leaf fiber, may experience rupture at a relatively lower stress [15].



**Figure 2.** SEM micrographs of pineapple leaf fiber. Finer PALF,  $d = 110$  microns: (a) general view and (b) fracture tip. Thicker PALF,  $d = 250$  microns: (c) general view and (d) fracture tip [15]

Figure 3 shows FTIR spectra ( $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ ) of untreated and treated pineapple leaf fibers. The region at  $\sim 3340\text{ cm}^{-1}$  shows bands of O–H functional groups in cellulose. Transmission band at  $\sim 2917\text{ cm}^{-1}$  is identified to C–H stretching and transmission band at  $\sim 1635\text{ cm}^{-1}$  is identified to absorbed water. The band at  $\sim 1426\text{ cm}^{-1}$  refers to O–H bending. Other bands at  $\sim 1162$ ,  $\sim 1109$ , and  $\sim 1030\text{ cm}^{-1}$  refer to the C–O–C stretching of the  $\beta$ -1,4-glycosidic linkage. A single strong band is observed at  $\sim 1244\text{ cm}^{-1}$  which refers to C–O stretching of lignin in the untreated pineapple leaf fiber. The band vanished in the following spectra in Figure 3b–e. The band was replaced by two bands located at  $\sim 1234\text{ cm}^{-1}$  and  $\sim 1202\text{ cm}^{-1}$  which refer to C–OH bending. The double peaks located at  $\sim 1234\text{ cm}^{-1}$  and  $\sim 1202\text{ cm}^{-1}$  might be due to the effect of NaOH on the cellulose chains. The strong and sharp band located at  $\sim 1730\text{ cm}^{-1}$  refers to the ester and carbonyl functional groups in lignin and hemicellulose. Intensity of this band decreased as the alkali concentration increased. However, the band located at  $\sim 1730\text{ cm}^{-1}$  was retained for pineapple leaf fiber treated with NaOH at 9%. FTIR spectra showed that alkali-treated

pineapple leaf fiber samples underwent different degrees of lignin and hemicellulose removal [16].



**Figure 3.** FTIR plot of (a) untreated pineapple leaf fiber; (b) 1% (c) 3%, (d) 6% and (e) 9% (wt/wt) NaOH treated pineapple leaf fibers [16]

In study conducted by Huda et al., elemental composition of pineapple leaf fiber was determined as 73.13% C, 24.17% O, 2.70% N. Additionally, 10% weight loss occurred at 326 °C, 20% weight loss occurred at 358 °C and 30% weight loss occurred at 444 °C for pineapple leaf fiber. Maximum degradation temperature was 377 °C for the fiber [17].

Generally, while plant lignin exhibits high resistance to acids, slow hydrolysis of hemicellulose and cellulose with mineral acids occurs. When the temperature is low, aqueous solutions of organic acids have little or no impact on carbohydrates. On the other hand, at high temperature, gradual transformation of cellulose to hydrocellulose and xylose to furfural takes place [7]. The main functional property of alkali treatment is removal of hemicellulose and lignin from pineapple leaf fiber [16].

High mechanical properties exhibited by pineapple fiber are associated with its relatively low microfibrillar angle and high cellulose content [10].

