MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JÜT VE KENEVİR LİFLERİNİN KARAKTERİZASYONU VE KATYONİK BOYAMA PROSESİ SONRASI YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MD HUMAYUN KABIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tekstil Mühendisliği
Anabilim Dalı Tekstil
Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Muhammet UZUN

İSTANBUL, 2025

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CHARACTERIZATION OF JUTE AND HEMP FIBERS AND INVESTIGATION OF THEIR STRUCTURAL PROPERTIES AFTER CATIONIC DYEING PROCESS

MD HUMAYUN KABIR

MASTER'S THESIS

Textile Engineering

Department of Textiles Engineering Program

SUPERVISOR

Prof. Dr. Muhammet UZUN

İSTANBUL, 2025

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanması sürecinde bilgi, katkı ve destekleriyle çalışmama değer katan tüm kişi ve kurumlara en içten teşekkürlerimi sunarım. Öncelikle, akademik birikimi, yönlendirmeleri ve yapıcı katkılarıyla tezimin her aşamasında rehberlik eden saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Muhammet Uzun'a en derin şükranlarımı sunarım. Bu süreçte maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme, sabırları ve inançları için gönülden minnettarım. Ayrıca, çalışma süresince gösterdiği destek ve motivasyonla bana eşlik eden değerli hocam Onur Atak'a içten teşekkür ederim. Tez sınavı boyunca bilgi, öneri ve düzeltmeleriyle katkı sağlayan Doç. Dr. Bekir Cenkut Gültekin ve Dr. Öğr. Üyesi Vedat Özyazgan'a değerli katkıları için teşekkür ederim. Uluslararası akademik iş birliği kapsamında araştırma ortamı sağlayan ve katkıda bulunan Bangladesh University of Textiles (BUTEX) kurumuna da teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Bangladeş'in başlıca doğal lifi olan jüt ile, benzer lif türlerinden biri olan ve son yıllarda dünya tekstil sektöründe popülerliği giderek artan gövde lifi kenevirin kapsamlı bir Şekilde karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Her iki lif türünün fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve liflerin kimyasal işlemlerden—özellikle ağartma ve boyama süreçlerinden—nasıl etkilendiği analiz edilmiştir. Araştırmada, jüt ve kenevir liflerinin yapı ve kompozisyonları göz önünde bulundurularak, bu liflerin tekstil endüstrisinde kullanım potansiyelleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, kimyasal işlemlerin lif özellikleri üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiş ve bu işlemler sonrası liflerin dayanıklılık, esneklik, renk tutuculuğu gibi performans kriterleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, Bangladeş bölgesinde hâlihazırda yaygın olarak kullanılan jüte alternatif olabilecek kenevir lifinin tanıtılması ve kullanımının yaygınlaştırılmasıdır. Bu bağlamda, kenevir lifinin sürdürülebilirlik açısından taşıdığı potansiyel vurgulanmakta ve çevre dostu doğal liflerin önemine dikkat çekilmektedir. Doğal liflerin çevresel etkilerinin azaltılması, tekstil endüstrisinde yenilikçi ve sürdürülebilir malzemelerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma hem liflerin karakterizasyonu hem de tekstil uygulamalarında kullanım alanlarının genişletilmesi açısından önemli veriler sunmakta ve Bangladeş tekstil sektörüne alternatif, yenilikçi ve ekolojik lif çözümleri sunmayı hedeflemektedir.

TEMMUZ 2025 **MD HUMAYUN KABIR**

İÇINDEKILER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ i
ÖZET iv
ABSTRACT vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR viii
1 GİRİŞ 1
2 LITERATÜR ÇALIŞMASI 3
2.1 Tekstilde Sürdürülebilirlik 3
2.2 Doğal Lifler 6
2.3 Jüt 9
2.3.1 Jüt Lifinin Tarihçesi 9
2.3.2 Jüt Lifinin Çıkarılması 10
2.3.3 Jüt Lifinin Fiziksel Özellikleri 13
2.3.4 Jüt Lifi Kimyasal Özellikleri 16
2.3.5 Jüt Lifi Uygulamaları 18
2.4 Kenevir 19
2.4.1 Kenevir Lifinin Tarihçesi 19
2.4.2 Kenevir Lifinin Çıkarılması Süreci 20
2.4.3 Kenevir Lifi Fiziksel Özellikleri 22
2.4.4 Kenevir Lifinin Kimyasal Özellikleri 27
2.4.5 Kenevir Lifinin Uygulamaları 30
2.5 Jüt ve Kenevir Lifi Arasındaki Karşılaştırma 31
2.6 Liflerin Genel Boyama Prosedürü 33
2.6.1 Selüloz Liflerin Katyonik Boyanması 33
2.6.2 Selüloz Liflerin Reaktif Boyanması 36
2.6.3 Selüloz Liflerin Direkt Boyama İşlemeleri 37
2.6.4 Selüloz Liflerinin Küp Boyanması 38
2.6.5 Selüloz Liflerinin Kükürt ile Boyanması 39
3 MALZEMELER VE METODOLOJİ 40
3.1 Malzemeler ve Yöntem 40
3.2 Tarama Yöntemi Lif Uzunluk Dağılımının Belirlenmesi 44
3.3 Stelometer ile Lif Mukavemet Ölçümü 46
3.4 Numunelerin Mikroskobik Görünümü 47
3.5 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi 47
3.6 Beyazlık İndeksi Ölçümü 47
3.7 Boyalı Numunelerin Renk Analizi 48
3.8 Evsel ve Ticari Yıkamaya Karşı Renk Haslığı Testi 48

4 SONUÇ VE TARTIŞMA 50
4.1 Lif Karakterizasyonu 50
4.2 Lif Mukavemeti 57
4.3 Numunelerin Mikroskobik Analizi 61
4.4 Numunelerin FTIR Analizi 62
4.5 Numunelerin Beyazlık İndeksi Ölçüm Sonucu 64
4.6 Boyalı Numunelerin Renk Ölçümleri 64
4.7 Evsel ve Ticari Yıkamaya Karşı Renk Haslığı Testlerin Sonuçları 65
5 SONUÇ 67
6 KAYNAKÇA 70

ÖZET

JÜT VE KENEVİR LİFLERİNİN KARAKTERİZASYONU VE KATYONİK BOYAMA PROSESİ SONRASI YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tekstil endüstrisinde sürdürülebilirlik sadece bir trend değil, aynı zamanda çevre, toplum ve ekonomik sürdürülebilirlik ile ilgili acil küresel zorlukların üstesinden gelmek için bir gerekliliktir. Yalnızca endüstrinin kendisine değil aynı zamanda toplulukların refahına ve dünyanın sağlığına da fayda sağlar. Tekstil sektörü dünyayı en çok kirleten ikinci sektördür. Mevcut mevzuat değişiklikleriyle birlikte enerji ve su tüketimine yönelik eleştirel analizler artıyor. Dünyamızda kaynaklar azaldıkça tekstil sektörü malzeme kullanımı konusunda daha dikkatli olmaya yöneliyor. Endüstrinin tamamı, su tüketimi, pestisit kullanımı ve hammadde üretmek için gereken iş gücü gibi faktörlere odaklanarak daha sürdürülebilir liflere olan talebi artırıyor. Sentetik lif kullanımının azaltılması ve doğal lifların sürdürülebilir üretim süreci bizim için çok önemlidir. Pamuk gibi çok popüler lif grubuna kenevir ve jüt gibi gövde liflerininde katılarak doğal lif grubunun genişlemesi önemlidir. Pamuk üzerinde kapsamlı araştırmalar yapılmış ancak kenevir ve jüt üzerinde araştırma ihtiyacı bulunmaktadır. Jüt ve kenevir araştırmacıların dikkatini çekmeye başlamıştır. Bunda müşteri bilinçlenmesi ve bunun çıktısı olarak sürdürülebilir doğal liflere odaklanılmasıdır. Bu liflerin her ikisi de doğada biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostudur. Ekolojik dengeyi korumak amacıyla sentetik lifler yerine daha büyük ölçüde jüt ve kenevir kullanılabilir. Tarladan nihai ürüne kadar olan süreçte sürdürülebilirlik ilkelerine dikkat edilmesi sonucunda bu lifların pamuğa göre daha çevre dostu olduğu vurgulanmaktadır.

Doğal bir lif ve çok yönlü bir bitki olan kenevir, binlerce yıldır inşaat, tekstil, tıp, kimya, otomotiv gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Olumlu teknik faydaları nedeniyle kenevir ekimi artık dikkatli bir gözetim ve düzenlemeyle yürütülmektedir. Endüstriyel kenevir ve esrar arasındaki temel fark çok düşük THC oranlarıdır. Kenevir lifinin yetiştirilmesi, kuraklığa dayanıklı bir bitki olması ve ekimi sırasında neredeyse hiç pestisit gerektirmemesi nedeniyle çevre açısından oldukça faydalıdır. Ortalama olarak kenevirin, hasat edilen biyokütlenin metrik tonu başına yaklaşık 1,5 metrik ton CO_2 emdiği tahmin edilmektedir.

Jüt, kenevir lifine hemen hemen benzer fiziksel özelliklere sahip, çevre dostu ve çok yönlü özellikleriyle bilinen bir başka doğal gövde lifidir. Asya'da “Altın” lif olarak bilinir. Jüt lifleri esas olarak selüloz (%58-63), hemiselüloz (%20-24), lignin (%12-15) ve az miktarda pektin, balmumu ve sudan oluşur. Jüt çok çeşitli ürünlerde kullanılır. Jüt halılar ve seccadeler, dünya çapında jüt

sırtlı halılar gibi Doğu'da da yaygındır. Ancak jütün en büyük kullanımı çuval ve torbalardadır; daha kaliteli olanlarına çuval bezi veya çuval adı verilir.

Bu çalışma temel olarak ağartma ve boyama işlemlerinin jüt ve kenevir gövde liflerine etkisi ve karakterizasyonun incelenmesine dayanmaktadır. Jüt ve kenevir içeriğinin tekstil yapılarında etkiside incelenecektir. Bu çalışma kapsamında kenevir ve jüt malzemeleri farklı tekstil boyaları kullanılarak boyanacaktır. Bu çalışma, boyama proseslerinin optimize edilmesine ve bu doğal lifin tekstil ve moda endüstrilerinde kullanımının teşvik edilmesine yardımcı olabilecek jüt ve kenevir lifleri ve yapıları üzerindeki boyama öncesi ve sonrası etkilerin kapsamlı bir Şekilde anlaşılmasına katkıda bulunmak amacıyla gerçekleştirilecektir. Boyama öncesi ve sonrası özelliklerin yapısal farklılıkları incelenecektir. Gerektiğinde renk haslığını arttırmak için mordan kullanılacaktır. Boyama öncesi ve sonrası yapısal farklılıkları görmek için çekme mukavemeti, SEM, FTIR gibi farklı testler yapılacak. Boyaların solmaya ve yıkanmaya karşı dayanıklılığını ve direncini değerlendirmek için renk haslığı, renk akması ve renk boyama da yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Jüt, Endüstriyel Kenevir, Lif Karakterizasyonu, Ağartma, Terbiye İşlemi, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF JUTE AND HEMP FIBERS AND INVESTIGATION OF THEIR STRUCTURAL PROPERTIES AFTER CATIONIC DYEING PROCESS

Sustainability in the textile industry is an undeniable concept to tackle urgent global obstacles connected to the environment, society and economic sustainability. It benefits not only the industry itself, but also the beterment of individuals and the health of this world. The world's second most polluting industry is the textile sector. With current legislative changes, critical analyzes of energy and water consumption are increasing. As resources decrease in our world, the textile industry tends to be more careful about material use. The entire industry is driving demand for more sustainable fibers, focusing on factors such as water consumption, pesticide use and the labor required to produce raw materials. Reducing the usage of synthetic fibers and the sustainable production process of natural fibers are very important to us. Extensive research has been done on cotton, but not much research has been done on hemp and jute. Jute and hemp have begun to attract the attention of researchers. This is about customer awareness and focusing on sustainable natural fibers as an outcome. Both of these fibers are biodegradable and environmentally friendly. In order to maintain ecological balance, jute and hemp can be used on a larger scale instead of synthetic fibers. It is emphasized that these fibers are more environmentally friendly than cotton, as a result of paying attention to sustainability principles transitioning from the field of cultivation to the final product.

Hemp, a natural fiber and versatile plant, has been used widely in different areas like textile, construction, medicine, automotive and chemistry for thousands of years. Due to its positive technical benefits, hemp cultivation is now carried out with careful supervision and regulation. The core distinction between marijuana and hemp is their Tetrahydrocannabinol (THC) content as hemp or hemp products must have less than 2-3% Tetrahydrocannabinol (THC). Cultivation of hemp fiber is very beneficial for the environment as it is a drought-resistant plant and requires almost no pesticides during its cultivation. On average, hemp is determined to absorb approximately 1.5 metric tons of CO2 per metric ton of harvested biomass.

Jute is another natural fiber with physical properties almost similar to hemp fiber, known for its environmentally friendly and versatile properties. It is referred to as the “Golden” fiber in Asia. Jute fibers consist mainly of cellulose (58-63%), hemicellulose (20-24%), lignin (12-15%) and small amounts of pectin, wax and water. Jute is utilized in a wide range of products. Jute carpets

and prayer rugs are also common in the East, as are jute-backed carpets around the world. However, the biggest use of jute is in bags and sacks; The ones with superior quality are known as burlap or sacks.

This research is basically based on examining the effects and characterization of bleaching and dyeing processes on jute and hemp stem fibers. The effect of jute and hemp content on textile structures will also be evaluated. Within the parameters of this research, hemp and jute materials will be dyed using basic dyes. This research will be conducted in an effort to contribute to a comprehensive understanding of pre- and post-dyeing effects on jute and hemp fibers and structures, which can help optimize dyeing processes and promote the usage of this natural fiber in the textile and fashion trade. Structural differences in the features before and after painting will be examined. Different tests such as tensile strength, SEM, FTIR will be performed to see the structural differences before and after painting. Color fastness, color bleeding and color dyeing will also be performed to evaluate the durability and resistance of the dyes to fading and washing.

Keywords: Jute, Industrial Hemp, Fiber Characterization, Bleaching, Finishing Process, Sustainability

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

MÖ : Milattan önce

GPa : Gigapascal

MPa : Megapascal

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

JGT : Jüt jeotekstiller

kHz : Kilohertz

RH : Bağıl nem

% : Yüzde

°C : Santigrat derece

g/cc : Gram/santimetreküp

kg : Kilogram

IJSG : Uluslararası Jüt Çalışma Grubu

CBC : Halı altlık bezi

UV : Ultraviyole

µm: Mikrometre

cm : Santimetre

h: Saat

mL : Mililitre

mL/h : Saatteki mililitre akış

mm : Milimetre

nm : Nanometre

m : Metre

ETA : Etanolamin

cN/Tex : Centi Newton/Tex

THC : Tetrahidrokanabinol

kN/mm2 : Kilonewton başına Milimetrekare

g/L : Litre başına gram

pH : Hidrojenin gücü

dk : Dakika

FTIR : Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

ASTM : American Society for Testing Materials

K/S : Renk gücü

L* : Açıklık koyuluk

a* : Kırmızı-yeşil koordinatı

b* : Sarı-mavi koordinatı

C* : Parlaklık koordinatını

λ_{max} : Lambda max

SFC : Kısa lif içeriği

h° : Planck sabiti

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Tekstil tedarik zincirinin basitleştirilmiş akış şeması 4
Şekil 2.2. Tekstil ve giyim tedarik zincirinde yer alan işletmeler 4
Şekil 2.3. Bir bitki lifinin (hücresinin) şematik yapısı. İkincil hücre duvarı S2, toplam kalınlığın yaklaşık %80'ini oluşturur 7
Şekil 2.4. Liflerin sınıflandırılması 9
Şekil 2.5. Jüt lifinin çıkarılması 12
Şekil 2.6. Jüt sapı, çürütüldükten sonra jüt kamışına ve çubuğa dönüştürülür 14
Şekil 2.7. Jüt lif morfolojisi: mikro yapı 14
Şekil 2.8. Alfaselülozun kimyasal yapısı 17
Şekil 2.9. Hemiselülozun kimyasal yapısı 17
Şekil 2.10. Kenevir lifinin elde edilme süreci 21
Şekil 2.11. Kenevir sapları, sıyrılmış elyaf ve taranmış lifler 22
Şekil 2.12. Kenevir bitkileri 23
Şekil 2.13. Bir kenevir lif demetinin (a), (b) ve gevşek liflerin (c), (d) SEM mikrografileri….. 25
Şekil 2.14. Kenevir lifinin yapısı: (a) enine kenevir gövde kesiti (b) kenevir lif demetinin enine kesit morfolojisi ve (c) kenevir lifinin şematik tasviri 26
Şekil 2.15. Kenevir hücre duvarı kesitinin şematik görüntüsü; yeşil hemiselüloz 28
Şekil 2.16. Selülozun yapısal formülü 29
Şekil 2.17. Hemiselüloz 29
Şekil 2.18. Pektinin ana bileşeni olan galakturonik asidin yapısal formülü 30
Şekil 2.19. 2027 yılına kadar küresel kenevir lifi pazarının tahmini büyüklüğü 30
Şekil 2.20. C.I. Basic Blue 22 34
Şekil 2.21. C.I. Basic Violet 2 34
Şekil 2.22. Mordanlanmış selüloz üzerinde bazik boyanın fiksasyon dizisi 36
Şekil 2.23. Bazı seçilmiş ticari reaktif boyarmaddelerin moleküler yapıları 37
Şekil 2.24. Bazı yaygın ticari direkt boyaların kimyasal yapısı 38
Şekil 2.25. Bazı yaygın vat boyalarının yapısı 39
Şekil 3.1. Ham jüt, ağartılmış jüt, ham kenevir, ağartılmış kenevir (5g numune) 42
Şekil 3.2. (a) HJLK, (b) AJLK, (c) HKLK, (d) AKLK, (e) HJLS, (f) AJLS, (g) HKLS, (h) AKLS, (i) HJLM, (j) AJLM, (k) HKLM, (l) HJLM 43
Şekil 3.3. Jüt ve Kenevir liflerin boyama eğrisi 44
Şekil 3.4. Shirley Tarak Ayırıcı 45
Şekil 3.5. Lif mukavemeti ve uzamasının ölçülmesi 46
Şekil 3.6. Olympus optik mikroskop 47
Şekil 3.7. Gyrowash makinesi 49
Şekil 4.1. Tarak kısa lifler (a) HJL, (b) HJLK, (c) HJLS, (d) HJLM, (e) AJL, (f) AJLK, (g) AJLS, (h) AJLM, (i) HKL, (j) HKLK, (k) HKLS, (l) HKLM, (m) AKL, (n) AKLK, (o) AKLS, (p) AKLM 52
Şekil 4.2. Daha kısa diyagramı tarak (a) AJL, (b) AJLK, (c) AJLS, (d) AJLM, (e) HJL, (f) HJLK, (g) HJLS, (h) HJLM, (i) AKL, (j) AKLK, (k) AKLS, (l) AKLM, (m) HKL, (n) HKLK, (o) HKLS, (p) HKLM 55
Şekil 4.3. Jüt lif numunelerinin uzunluk değerleri 56

Şekil 4.4. Kenevir lif numunelerinin uzunluk değerleri 56
Şekil 4.5. Jüt numunelerinin kısa lif ve dağılım %'si..... 57
Şekil 4.6. Kenevir numunelerinin kısa lif ve dağılım %'si 57
Şekil 4.7. Jüt ve Kenevir liflerinin ortalama kopma mukavemeti (kg)..... 60
Şekil 4.8. Jüt ve Kenevir Liflerinin Ortalama Kopma Uzaması (%) 60
Şekil 4.9. (a) Ham jüt lifi, (b) Ağartılmış jüt lifi, (c) Ham kenevir lifi, (d) Ağartılmış kenevir lifinin mikroskobik görüntüsü..... 61
Şekil 4.10. HKL ve HKLK'nın FTIR Eğrisi 62
Şekil 4.11. AKL ve AKLK'nın FTIR Eğrisi 62
Şekil 4.12. HJL ve HJLK'nın FTIR Eğrisi..... 63
Şekil 4.13. AJL ve AJLK'nın FTIR Eğrisi..... 63

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı tekstil lifları ve 2023'teki pazar büyüklükleri 6
Tablo 2.2. Jüt liflerinin (demetlerinin) E-cam ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı değerleri 7
Tablo 2.3. Doğal ve rejenere selülozik liflerin tipik özellikleri 8
Tablo 2.4. Bazı doğal liflerin ortalama kimyasal bileşimi 8
Tablo 2.5. Jüt lifinin fiziksel özellikleri 15
Tablo 2.6. Jüt lifinin kimyasal bileşimi 16
Tablo 2.7. Kenevir liflerinin fiziksel özellikler 24
Tablo 2.8. Kenevir lifinin çekme özellikleri 24
Tablo 2.9. Cam ile kenevir liflerinin (demetlerinin) fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı değerleri 26
Tablo 2.10. Kenevir liflerinin kimyasal bileşim 28
Tablo 2.11. Tablo Jüt ve Kenevir Lifi özellikleri 32
Tablo 3.1. Jüt ve kenevir lif ve ipliğini boyama reçetesi (ağartılmış ve ağartılmamış lif) 41
Tablo 3.2. Numune gruplarının kodlanması 42
Tablo 3.3. Renk değişimini değerlendirmek için gri skala renk değişim değerleri 49
Tablo 3.4. Lekelenmeyi değerlendirmek için gri tonlamalı derecelendirme 49
Tablo 4.1. Shirley lif uzunluk analizi 55
Tablo 4.2. Demet Lif mukavemet testi sonucu 59
Tablo 4.3. Beyazlık indeksi sonucu 64
Tablo 4.4. Renk ölçümü test sonucu 65
Tablo 4.5. Yıkamaya karşı renk haslığı test sonucu 66

1 GİRİŞ

İnsan yaşam tarzları ve küresel ekonomiler için hayati önem taşımasına rağmen, tekstil sektörü önemli çevresel etkisi nedeniyle giderek daha fazla eleştiriye maruz kalmaktadır. Geleneksel sentetik lifler ve yoğun ıslak işleme teknikleri tehlikeli atık üretimi, aşırı enerji kullanımı ve su kirliliğinden sorumludur. Kenevir ve jüt gibi doğal lifler, minimal ekolojik etkileri, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri ve yenilenebilirlikleri nedeniyle dünya sürdürülebilirliğe doğru kayarken uygulanabilir ikameler olarak yeniden ortaya çıkmıştır. Bu iki bast lifinin -jüt ve kenevir- sürdürülebilir tekstil geliştirmede kullanımını en üst düzeye çıkarmak için, bu tez hem boyama işlemlerinden önce hem de sonra yapısal özelliklerini araştırmaktadır.