Yves et al. carried out a study to chemically, physically and mechanically characterize the fibers obtained from pineapple leaves, stems and roots for their use in composites. Water content in fibers obtained from the leaf was higher than fibers obtained from other parts of the plant. As a result of the mechanical tests (Young's modulus mechanical strength), it was seen that performance of the fibers obtained from the roots of the plants was better than the fibers obtained from the stems and leaves. Average length of leaf fiber was 500 mm and average fiber diameter was 40.3  $\mu\text{m}$ ; average length of stem fiber was 250 mm and average fiber diameter was 42.3  $\mu\text{m}$ ; average length of root fiber was 80 mm and average fiber diameter was 51  $\mu\text{m}$ . In addition, chemical composition of studied fiber was 72.14% cellulose, 4.86% hemicellulose, 13.55% lignin, 1.6% pectin, 1% ash for pineapple leaf fiber; 53.09% cellulose, 20.91% hemicellulose, 15.16% lignin, 3% pectin, 0.95% ash for pineapple stem fiber; 57.04% cellulose, 17.96% hemicellulose, 13.22% lignin, 2.2% pectin, 0.86% ash for pineapple root fiber. Density of pineapple leaf fibers was between 0.82  $\text{g}/\text{cm}^3$  and 1.2  $\text{g}/\text{cm}^3$ . The lowest densities were observed for pineapple stem fibers. In studied case, Young's modulus of pineapple leaf fiber was 43 GPa, tensile strength was 1244.3 MPa, density was 0.95  $\text{g}/\text{cm}^3$ ; Young's modulus of pineapple stem fiber was 33.6 GPa tensile strength was 1072 MPa, density was 0.9  $\text{g}/\text{cm}^3$ ; Young's modulus of pineapple root fiber was 44.5 GPa, tensile strength was 1533.5 MPa, density was 1.01  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Considering mechanical strength/density ratio, pineapple fiber was reported to had one of the best mechanical qualities among plant fibers [14].

It was reported that cellulose rate in chemical composition of pineapple fiber was 81% and lignin rate was 12.7%. Additionally, it was reported that tensile strength of pineapple fiber was 400–627 MPa, Young's modulus was 1.44 GPa, elongation at break was 14.5%, and density was 0.8–1.6  $\text{g}/\text{cm}^3$ . The equilibrium moisture content of pineapple fiber was recorded to be 13% at 65% relative humidity and 21°C [4].

An effort has been made to extract and soften PALF by decortication of leaves then water retting. Retting time optimized to seven days. Degumming and bleaching processes were applied to the retted fibers. The highest fiber yield was obtained in 7 days with 2.8%. This was followed by 9 days with 2.2% and 5 days with 2.0%. After the degumming and bleaching process, a decrease was detected in alpha cellulose, hemicellulose, lignin, fats and waxes, pectinous matter and ash components. A remarkable decrease in hemicelluloses was observed on account of the alkali treatment. After degumming and bleaching, no drastic decrease in pineapple leaf fiber length was detected however, the fiber diameter was decreased. Among retted, degummed and bleached fibers, the highest tensile strength was observed in the case of retted pineapple leaf fiber with a value of 30  $\text{g}/\text{tex}$ .

Among these fibers, the lowest tensile strength was recorded in bleached pineapple leaf fiber with a value of 22 g/tex. Bleached pineapple leaf fiber showed the highest elongation with a value of 11.54%. It was followed by degummed pineapple leaf fiber with a value of 8.74% and retted pineapple leaf with a value of 5.6%. Degumming and bleaching increased moisture regain value of pineapple leaf fiber [18].

Jaramillo-Quiceno et al. conducted a study on improvement of mechanical properties of PALF by mercerization process. Effect of mercerization was evaluated with treatment variables temperature (30 °C and 60 °C) and NaOH concentration (3% and 7% wt.). After alkaline treatment of pineapple leaf fiber impurities, waxy materials, hemicellulose and lignin were removed. Observed crystallinity after treatments was higher. Average value of tensile strength for untreated pineapple leaf fiber was 288 MPa. The highest tensile strength result was observed when mercerization process was carried out at 3% wt. alkali concentration and 60 °C temperature. Stress distribution between cellulose microfibrils improved when mercerized fibers were loaded. For treated fibers, elastic modulus modified. The treatment reduced stiffness of the fibers [19].

Gaba et al. examined mechanical and structural characterization of PALF. In the study, pineapple leaf fiber was exposed to various alkali concentrations: 1%, 3%, 6% and 9% wt/wt. Pineapple leaf fiber treated with NaOH at 6% wt/wt recorded 75.6% crystallinity and 24 nm crystallite size. Crystallinity and crystallite size obtained from this sample were the highest. Additionally, the 6% wt/wt NaOH treated pineapple leaf fiber sample had the highest tensile strength with 1620 MPa [16].

Chemical composition of pineapple fiber is reported in Table 1 and properties of pineapple fiber are reported in Table 2.