Hem kenevir hem de jüt, ev tekstili ve jeotekstillerden iplere ve çuvallara kadar çeşitli ürünlerde yüzyıllardır kullanılan lignoselülozik liflerdir. Ancak boyama kimyası ve lif işlemedeki modern gelişmeler, bu liflerin giyim, kompozitler ve ev dekorasyonu gibi üst düzey tekstil uygulamalarında kullanımı için yeni yollar açmıştır. Özellikle, kenevirin inanılmaz derecede güçlü, ses emici ve titreşime dayanıklı olduğu kanıtlanmıştır ve bu da onu inşaat, moda ve otomobil endüstrilerinde aranan bir takviye malzemesi haline getirmiştir. "Altın lif" olarak bilinen jüt, yüksek emiciliği ve uygun fiyatı nedeniyle hala tarımsal tekstillerde ve ambalajlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Avantajlarına rağmen, her iki lif de ıslak işlem, özellikle boyama uygulandığında yapısal bütünlükte önemli farklılıklar gösterir. Boyama prosedürleri lifi bozabilir, çekme mukavemetini düşürebilir ve lif uzunluğu, uzama ve kristalinite gibi diğer fiziksel özellikleri değiştirebilir. Sıklıkla yüksek sıcaklıklar, alkali koşullar ve uzun işlem süreleri gerektirirler. Örneğin, selüloz, özellikle kenevirden daha fazla ağartmaya ihtiyaç duyan jütte, yüksek pH seviyelerinde uygulanan katyonik (bazik) boyalardan zarar görebilir. Tekstilin renk haslığı, yumuşaklık ve mekanik sağlamlık gibi son kullanım nitelikleri, bu yapısal değişikliklerden doğrudan etkilenir.

Bu tezin amacı, boyama prosedürlerinin kenevir ve jüt liflerinin yapısal ve işlevsel özelliklerini nasıl etkilediğini metodik olarak incelemektir. Boyama öncesi ve sonrası kolorimetrik parametrelerdeki (L, a, b*, C* ve K/S), lif uzunluğundaki, lif mukavemetindeki, FTIR'deki, evsel ve ticari yıkamaya karşı renk haslığındaki değişiklikleri karakterize etmek ana hedeftir.

Bunu başarmak için, hem jüt hem de kenevir bazlı lifleri boyamak için katyonik boyalar kullanıldı. Ayrıca, ham jüt lifleri, boyamadan kaynaklanan fiziksel ve mekanik değişiklikleri kontrol etmek ve değerlendirmek için ağartıldı ve boyandı.

Deneysel kapsamının ötesinde, bu çalışma tekstil endüstrisinin sürdürülebilir malzemelere ve yeşil kimyaya geçişinin daha geniş hedefini desteklemektedir. Lif seçimi ve işleme tercihlerini bilgilendirmek için eko-etiketleme ve yaşam döngüsü değerlendirmelerine duyulan ihtiyaç Avrupa Parlamentosu ve çevre uzmanları tarafından vurgulanmıştır. Jüt ve kenevir, düşük pestisit gereksinimleri, CO_2 emme kabiliyetleri, hızlı biyolojik olarak parçalanabilirlikleri ve küçük çevresel etkileri nedeniyle sürdürülebilir tekstil mühendisliği için umut vadeden seçeneklerdir.

Sonuç olarak, bu tez, boyamaya yanıt olarak kenevir ve jütün davranışına ilişkin karşılaştırmalı bir çerçeve sağlayarak hem bilimsel bilgiyi hem de endüstriyel uygulamayı ilerletmektedir. Sonuçlar, çevre dostu, mekanik olarak sağlam ve renk sabitli tekstil ürünleri yaratmak için temel bilgi sağlayarak geleneksel doğal lifler ile ileri görüşlü sürdürülebilir teknolojiler arasındaki bağlantıyı güçlendirecektir.

2 LITERATÜR ÇALIŞMASI

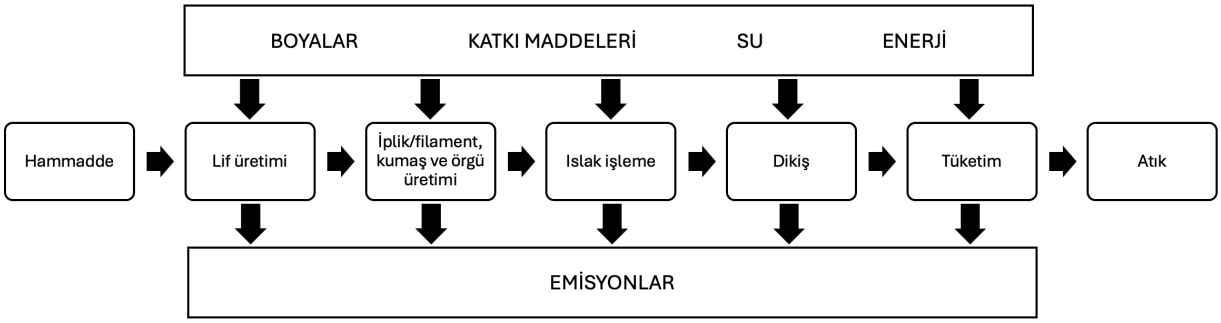
2.1 Tekstilde Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılamaları için herhangi bir etki yaratmadan mevcut gereksinimleri karşılama yeteneği olarak adlandırılabilir. Çevre bakım, sürdürülebilirlik ekonomi ve sosyal adaleti, sürdürülebilirliğin basit bileşenleri olarak kabul edilir. Temel olarak çevrenin, eşitliğin ve ekonominin istikrarıdır. Çevresel sürdürülebilirlik, sosyal sürdürülebilirlik ve ekonomik sürdürülebilirlik, sürdürülebilirliğin üç temel bileşeni veya sütunu olarak kabul edilir. Ekosistemin, doğal ürünlerin ve biyolojik çeşitliliğin korunması ve muhafazasının sürdürülebilirliğine odaklanılmaktadır. Enerji, su ve diğer doğal kaynakların tasarrufunu teşvik eder. Karbon ayak izinin azaltılması çevresel sürdürülebilirliğin bir diğer temel alanıdır. Sosyal sürdürülebilirlik, tüm topluluğa hizmet eden gelişmelerin güvencesine odaklanır. İnsan hakları, sosyal eşitlik, iş hukukunun uygulanması, sosyal tesislerin ve hakların eşit dağıtımı gibi çeşitli yönleri vardır. Ekonomik sürdürülebilirlik, kaynakları tüketmeyen ve çevresel veya sosyal zarara neden olmayan ekonomik sistemler inşa etmeyi amaçlar [1, 2, 3].

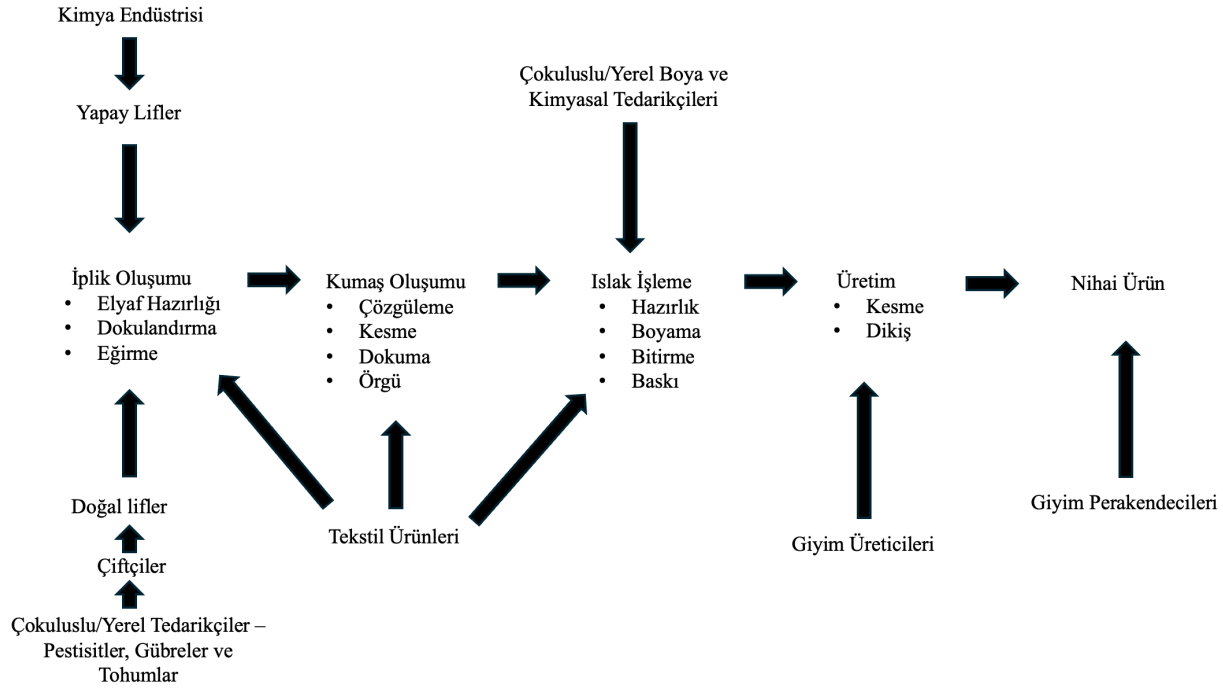
Tekstil endüstrisi bu dünyanın en eski ve teknolojik olarak en gelişmiş endüstrilerinden biridir. Ekonomi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ancak tekstil endüstrisinin neden olduğu atık üretimi insan sağlığını ve çevremizin sürdürülebilirliğini tehlikeye attığı için ciddi bir sorun haline gelmiştir. Tekstil ürünlerine olan talebin artmasıyla birlikte bu endüstrinin neden olduğu çevresel hasar hızla artmaktadır. Lif üretiminden hazır giyim üretiminin sonuna kadar çevresel denge bozulmaktadır [4, 5]. Tekstil endüstrisinin farklı üretim aşamalarında yaklaşık 8000 kimyasal kullanılmaktadır. 7 milyar kişilik bir nüfusa ve kişi başına ortalama 7 kg giysi tüketimine dayanarak, yılda beş milyar kilo kimyasal kullanılmaktadır. Birçok kimyasal zararlı metabolitlere parçalanır. Örneğin: C.I. Disperse Red 151 anilini parçalayabilir ve serbest bırakabilir (kanserojen olduğundan şüphelenilir) [6].

Pamuk ve diğer lifleri yetiştirmek için gereken araziye ek olarak, tekstil üretimi çok fazla su gerektirir. Bir adet pamuklu tişörtün üretimi için yaklaşık 2 bin 700 litre temiz su kullanılıyor. Bu miktar, bir insanın 2,5 yıllık içme suyu ihtiyacına denk geliyor. 2020'de tekstil endüstrisi arazi kullanımının ve su bozulmasının üçüncü büyük kaynağıydı. Temiz su kirliliğinin %20'si boyama ve apreleme işlemleri sırasında tekstil üretiminden kaynaklanmaktadır [7]. En fazla kimyasal tüketimi ıslak işleme sırasında yani boyama, yıkama, baskı ve kumaş terbiyesinde gerçekleşir. Tekstil boyama ve terbiye fabrikaları tarafından üretilen her metrik ton tekstil için yaklaşık 200

ton su tüketilir. Tekstil endüstrisinden yaklaşık 300-500 milyon ton ağır metal, toksik çamur, çözücü ve diğer atıklar atılır [8, 9].



Şekil 2.1. Tekstil tedarik zincirinin basitleştirilmiş akış şeması [10]



Şekil 2.2. Tekstil ve giyim tedarik zincirinde yer alan işletmeler [8]

Tek bir polyester yıkama yükünden yedi yüz bin mikroplastik lif besin zincirine girebilir. Dünya karbon emisyonlarının %10'unun moda işinden kaynaklandığı düşünülüyor, bu da uluslararası seyahat ve deniz taşımacılığının toplamından daha fazladır. Kullanılmış giysilerin yalnızca %1'i yeni giysilere geri dönüştürülüyor [7].

Küresel tekstil lif üretimi 2000 yılında 58 milyon tondan 2020 yılında 109 milyon tona ulaştı. 2023 yılına kadar 145 milyon tona ulaşması tahmin ediliyor [7]. Bu nedenle tekstil lifleri için sürdürülebilir yetiştirme süreçlerinin planlanması büyük önem taşımaktadır.

Selüloz, dünyada bulunan en bol doğal polimer kaynaklarından biridir. Yıllık 11 ton biyosentezle tüm karasal biyokütlenin %30-40'ından fazlasını temsil eder [11, 12, 13]. Bitki dokularının hücre duvarının temel yapısal bileşeni olarak ağaçlarda, meyvelerde, bitkilerde, yapraklarda ve kabuklarda bulunabilir [14, 15, 16, 17].

Selüloz lifleri yenilenebilir bitki kaynaklarından geldikleri için biyolojik olarak parçalanabilirler, bu da onları insan yapımı liflerin çevre dostu ikameleri yapar. Rahatlık, hidrofilisite ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi benzersiz ve üstün özelliklere sahiptirler [18].

Selüloz liflerinin selüloz bazlı plastikler, kağıt, yardımcı maddeler, bebek bezleri, gıda katkı maddeleri, köpükler, kaplamalar, tekstiller, kompostlar vb. gibi çeşitli kullanım alanları vardır [19, 20]. Pamuk lifi tüm doğal liflerin yaklaşık %90'ını oluşturur. Selüloz lifi kullanımının 2030 yılına kadar kişi başına 3,7 kg'dan 5,4 kg'a çıkacağı tahmin edilmektedir [21]. Selülozun yaklaşık %90'ı pamuk lifinde, %40 ila %50'si kuru kenevirde ve %40 ila %55'i odunda bulunur. Selüloz sıklıkla lignin ve hemiselülozlarla birlikte bulunur [22, 23]. Ayrıca keten, rami, kenaf, jüt, sisal, muz vb. yaygın olarak kullanılır. Ananas, kapok ve apocynum gibi farklı türde yeni doğal lifler de kullanılmaktadır [17]. Rejenerasyon selüloz lifleri, selülozun çözülmesi, odun hamuru veya bitki liflerinin kullanılmasıyla elde edilir [24]. Viskon, liyocell, modal gibi farklı rejenere selüloz lifleri, spor giyim, tıbbi tekstiller gibi çeşitli malzemelerde, diğer sentetik veya doğal liflerle birlikte kullanılır [25].

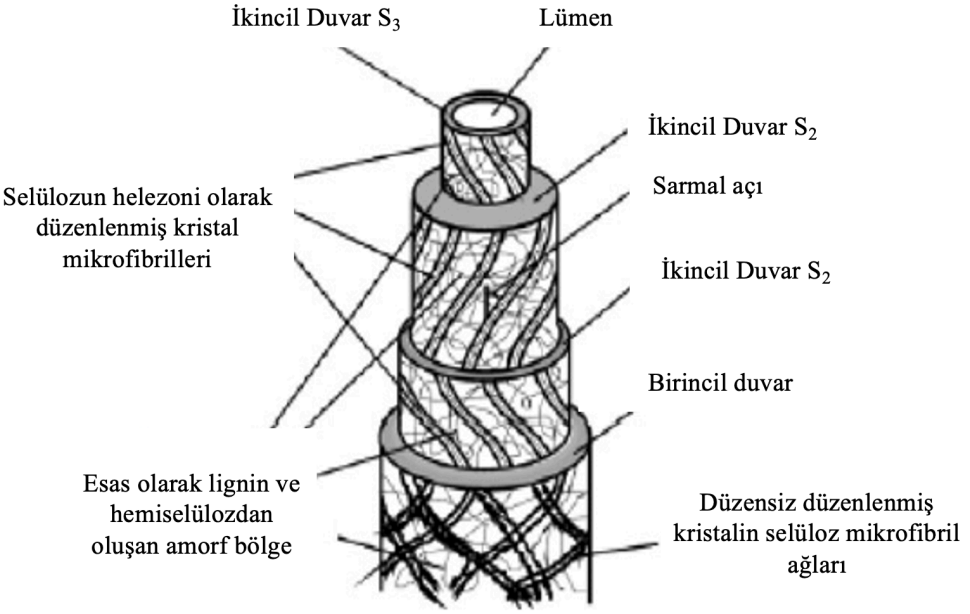
Tablo 2.1. Farklı tekstil lifları ve 2023'teki pazar büyüklükleri [17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]

Lif türleri	Üreten Ülke	Yıllık Miktar (ton)-2023	Uygulama	Yıllık Ticaret (USD)	Çevresel Etki	Lif Özellikleri
Pamuk	ABD, Çin, Hindistan	25342000	Tekstil, giyim, ev mobilyaları	25 milyar	Yüksek su kullanımı, pestisit kullanımı	Yumuşak, nefes alabilen
Viskon	Çin	3800000	Giyim, döşeme	6 milyar	Kimyasal işlem gerekli	Pürüzsüz, ipeksi doku
Liyosel	Avustrya	250000	Giyim, ev tekstili	1.5 milyar	Kapalı devre süreci	Güçlü, emici
Rayon	Hindistan	600000	Kumaşlar, tıbbi malzemeler	3 milyar	Üretimde kimyasal kullanımı	Yumuşak, dökümlü
Modal	Endonezya	150000	İç çamaşırı, aktif giyim	500 milyar	Kayın ağacı hamuru, çevre dostu	Pürüzsüz, yumuşak
Bambu	Çin	1000000	Giyim, yatak takımı, havlu	2 milyar	Sürdürülebilir, hızlı büyüyen	Yumuşak, nefes alabilen, dayanıklı
Asetat	Japonya	200000	Giyim, astar, sigara filtreleri	800 milyar	Odun hamurundan elde edilir	Parlak, iyi örtülü
Kenevir	Kanada	100000	Tekstil, ipler, biyokompozitler	300 milyar	Düşük su, pestisit kullanımı	Güçlü, dayanıklı
Jüt	Bangladeş, Hindistan, Çin	2000000	Çuvallar, ipler, jeotekstiller	1.2 milyar	Düşük çevresel etki	Kaba, güçlü
Keten	Fransa	800000	Giyim, ev tekstili	1.5 milyar	Düşük su kullanımı	Gevrek, dayanıklı

2.2 Doğal Lifler

Sentetik lifler son 100 yılda hayatımıza girmiş ve kullanımı her geçen gün artmıştır, oysa doğal liflerin tarihi insanoğlunun varoluşuyla başlar. İnsanlık tarihinde lifler en eski doğal malzemelerden biridir. Arkeologlar tarafından 10.000 yıldan daha eski olduğu tahmin edilen kumaş parçaları bulunmuştur, bu da liflerin insanlar tarafından çok uzun bir süredir kullanıldığını göstermektedir. Başlangıçta insanlar, belirli ağaç kabuklarını veya lifli yaprakları kullanarak doğadan bitki lifleri topladılar. Ancak dünya, pamuk ve kenevirin tanımlanmasıyla dönüşümsel bir değişim geçirdi. Bitki liflerinin yetiştirilmesi, üretimi önemli ölçüde artırarak, nispeten kısa bir sürede insan hayatının çeşitli yönlerine hızla entegre olmalarına yol açtı. Sonuç olarak, bitki lifleri hızla insan hayatında vazgeçilmez hale geldi. Kenevir, birçok bilim insanı tarafından ilk bitki lifi olarak kabul edilir [28]. Güneybatı Asya'daki arkeolojik verilere göre kullanımı MÖ 4500 civarında başladı. Mısırlılar MÖ 3400'de keten kullanarak eğirme ve dokumayı icat ettiler [28, 29].

Ölü bitki hücrelerinin uzunlamasına demetleri, pektin ve diğer selülozik olmayan maddelerle birleşerek bitki liflerini oluşturur. Tek lifler iki hücre tarafından oluşturulur [28, 30]. %90 polisakkarit ve %10 glikoproteinler büyüyen bir bitkinin birincil hücre duvarını oluşturur. Selülozun ikincil hücre duvarının polimerizasyon derecesi yaklaşık 14.000'dir ve bu birincil hücre duvarının selülozun polimerizasyon derecesinden daha yüksektir. Dahası, ikincil hücre duvarının daha yüksek selüloz kristalinitesi daha kalın mikrofibriller vardır [28, 31]. Selüloz, doğal liflerin ana bileşeni olarak bilinir [28, 32].



Şekil 2.3. Bir bitki lifinin (hücresinin) şematik yapısı. İkincil hücre duvarı S2, toplam kalınlığın yaklaşık %80'ini oluşturur [33]

Tablo 2.2. Jüt liflerinin (demetlerinin) E-cam ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı değerleri [34]