**Table 1.** Chemical composition of pineapple fiber

<i>Cellulose (%)</i>	81 [20,21,4]; 72.14 (leaf) [14]; 53.09 (stem) [14]; 57.04 (root) [14]; 70–82 [7]; 70.51 [11]; 69.5 [22]
<i>Hemicellulose (%)</i>	4.86 (leaf) [14]; 20.91 (stem) [14]; 17.96 (root) [14]; 14.21 [11]
<i>Lignin (%)</i>	12.7 [21,4]; 13.55 (leaf) [14]; 15.16 (stem) [14]; 13.22 (root) [14]; 12 [20]; 5–12 [7]; 4.4 [22]; 2.93 [11]
<i>Pectin (%)</i>	1.6 (leaf) [14]; 3 (stem) [14]; 2.2 (root) [14]
<i>Ash (%)</i>	1 (leaf) [14]; 0.95 (stem) [14]; 0.86 (root) [14]

**Table 2.** *Properties of pineapple fiber*

<i>Diameter (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	20–80 [20,7]; 40.3 (leaf) [14]; 42.3 (stem) [14]; 51 (root) [14]; 78.8 [11]; 59.73 [23]; $50 \pm 6$ [21]; 50 [24]; 8–41 [22]
<i>Length (mm)</i>	500 (leaf) [14]; 250 (stem) [14]; 80 (root) [14]; 300.5 [23]
<i>Density (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</i>	1.526 [10,21,24]; 1.44 [20,7]; 0.95 (leaf) [14]; 0.9 (stem) [14]; 1.01 (root) [14]; 1.53 [11]; 1.5 [22]; 0.8–1.6 [4]; 1.07 [25]
<i>Tensile Strength (MPa)</i>	1244.3 (leaf) [14]; 1072 (stem) [14]; 1533.5 (root) [14]; 413–1627 [7]; 170–1627 [22]; 400–627 [4]; $413 \pm 8$ [21]; 413 [24]; 290.61 [11]; 288 [19]; 170 [10]; 126.60 [25]
<i>Young's Modulus (GPa)</i>	6.21 [10,24]; 43 (leaf) [14]; 33.6 (stem) [14]; 44.5 (root) [14]; 60–82 [22]; 34.5–82.51 [7]; $9 \pm 1.1$ [16]; 4.405 [25]; 4.2 [21]; 1.44 [4]
<i>Elongation (%)</i>	1.6 [7,24]; 14.5 [4]; 3–4 [21]; 3 [10]; 2.4 [22]; 2.2 [25]; 2.08 [23]; 0.8–1.6 [20]
<i>Microfibrillar Angle (<math>^\circ</math>)</i>	14–18 [20]; 14 [21]
<i>Crystallinity (%)</i>	62.2 [16]; 43 [19]
<i>Crystallite Size (nm)</i>	18.53 [16]

#### 4. APPLICATIONS OF PINEAPPLE FIBER

In the past few years, there has been an increase in interest for commercial use of natural fiber-based composites for several industrial sectors [6]. Composites industries prefer some natural fibers such as pineapple leaf fiber as reinforcing material in composites [11]. Pineapple leaf fibers are promising for use in composites and prospective applications in various fields such as building and automotive [5].

Pineapple leaf fiber is generally used in order to make yarn for fabrics. Pineapple leaf fiber can be used for carpet making [2]. This fiber is used for decorative purposes. It can be combined with silk for aesthetic effect [1]. In the Philippines, traditional blouses are made from pineapple fiber [13]. Tablecloths, mats, curtains, bags, shoes, sports equipment and clothing are examples of use of pineapple fiber. Another application is fine casting nets. Pineapple leaf fiber can be used in V-belt cord, conveyor belt cord and shoelace [1]. Pineapple leaf fiber has applications as sound absorber and thermal insulator [2]. In order to avoid erosion, structures containing pineapple fibers can be utilized. PALF can be used for rope making as well [26]. Pineapple fiber can also be used in paper production [27].