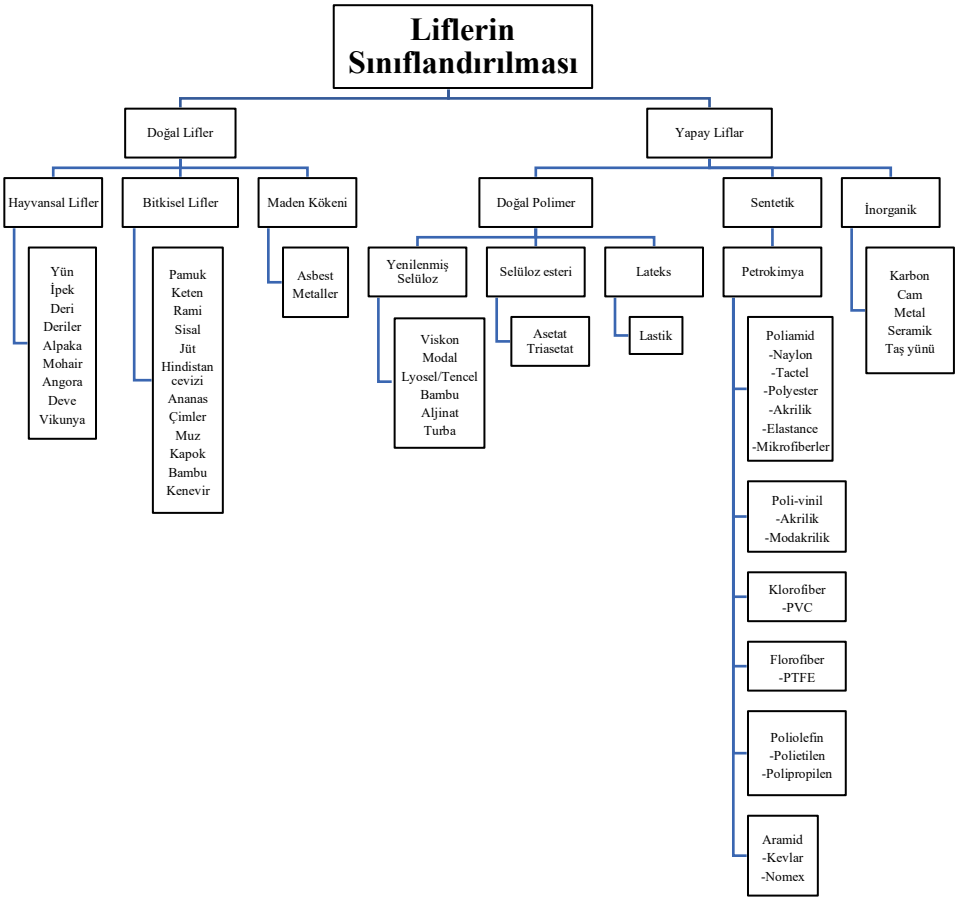
Lif türü	**Yoğunluk (g/cm3)**	**Nem emilimi (%)**	**Kopma uzaması (%)**	**Çekme dayanımı (MPa)**	**Young modülü (GPa)**	**Spesifik modül (E/ρ) (GPa)**
Jüt	1,3-1,5	11-13	1,5-1,8	200-800	20-55	14-39
E-cam	2,5	-	2,5	2000–3500	70.0	28

Tablo 2.3. Doğal ve rejenere selülozik liflerin tipik özellikleri [35]

Lif	Çap (mm)	Uzunluk	Özgül ağırlık	Güç (GPa)	Zorlanma başarısızlığa ε (%)	Young modülü E (GPa)
Pamuk	10-27	10-50 mm	1,54	0,6	7	8
Yün	15-40	25-355 mm	1,3	0,17	35	2
Keten	15-20	25 mm	1,4	0,65	1-3	65
İpek						
-İpek böceği	12	>10 m	1,4	0,4	25	8
-Örümcek ipeği	2	>10 m	1,4	0,6	25	12
Kenevir	45	2.5 m	1,5	0,5	1-2	50
Jüt	69	2 m	1,4	0,35	2,5	35
Yenilenmiş selüloz	4-60	Continuous	1,52	0,5	~25	3-11

Tablo 2.4. Bazı doğal liflerin ortalama kimyasal bileşimi [36]

	Pamuk	Jüt	Keten	Rami	Sisal
Selüloz	82,7	64,4	64,1	68,6	65,8
Hemiselüloz	5,7	12,0	16,7	13,1	12,0
Pektin	5,7	0,2	1,8	1,9	0,8
Lignin		11,8	2,0	0,6	9,9
Suda çözünür	1,0	1,1	3,9	5,5	1,2
Mum	0,6	0,5	1,5	0,3	0,3
Su	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0



Şekil 2.4. Liflerin sınıflandırılması [36]

2.3 Jüt

Jüt, genellikle "Altın Lif" olarak anılır, jüt bitkisinin gövdelerinden elde edilen çok yönlü ve sürdürülebilir bir doğal liftir. Corchorus türüne ait olan bu bitki, ağırlıklı olarak Bangladeş, Hindistan, Çin ve Tayland gibi tropikal bölgelerde yetiştirilir. Çevre dostu nitelikleriyle bilinen jüt, yüzyıllardır geleneksel bir malzeme olmuştur ve gücü, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve çeşitli uygulamaları nedeniyle değer görmüştür. Tekstilden ambalaja ve inşaata kadar jütün uyarlanabilirliği onu çeşitli endüstrilerde önemli bir oyuncu haline getirerek yalnızca ekonomik refaha değil aynı zamanda çevre bilincine sahip uygulamalara da katkıda bulunur.

2.3.1 Jüt Lifinin Tarihçesi

Jütün tarihi binlerce yıl öncesine dayanır ve yetiştirilmesi ve kullanımı zamanla evrimleşmiştir. Jüt esas olarak ekvatoral, tropikal ve subtropikal bölgelerde yetiştirilir. Hindistan ve Bangladeş'te yaygın olarak yetiştirilir. Diğer büyük jüt yetiştiren ülkeler Myanmar, Nepal, Çin, Vietnam, Tayland ve Brezilya'dır. Jüt, çoğunlukla Hindistan alt kıtasındaki Ganga-Brahmaputra deltasında yetiştirilen çok eski bir tarım ürünüdür. Yaprakları sebze olarak tüketilir ve evde bitkisel ilaç olarak

kullanılırdı [37, 38]. Jüt bitkileri lif kaynağı olarak tanındığında ve ip ve çuval yapımında kullanıldığında, özellikle Hindistan alt kıtasında, kesinlikle bilinmiyorlardı. Jütten yapılmış çuvallara ilişkin referanslar, bölgenin edebi eserlerinde 1575'e kadar uzanmaktadır. Jütten yapılmış çuval bezi, 16. ve 17. yüzyılların birkaç Bengal şiirinde bir ticaret maddesi olarak anılmıştır. Bengal bitkileri üzerinde çalışan ilk işçilerden biri olan Rumphius, 1743'te, C. capsularis'in bir figürüyle birlikte jüt bitkilerinin resimli bir açıklamasını yapmış ve burada bunun Bengal'de (Hindistan), Arakanlar'da ve Güney Çin'de yetiştirildiğini belirtmiştir. Hatta bu liften yapılan ince beyaz ipliğin pamuktan elde edilenden daha güçlü olduğunu bile belirtmiştir. Ancak, 19. yüzyılın ortalarında Kalküta civarında jüt fabrikalarının kurulmasından sonra yetiştirilmesi önem kazanmış ve sistematize edilmiştir [9]. On sekizinci yüzyılın son on yılında, İngilizler (Doğu Hindistan Şirketi) ilk olarak jüt lifinin potansiyelini hissetti ve o zamanlar "Kızılderili Otu" olarak adlandırılan jüt bitkisi örneklerini İngiltere'ye gönderdi. Otuz yıl sonra jüt lifi, o zamanlar küresel tekstil merkezi olan İskoçya'daki Dundee'ye testler için gönderildi ve testlerden sonra benzersizliği ortaya çıktı. Dundee'deki deneyler, jüt lifinin yüksek başlangıç mukavemetini ve yumuşatıcı bir yağ karışımıyla iyileştirilmiş eğrilebilirliğini ortaya koydu. Jüt için ilk büyük ticari atılım, 1838'de Hollanda'dan Doğu Hint Plantasyonu'na kahve çekirdeklerinin taşınması için jüt çuvalları sipariş edilmesiyle sonuçlandı ve bunu iki savaş izledi, yani Kırım Savaşı (1854-1856) ve Amerikan İç Savaşı (1860-1865). Bundan sonra jüt, tercih edilen esnek ambalaj malzemesi olarak geriye bakmadı. 1870'lere gelindiğinde jüt çuval düşük fiyatı ve iyi kalitesi nedeniyle en çok aranan esnek ambalaj kabı haline geldi ve Hindistan alt kıtasının doğu kesiminde çok sayıda jüt fabrikasının kurulmasına yol açtı. Jüt çuvalların tekeli, 1950'lerde yapay sentetik liflerin pazara girmesinden sonra giderek azaldı. Jüt endüstrisi, jüt çuvallara olan talebin eksikliğini gidermek için jüt çeşitlendirilmiş ürünler aramaya başladı. Jüt Jeotekstiller (JGT) bu tür bir aramanın sonucudur [38, 39, 40, 41, 42, 43].

2.3.2 Jüt Lifinin Çıkarılması

Tek jüt lifi yalnızca 1–6 mm uzunluğunda ve 5–30 μm genişliğindedir. Çoğu ürün için, 200 μm veya daha kalın ve tüm jüt sapı kadar uzun olabilen lif demetleri kullanılır. Çürütme (1) kimyasal yöntemle veya (2) biyolojik yöntemle yapılabilir.

Kimyasal yöntemde amonyum oksalat ($N_2H_8C_2O_4$), sodyum sülfit (Na_2SO_3) vb. kullanılır. Ancak bu işlem maliyetlidir ve bu nedenle Bangladeş ve Hindistan çiftçileri tarafından uygulanmaz.

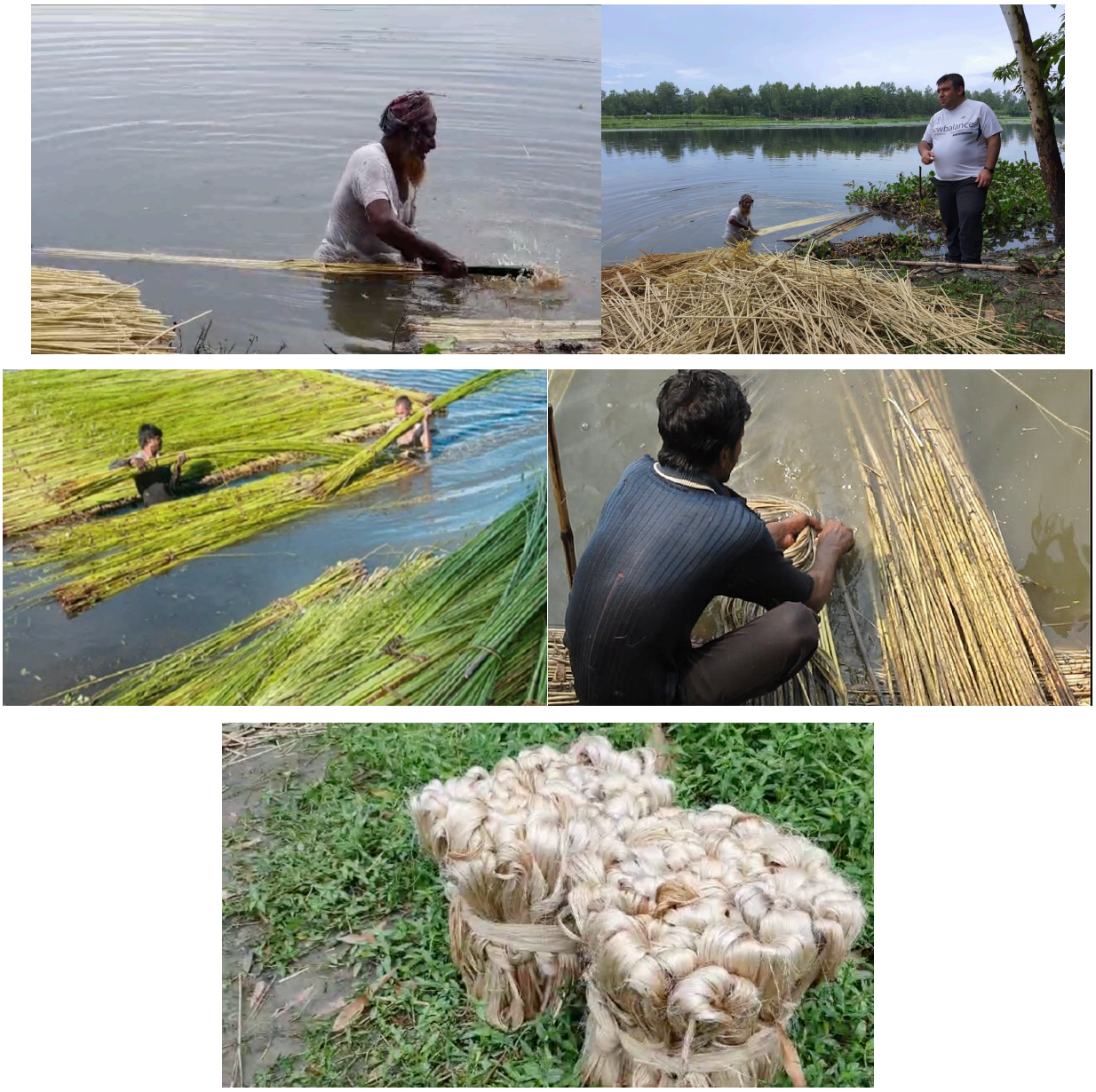
Biyolojik retting yöntemi genellikle Bangladeş ve Hindistan'da uygulanır. Şunlardan oluşur: (i) yığın yöntemi, (ii) şerit retting ve (iii) dik yöntem.

(i) Yığın yöntemi: Yığın yönteminde, bitki salkımları istiflenir ve çürütme için bir miktar mantar kültürü kullanılır.

(ii) Demet retting: Demet retting, kabuğun gövdeden şeritlenmesinden oluşur. Manuel veya mekanik demet makineleri hem Bangladeş'te hem de Hindistan'da geliştirilmiştir. Demetler çoğunlukla biyolojik yöntemle retting edilir. Demetler kimyasal yöntemle de retting edilebilir. Ancak, demet retting teknolojisi çiftçiler tarafından yaygın olarak uygulanmamaktadır. Çiftçilerin bakış açısından, kabuk soyucular tarafından şeritlemenin en büyük dezavantajı, jüt gövdesine verilen zarardır. Kabuk soyucular, kabuk şeritlerini gövdeden ayırırken gövdeyi kısa parçalara ayırır.

(iii) Dik yöntem: Genellikle geleneksel ve en yaygın retting yöntemi olarak görülen dik retting yöntemi Bangladeş ve Hindistan'da uygulanır. Bu retting yöntemi çeşitli faktörlerden etkilenir. Retting, gövdelerden lif demetlerinin gevşetildiği mikrobiyolojik bir işlemdir. Bakteriler ve mantarlar, çözünme sırasında lif demetlerinin gövdeden ayrılmasını kolaylaştıran gövdenin yumuşak dokusu üzerinde etki eder. Retting'i etkileyen çeşitli faktörler şunlardır: (i) suyun doğası ve hacmi; (ii) sıcaklık; (iii) pH; (iv) bitkilerin yaşı: (v) ürüne uygulanan gübre; (vi) retting için kullanılan aktivatör; (vii) ağırlık azaltıcı malzeme, vb.

Çürütme sürecinde bir dizi biyokimyasal reaksiyon gerçekleşir. Bunun sonucunda çürütme suyunun kimyasal bileşimi ve pH değeri çürütme süreci boyunca sürekli değişir. Serbest şekerlerin ayrışması sürecin erken aşamalarında gerçekleşir, bunu pektinin parçalanması izler. Ayrışabilir hemiselülozlar ve azotlu bileşikler, özellikle proteinler, daha sonraki aşamada parçalanır. Çürütme suyunun periyodik analizleri, organik asitler (asetik, laktik, bütirik), aseton (propan-2-on: $OC(CH_3)_2$), butil alkol (bütanol: C_4H_9OH), etil alkol (etanol: C_2H_5OH) ve çeşitli gazlar gibi çeşitli ayrışma ürünlerinin varlığını ortaya koymuştur. Çürütme ve çıkarma işlemleri, üretilen lif demetlerinin kalitesi ve jüt üretim maliyeti üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Üretim verimliliğini, son ürünlerin kalitesini ve pazardaki rekabet güçlerini etkilerler. Sonuç olarak, endüstri için kazanç seviyesini ve yetiştiriciler için getiriyi belirlerler [44].



Şekil 2.5. Jüt lifinin çıkarılması

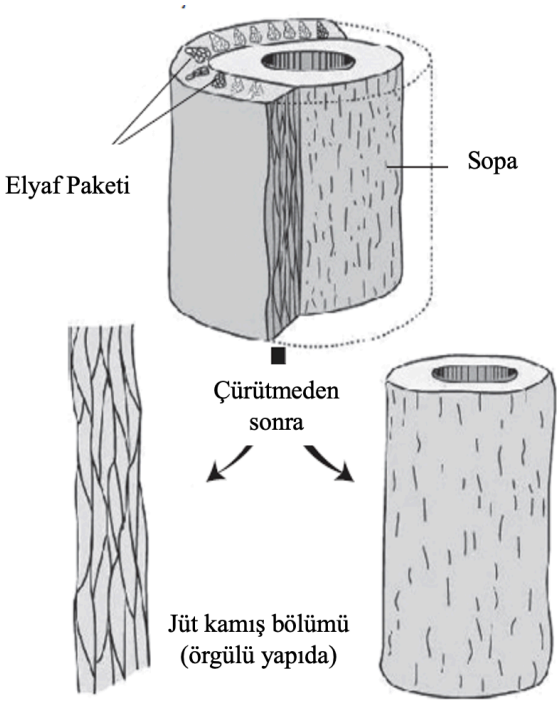
Bangladeş'te, başlıca kalite özelliklerine göre, lifler ticari amaçlar için iki yöntemle derecelendirilir. Bunlardan biri, Kutcha derecelendirme yöntemi olarak adlandırılır ve burada lifler esas olarak yerel pazarlar için kalite sırasına göre azalan Üst, Orta, B-Alt, C-Alt ve X-Alt olmak üzere beş sınıfa ayrılır. Diğer yöntem ise Pucca derecelendirme olarak adlandırılır ve burada liflerin dip/kök kısımları çelikler halinde kesilir ve beyaz jüt için BW-özel, BW-A, BW-B,., BW-E ve tossa jüt için BT-özel, BT-A, BT-B,., BT-E olmak üzere kalite sırasına göre azalan altı sınıfa ayrılır, esas olarak uluslararası pazar için. Hindistan'da, altı lif kalite özelliğine bağlı olarak, yani

mukavemet, incelik, kusurlar, kök içerikleri, renk ve yoğunluk, jüt, kalite azalan sıraya göre sekiz beyaz (C. capsularis) derecesine, yani W_1, W_2, ., W_8 ve sekiz tossa (C. olitorius) derecesine, yani TD_1, TD_2, ., TD_8 olarak derecelendirilir. Benzer Şekilde, farklı ülkelerde farklı derecelendirme sistemleri kullanılır, örneğin, Çin'de dört dereceli, Endonezya'da üç dereceli, Nepal'de iki dereceli ve Tayland'da üç dereceli bir derecelendirme sistemi [37, 44, 45, 46, 47, 48].

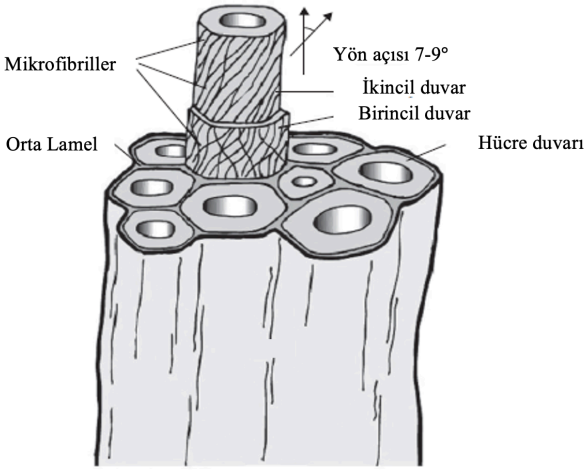
2.3.3 Jüt Lifinin Fiziksel Özellikleri

Jüt, Corchorus cinsine aittir. Bu cinsin 30'dan fazla türü vardır ve bunlardan C. capsularis (beyaz jüt denir) ve C. olitorius (tossa jüt denir) lif üretimi için kullanılır [10]. Jüt lifi, pamuğun aksine, çok hücreli bir liftir. Jüt bitkisinde lif, gövdenin üstünden altına üç boyutlu bir ağ oluşturacak Fıgurede bir araya getirilmiş tek liflerden (nihai hücre) oluşan silindirik bir kılıf olarak oluşur. Uzun lif olarak kabul edilir. 1,5-3 m uzunluğundaki lif demetleri biçimindeki ticari lifler, kamış olarak adlandırılır, lif elemanlarının gözenekli veya ağ yapısı tarafından bir birim olarak bir arada tutulur ve tüm bitkinin yalnızca çok küçük bir oranını (%4-%6) temsil eder [37, 49, 50, 51].

Ham jüt kamışının bu ağlarının her bir lif elemanı esas olarak selülozik olmayan bileşime sahip hücreler arası malzemeler vasıtasıyla yanal ve uzunlamasına birbirine yapıştırılmış bir grup nihai hücredir. Tek bir jüt lifi, bu nedenle bir nihai hücre demetini içerir. Bu nedenle, jüt lifi çok hücrelidir. Nihai hücreler iğ şeklindedir ve uzunluk ve genişlikte değişken boyuttadır, ortalama olarak 2,5 mm uzunluğunda ve ortada 0,02 mm genişliğindedir. Hücreler genişliklerinden yaklaşık 200 kat daha uzundur. Nihai hücrelerin enine kesitlerinin yuvarlatılmış köşeli çokgen olduğu bulunmuştur. Nihai hücreler arasında bulunan doğal sakız tabakası orta lamel olarak bilinir. Her nihai hücrenin kalın hücre duvarı ve lümeni, az çok oval bir enine kesite sahip merkezi kanalı vardır [37, 44, 52, 53, 54].