Pineapple leaf fibers provide inspiration for innovative ideas. Pineapple leaf fibers are used in order to produce natural leather-like materials known as Piñatex. By applying some processes to the pineapple leaf fibers that are transformed into nonwoven, a material that is environmentally friendly and sustainable is produced which can be an alternative to leather. Industries

where leather materials are frequently preferred, such as footwear, bags and furniture, are at the top of the list of application areas for this material. This commercial product has attracted the attention of big brands. Figure 4 shows products made using Piñatex, which is a leather-like commercial material [26].

Pineapple fibers has been used by famous brands including Hugo Boss, H&M, Trussardi. In Figure 5, Hugo Boss shoes made with pineapple fiber are shown [28].

In countries such as France and Spain, which are regarded as fashion leading countries, pineapple fiber is a luxurious material preferred among many designers [26].



**Figure 4.** Products made using a leather-like commercial material called Piñatex [26]





**Figure 5.** *Hugo Boss shoes made with pineapple fiber [28]*

## 5. CONCLUSION

Pineapple leaf fiber is a material extracted from pineapple leaves, which are agricultural waste. Pineapple fiber has a high cellulose content and has high mechanical properties. The fiber is used in composites. In addition to its use in many products such as carpets and tablecloths, the fiber is also used in various garments. In this chapter, chemical composition of pineapple fiber and diameter, length, density, tensile strength, Young's modulus, elongation, microfibrillar angle, crystallinity, crystallite size values of the fiber were investigated. It was aimed to give information about extraction of pineapple fiber, its structure, properties and applications.



## REFERENCES

- [1] Uddin, N., Miah, S., Jalil, M.A., Islam, M., Siddika, A. (2017) A Review on Extraction, Characterization and Application of Pineapple Leaf Fiber (PALF) in Textiles and Other Fields. *International Journal of Advanced Research*, 5(4), 112–116.
- [2] Asim, M., Abdan, K., Jawaid, M., Nasir, M., Dashtizadeh, Z., Ishak, M.R., Hoque, M.E. (2015) A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 950567.
- [3] Yusof, Y., Yahya, S.A., Adam, A. (2015) Novel technology for sustainable pineapple leaf fibers productions. *Procedia CIRP*, 26, 756–760.
- [4] Faruk, O. Bledzki, A.K., Fink, H-P., Sain, M. (2012) Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37, 1552–1596.
- [5] Santulli, C., Palanisamy, S., Kalimuthu, M. (2022) Pineapple Fibers, their Composites and Applications. In: Mavinkere Rangappa, S., Parameswaranpillai, J., Siengchin, S., Ozbakkaloglu, T., Wang, H. (eds) *Plant Fibers, their Composites, and Applications*. Elsevier, Cambridge, United States.
- [6] Thyavihalli Girijappa, Y.G., Mavinkere Rangappa, S., Parameswaranpillai, J., Siengchin, S. (2019) Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review. *Frontiers in Materials*, 6, 226.
- [7] Mishra, S., Mohanty, A.K., Drzal, L.T., Misra, M., Hinrichsen, G. (2004) A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and Their Biocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 289, 955–974.
- [8] FAO (2024) <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> [Accessed 21 June 2024].
- [9] Dos Santos, R.M., Neto, W.P.F., Silvério, H.A., Martins, D.F., Dantas, N.O., Pasquini, D. (2013) Cellulose nanocrystals from pineapple leaf, a new approach for the reuse of this agro-waste. *Industrial Crops and Products*, 50, 707–714.
- [10] Uma Devi, L., Bhagawan, S.S., Thomas, S. (1997) Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber-Reinforced Polyester Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 64, 1739–1748.
- [11] Asim, M., Jawaid, M., Abdan, K., Ishak, M.R. (2017) Effect of Pineapple Leaf Fibre and Kenaf Fibre Treatment on Mechanical Performance of Phenolic Hybrid Composites. *Fibers and Polymers*, 18(5), 940–947.
- [12] Rafiqah, A., Abdan, K., Nasir, M., Asim, M. (2020) Effect of Extraction on the Mechanical, Physical and Biological Properties of Pineapple Leaf Fibres. In: Jawaid, M., Asim, M., Tahir, P., Nasir, M. (eds) *Pineapple Leaf Fibers*. Springer, Singapore.