Şekil 2.6. Jüt sapı, çürütüldükten sonra jüt kamışına ve çubuğa dönüştürülür [37]



Şekil 2.7. Jüt lif morfolojisi: mikro yapı [37, 38]

Kuru jüt elektriğe dayanıklıdır, ancak nemliyken elektrik direnci özelliğini önemli ölçüde kaybeder. Jütün dielektrik sabiti kuruyken 2,8 kHz, %65 RH'de (bağıl nem) 2,4 kHz ve %100 RH'de 3,6 kHz'dir. Jüt lifinin sürtünme katsayısı genellikle beyaz jüt için 0,54 ve Tossa çeşidi için 0,45'tir [38, 53, 54]

Tablo 2.5. Jüt lifinin fiziksel özellikleri [37, 38]

Özellik	**Değer**
Nihai hücre uzunluğu, L (mm)	0,8–6,0
Nihai hücre genişliği, B (mm)	10–25 μm
Uzunluk/genişlik oranı	110
İncelik (denye)	15-35
Dayanıklılık (g/denye)	3-5
Özgül ağırlık (g/cc)	1,48
Statik sürtünme katsayısı	0,45–0,54
Kırılma indisi	1,577
Özgül ısı (Cal/g/°C)	0,324
Isı iletkenliği (cal/s/cm. °C/.cm2)	$0{,}91\times10^{-4}$
Isı iletkenliği (M watt/m.kelvin)	427,3
Yanma ısısı (Jules/g)	17,5
Tutuşma sıcaklığı (°C)	193
Kopma uzaması (%)	1,0–1,8
Yoğunluk (g/cc)	1,46
Kristalinite derecesi (X-ışını)	55–60%
Yönlendirme açısı (X-ışını)	7–9°
Başlangıç modülü	17–30 N/tex
Eğilme sertliği (dynes.cm)	3,0–5,0
%65 B.N.'de nem geri kazanımı (%)	12,5
%100 B.N.'de nem geri kazanımı (%)	36
%100 B.N.'de Çap şişmesi (%)	20-22

103 J/kg/K gibi yüksek bir özgül ısı değerine sahip olan jüt lifi iyi bir termal yalıtım gösterir. Jütün tutuşma sıcaklığı yaklaşık 193°C'dir ve yüksek değildir ve jütün tutuşmaya yatkın olmasının nedenlerinden biri olabilir [37, 38, 55]. Tüm selülozik lifler gibi jüt de uzun süre güneş ışığına maruz kaldığında mukavemetini kaybeder. Jüt, pamuğa göre iki katından daha fazla oranda mukavemetini kaybeder. Jütün 2 kHz frekansındaki dielektrik sabiti kuru halde 1,8, %65 bağıl nemde (RH) 2,4 ve %100 RH'de 3,6'dır. Jüt lifi, nem geri kazanımındaki artışla birlikte artan

sürtünme gösterir. Lif yüzeyinden yağ ve mumun uzaklaştırılması da sürtünmeyi artırır. Ancak, parti yağı, jüt ipliği eğirme için gerçekleştirilen tarama ve çekme aşamalarında jüt lifleri ile metal pimler arasındaki sürtünmeyi azaltmaya yardımcı olur [37, 38, 44, 56].

Jüt lifi moleküler yapısında hem amorf hem de kristalin bölgeler içerir. Bu tür bir yapı jüt'e esneklik ve dayanıklılık dengesi sağlar. Kristalin bölgede, selüloz lifleri birbirine paralel bir düzende son derece düzenlidir ve hizalanmıştır, böylece yoğun bir yapı oluşturur. Öte yandan, selüloz molekülleri amorf bir yapıda düzensiz ve paralel değildir. Jüt lifinin kristalin bölgesi, düzenli hidrojen bağı yoluyla yüksek çekme mukavemetine ve dayanıklılığına katkıda bulunur. Jüt lifi %65-70 oranında selüloz içerdiğinden, doğası gereği çoğunlukla kristalindir. Jüt lifinin yaklaşık %30-35'i amorftur ve esas olarak lignin, hemiselüloz ve doğası gereği selülozik olmayan diğer bileşenlerden oluşur. Amorf bölge, suyun emilimini kolaylaştırır ve jüt'ü doğası gereği hidrofilik hale getirir [57].

2.3.4 Jüt Lifi Kimyasal Özellikleri

Jüt lifi temel olarak lignoselülozun bir bileşiğidir. Yandığında kalsiyum, magnezyum, alüminyum, demir vb.'den oluşan az miktarda kül bırakan organik moleküllerin bir kompleksidir ve bu küller ya serbest halde bulunur ya da selülozik zincirin işlevsel gruplarıyla bağlanmıştır. Tek bir lifi oluşturan bu tür bir demetteki nihai hücre sayısı minimum 8-9'dan maksimum 20-25'e kadar değişir [35, 37, 58, 59].

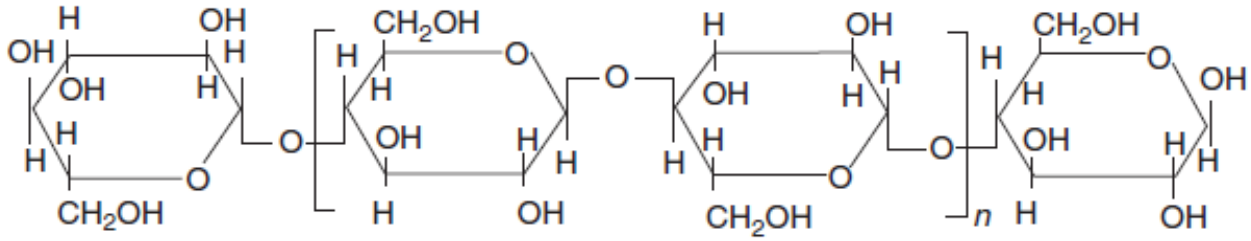
Tablo 2.6. Jüt lifinin kimyasal bileşimi [37]

Jüt Bileşenleri		
Alfaselüloz	60-63	58-59
Hemiselüloz	21-24	22-25
Lignin	12-13	13-14
Yağlar ve mumlar	0,4-1,0	0,4-0,9
Pektin	0,2-1,5	0,2-0,5
Proteinler/azotlu maddeler vb.	0,80-1,9	0,8-1,6
Kül	0,7-1,2	0,5-1,2

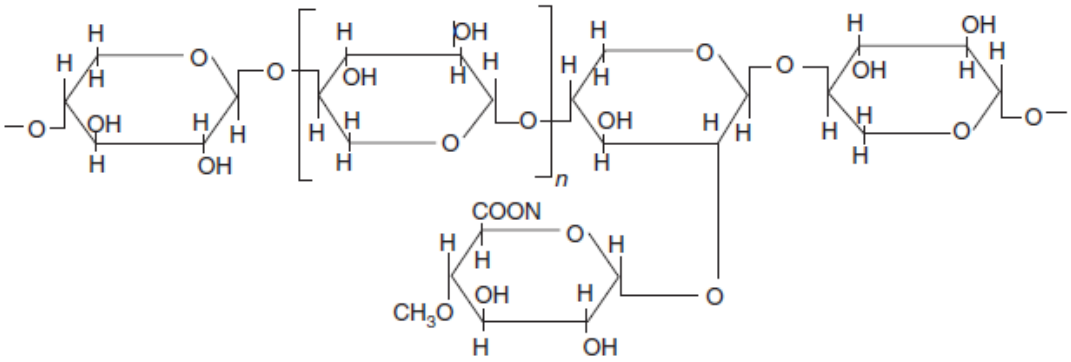
Kimyasal olarak jüt lifi esas olarak polisakkaritler ve ligninden oluşur. Lif ayrıca yağlar ve mumlar, pektin, azotlu, renklendirici ve inorganik maddeler gibi daha az miktarda kimyasal bileşik içerir. Polisakkaritler ayrıca karbonhidratlar (veya holoselüloz) olarak adlandırılır ve iki gruba

ayrılır: alfa selüloz ve hemiselüloz. Alfa selüloz jütün ana bileşenidir. Jüt lifinin iskelet yapısını oluşturur ve karbonhidrat bileşikleri ailesine aittir. %44,4 karbon, %6,2 hidrojen ve %49,4 oksijen içerir. Moleküler formülü $(C_6H_{10}O_6)n$ olarak ifade edilir.

Jütteki hemiselüloz, polisakkarit ve poliuronidlerin karmaşık bir karışımıdır. Çeşitli şeker birimlerinin nispeten düşük molekül ağırlıklı polisakkaritlerinden oluşur, yani pentosandaki ksilan, heksosandaki galaktan, araban, ramnosan, mannoz vb. Polisakkarit hemiselüloz çok sayıda hidroksil grubu ve ayrıca karboksil grubu içerir. Hemiselülozlar kısa zincirli doğrusal polimerlerdir. Hemiselülozun molekül ağırlığı 26.000'dir [37, 38, 60, 61].



Şekil 2.8. Alfaselülozun kimyasal yapısı [37]



Şekil 2.9. Hemiselülozun kimyasal yapısı [37]

Lignin, bitki gövdesinde yapısal destek malzemesi olarak işlev gören karmaşık, kristal olmayan bir polimerik bileşendir. Pektin, lif demetlerini bir arada tutar. Pektin, tekrarlayan hekzuronik asit birimlerinden oluşan büyük bir moleküldür. Bakteriler tarafından suda çözünür ürünlere dönüştürülürken ayrışır. Jüt liflerinin, tuzları halinde kalsiyum, potasyum, magnezyum, alüminyum, demir ve silika gibi farklı inorganik metallerin küçük miktarlarıyla ilişkili olduğu bulunmuştur. Lif ayrıca bazı pigmentler ve renklendirici maddeler içerir. Renklendirici maddeler, ksantofil, karoten ve tanenden oluşur [37, 38, 62, 63].

Jüt lifleri, hemiselülozların varlığı nedeniyle alkaliye karşı zayıf bir dirence sahiptir. Alkali işlem, jüt lif yapısından hemiselülozu çıkarır ve onu zayıflatır. Jüt lifleri asitler tarafından zayıflatılır ve yok edilir. Selüloz zincirleri, glikozit oksijen atomunun hidrolizi nedeniyle parçalanır (glikoz birimlerini birleştirerek bir selüloz zinciri oluşturur). İnorganik asitler, selüloz zincirlerini daha hızlı hidrolize ettikleri için organik asitlerden daha olumsuz bir jüt etkisine sahiptir. Jüt için kullanılan en yaygın ağartıcılar sodyum klorit ve hipoklorittir. Sodyum klorit/hipoklorit, jütten lignini çözer ve onu daha beyaz hale getirir çünkü lignin, jütün doğal sarıdan kırmızıya renginden sorumludur [35, 37, 38, 64].

2.3.5 Jüt Lifi Uygulamaları

Jüt, üretim yapan ülkelerde hayati bir sosyoekonomik rol oynar. Güneydoğu Asya'da yüz binlerce küçük çiftçi ailesi tarafından üretilir. Yaklaşık 12 milyon çiftçi ailesi bu ürüne bağımlıdır. Jütün, özellikle Bangladeş olmak üzere, üretim yapan ülkelerin ulusal ekonomisindeki önemi yeterince vurgulanamaz. Bangladeş'teki jüt sektörü gayri safi yurtiçi hasılanın yaklaşık % 4'ünü sağlar ve ülkenin ulusal ihracat gelirlerinin % 4,07'lik bir payına sahiptir [37].

Uluslararası Jüt Çalışma Grubu'na (IJSG, 2003) göre, geleneksel olarak jüt, çuval bezi, ip, sicim, halı altlık bezi vb. gibi ambalaj malzemeleri üretmek için kullanılmıştır. Çuval bezi, çuval bezinden daha hafiftir ve çanta, ambalaj kağıdı, duvar kaplaması, döşeme ve ev mobilyası için kullanılır. Çuval bezi, tarım ürünlerinin taşınmasında ambalaj malzemesi olarak kullanılır. Halı altlık bezi (CBC) iki tiptir. Birincil CBC, püsküllü bir yüzey sağlarken, ikincil CBC, kaplama için birincil alt tabakaya bağlanır. Jütün kullanımındaki en büyük atılım, otomobil, kağıt hamuru ve kağıt ile mobilya ve yatak endüstrilerinin jüt ve ilgili liflerini, "dokunmamış" ve kompozit teknolojileriyle "dokunmamış" ve diğer teknik tekstillerin yanı sıra kompozitler üretmek için kullanmaya başlamasıyla gerçekleşti. Bu nedenle, jüt tekstil lifi görünümünü değiştirmiş ve çok yönlü bir doğal lif olarak istikrarlı bir Fıgurede yeni bir kimliğe doğru ilerlemektedir. Masa örtüleri, yastık kılıfları, kanepe örtüleri, yatak örtüleri, perde örtüleri, masa örtüleri, seccadeler, peçeteler, önlükler, battaniyeler vb. jütten veya jütün diğer tekstil lifleriyle karışımından yapılır. Jüt, ev tekstili uygulamaları için pamukla karıştırılabilir. Döşemelik ve goblen olarak kullanılmak üzere çekici kumaşlar zaten geliştirildi ve piyasada.