- [13] Karthik, T., Rathinamoorthy, R., Ganesan, P. (2015) Sustainable Luxury Natural Fibers—Production, Properties, and Prospects. In: Gardetti, M.A., Muthu, S.S. (eds) *Handbook of Sustainable Luxury Textiles and Fashion*. Springer, Singapore.
- [14] Yves, O.R., Christian, F.B., Akum, O.B., Theodore, T., Bienvenu, K. (2020) Physical and Mechanical Properties of Pineapple Fibers (Leaves, Stems and Roots) from Awae Cameroon for the Improvement of Composite Materials. *Journal of Fiber Science and Technology*, 76(12), 378–386.
- [15] Teles, M.C.A., Glória, G.O., Altoé, G.R., Netto, P.A., Margem, F.M., Braga, F.O., Monteiro, S.N. (2015) Evaluation of the Diameter Influence on the Tensile Strength of Pineapple Leaf Fibers (PALF) by Weibull Method. *Materials Research*, 18, 185–192.
- [16] Gaba, E.W., Asimeng, B.O., Kaufmann, E.E., Katu, S.K., Foster, J.E., Tiburu, E.K. (2021) Mechanical and Structural Characterization of Pineapple Leaf Fiber. *Fibers*, 9, 51.
- [17] Huda, M.S., Drzal, L.T., Mohanty, A.K., Misra, M. (2008) Effect of chemical modifications of the pineapple leaf fiber surfaces on the interfacial and mechanical properties of laminated biocomposites. *Composite Interfaces*, 15(2-3), 169–191.
- [18] Hazarika, D., Gogoi, N., Jose, S., Das, R., Basu, G. (2017) Exploration of future prospects of Indian pineapple leaf, an agro waste for textile application. *Journal of Cleaner Production*, 141, 580–586.
- [19] Jaramillo-Quiceno, N., Vélez R., J.M., Cadena Ch., E.M., Restrepo-Osorio, A., Felipe Santa, J. (2018) Improvement of Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fibers by Mercerization Process. *Fibers and Polymers*, 19(12), 2604–2611.
- [20] Geethamma, V.G., Thomas Mathew, K., Lakshminarayanan, R., Thomas, S. (1998) Composite of short coir fibres and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre. *Polymer*, 39(6-7), 1483–1491.
- [21] Idicula, M., Boudenne, A., Umadevi, L., Ibos, L., Candau, Y., Thomas, S. (2006) Thermophysical properties of natural fibre reinforced polyester composites. *Composites Science and Technology*, 66, 2719–2725.
- [22] Elseify, L.A., Midani, M., El-Badawy, A.A., Awad, S., Jawaid, M. (2023) Comparative study of long date palm (*Phoenix dactylifera* L.) midrib and spadix fibers with other commercial leaf fibers. *Cellulose*, 30, 1927–1942.
- [23] Gebremedhin, N., Rotich, G.K. (2020) Manufacturing of Bathroom Wall Tile Composites from Recycled Low-Density Polyethylene Reinforced with Pineapple Leaf Fiber. *International Journal of Polymer Science*, 2020, 2732571.
- [24] Uma Devi, L., Bhagawan, S.S., Thomas, S. (2011) Dynamic Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber Polyester Composites. *Polymer Com-*

posites, 32, 1741–1750.

- [25] Arib, R.M.N., Sapuan, S.M., Ahmad, M.M.H.M., Paridah, M.T., Khairul Zaman, H.M.D. (2006) Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites. *Materials and Design*, 27, 391–396.
- [26] Kalaycı, E., Avinc, O.O., Bozkurt, A., Yavaş, A. (2016) Sustainable textile fibers obtained from agricultural wastes: Pineapple leaf fibers. *Sakarya University Journal of Science*, 20(2), 203–221.
- [27] Laftah, W.A., Abdul Rahaman, W.A.W. (2015) Chemical pulping of waste pineapple leaves fiber for kraft paper production. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(3), 254–261.
- [28] Şevkay, I. (2021) Modular Fashion Design According to Concept of Sustainability: A Collection Proposal. M.Sc. Thesis, Istanbul Commerce University Graduate School of Applied and Natural Sciences.