Bu kumaşlar güçlü, dayanıklı, hem ışık hem de renk haslığı yüksek, çekici ve diğer liflerden üretilen çoğu kumaştan daha ucuzdur. Antistatik, UV koruyucu, karbondioksit nötr ve doğal olarak ayrışabilir, yani sağlık tehlikelerinden uzaktır [44, 65].

Jüt jeotekstilleri, yüzey toprağı erozyonunu kontrol etmek, zayıf topraklarda set inşa etmek ve yol kaldırımını ve yüzeyini ayırma, drenaj ve geçici güçlendirme için güçlendirmek için yararlı bulunmuştur. Bir filtre olarak nehir ve kanal kıyılarının kaplanması için kullanılabilir. Jeotekstillerin dayanıklılığı, uygun kimyasal işlem yardımıyla artırılır. Bozunmadan sonra toprağın bir parçası haline gelir ve bu nedenle içinden kirlenme olasılığı yoktur. Jeotekstillerin özellikleri ve uygulama alanlarının teknik değerlendirmesi makalede tartışılmıştır. Malzemelerin jeoteknik işlevleri daha düşük maliyetle gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir [66, 67].

Jüt lifi ayrıca yapı teknolojisinde de kullanılır. Termoset ve termoplastik polimer/reçine matrisli sert jüt lifi takviyeli kompozitler yapısal paneller, ayırma duvarları, sahte çatı, kapılar, pencereler, venation panjurları, mobilyalar vb. için kullanılır. Esnek jüt takviyeli kompozitler geçici çadırlar, tenteler, linolyum döşeme vb. için kullanılır. Otomobil kapı paneli ve diğer otomobil parçaları da jüt takviyeli kompozitlerden üretilir [65, 68].

Jüt liflerinden dokunmamış kumaşlar, dikiş bağlama, termal bağlama, iğne delme, yapıştırıcı bağlama, hidro-dolaşıklık vb. gibi farklı tekniklerle üretilebilir. Bunlar arasında iğne delmeli dokunmamış kumaş teknolojisi, jüt endüstrisine çok uygun ileri bir teknoloji olarak kabul edilir. Jüt dokunmamış kumaşlar üstün mekanik özelliklere ve işlevsel özelliklere sahiptir. Çeşitli uygulamalar için jütten yapılmış dokunmamış kumaşlar üzerinde çok sayıda araştırma ve geliştirme devam etmektedir ve ayrıca daha fazla iyileştirme kapsamı da bulunmaktadır. Jüt dokunmamış kumaşlar, üstün mekanik ve işlevsel özellikleri, kolay bulunabilirliği, kolay işlenebilirliği, çevresel uyumluluğu, geri dönüştürülebilirliği ve biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle günümüzde ev tekstili, jeotekstil, tarımsal tekstil, filtre ortamı, giyim, otomobil, endüstriyel tekstil vb. gibi teknik tekstilin hemen hemen her sektöründe kullanılmaktadır [69].

2.4 Kenevir

Kenevir, insanlık tarihinde bilinen en eski doğal liflerden biridir. Kenevir bitkisinin botanik adı Cannabis sativa L. olup Cannabaceae familyasına aittir. Bu bitki Orta Asya'ya özgüdür ve Avrupa'da da bulunur [28, 32, 70]. Kenevir lifleri üstün mukavemete ve daha düşük homojenlik düzeyine sahiptir. Bu lifin ortalama uzunluğu 17-24 mm'dir ve lifin çapı 10-17 μm'dir [32]. Bu bitki dallanma olmadan 2-4 m yüksekliğe kadar büyür ve hasat yaklaşık %15-25'tir [28]. Bu bitki daha hızlı büyüyor, 22 ton CO_2 emer ve yıllık hasadı 13.000 kg biyokömür/ha'dır [71].

2.4.1 Kenevir Lifinin Tarihçesi

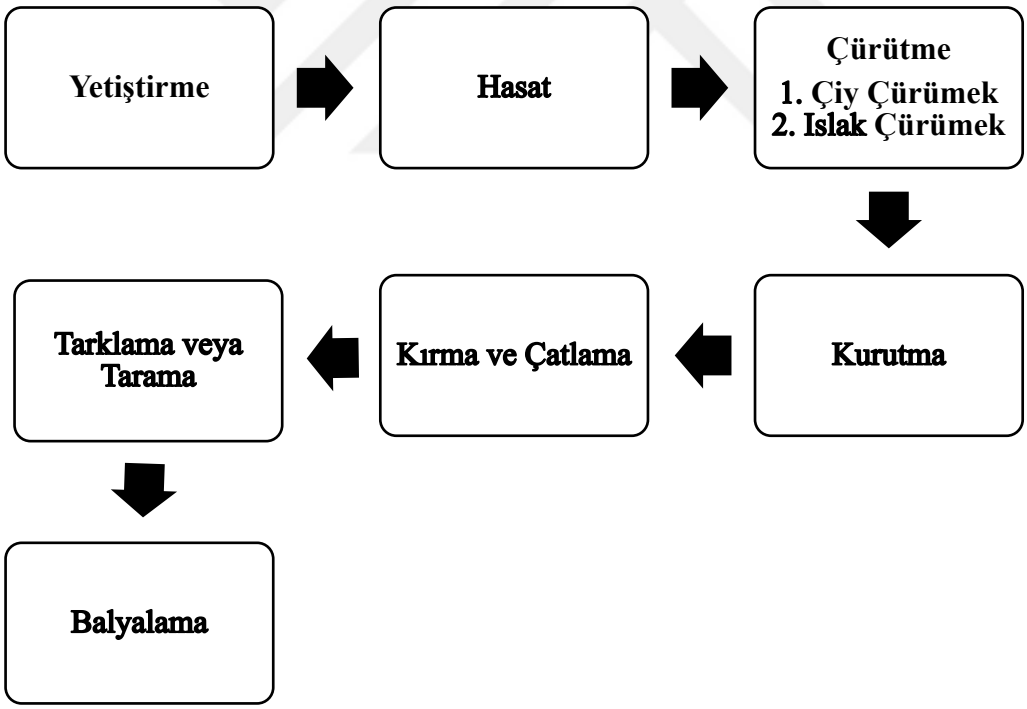
Kenevir lifi binlerce yıllık kapsamlı bir geçmişe sahiptir. Çok yönlü bir bitki olarak bilinir ve gıda, ilaç, lif ve endüstriyel uygulamalar gibi çeşitli uygulamalar için kullanılmıştır. Kenevirin

yetiştirilmesi tarih öncesi medeniyetlere kadar uzanmaktadır. Arkeolojik kanıtlar, kenevirin MÖ 8000'de Çin'de tekstil üretimi için kullanıldığını göstermektedir. Doğu ve Orta Asya'nın Kenevirin anavatanı olduğu ve türlerin tedariki için kabul edilmiş olabileceği düşünülmektedir. Cannabacea ailesinin Kratese dönemi boyunca geliştiği düşünülmektedir. Kenevir ve Humulus (genellikle şerbetçiotu olarak bilinir) Cannabaceae'de bulunur. H. lupulus çoğunlukla bir asma gibidir, oysa Kenevir düz bir bitkidir [72, 73]. Sporların ve polen tanelerinin incelenmesi ve araştırılması Palinoloji olarak kabul edilir ve eski zamanların ekosistemine dair içgörüler edinmeye yardımcı olur. Palinolojik araştırmalar, fosil kayıtlarının polen tanelerinin dışında evrim dönemine ilişkin yeterli veri içermemesi nedeniyle, Cannabis'in tarihi hakkında önemli algılar sağlamıştır[72, 74]. Palinolojik verilerde Cannabis'e dair ilk kanıt, Doğu Avrupa Ovası'ndan alınan çekirdek örneklerinden elde edilmiştir ve bu örnekler, Cannabis'in Avrasya'da 1.50.000 yıl kadar erken bir tarihte var olduğunu göstermektedir [72]. İnsanın Cannabis ile etkileşimi arkeolojik kayıtlarda kanıt bulunmadan önce başladı. Palinolojik veriler Cannabis'in Avrupa'da batıdan doğuya doğru kuzey ve güney taraflarındaki rotalar üzerinden yayıldığını gösteriyor. Cannabis'in en eski tohum bazlı kanıtı Japonya'daki alanlarda bulundu [72, 75]. Karbon-14 tarihleme yöntemleri kullanılarak, tarih öncesi çağlarda kenevirin tıbbi kullanımına dair kanıtlar MÖ 4000'e tarihlenmiştir. Erken Çin farmakopeleri de bitkinin terapötik ve psikolojik faydalarını belgelemektedir. Kenevir ayrıca Orta Doğu'da, muhtemelen İslam'ın yükselişinden 1000 yıl veya daha önce biliniyordu. Batı Avrupa'da, antik Yunan ve Roma imparatorluklarından Kenevir tasvirlerinin ilaç ve lif olarak kullanıldığı bulunmuştur [72]. Yeni Dünya'ya ilk kez 1500'lerde tanıtılan kenevir lifi 1530'larda Meksika'ya, 1545'te Şili'ye ve 1600'lerde Portekizliler tarafından Brezilya'ya getirildi. İspanya bir miktar kenevir yetiştirdi ancak hemen hemen her ülke Rusya'dan gelen kaynaklara bağımlı hale geldi. Meksika'da kenevir yetiştirme çabaları genel olarak başarısız olsa da, Şili'de ham lif ve tohum üretimine odaklanan küçük, yerel bir ekonomi gelişti ve bugün de devam ediyor [72].

2.4.2 Kenevir Lifinin Çıkarılması Süreci

Kenevir yıllık bir bitkidir ve yeterli güneş ışığı ve drenajlı toprak gerektirir. Kenevir, bitkiler tam çiçek açarken hasat edilir. Kenevir liflerinin çürütülmesi için iki farklı yöntem kullanılabilir. Çiy çürütme durumunda toplanan kenevir sapları tarlada tutulur ve çiğ ve yağmura maruz bırakılarak dışarı çıkarılır. Bu tamamen doğal bir işlemdir ve tamamlanması birkaç hafta sürebilir. Mikroorganizmalar çevrede enzimler üretir ve kenevirin liflerini odunsu çekirdeğe bağlayan pektinin parçalanmasına yardımcı olur.

Su çürütme yöntemi durumunda kenevir sapları tanklarda veya göletlerde su altında tutulur. Sudaki bakteriyel aktivite pektinin parçalanmasına yardımcı olur ve lifler çekirdekten ayrılır.
Çürütme işlemi tamamlandıktan sonra küf oluşumunu önlemek gerekir. Bu nedenle kenevir lifleri depolamaya uygun hale getirmek için kurutulur. Kurutma için açık hava veya optimize edilmiş kurutma makineleri kullanılabilir ancak aşırı kurutma liflerin kırılgan olmasına yol açabileceğinden ek özen gösterilmesi gerekir. Daha sonra kurutulmuş kenevir lifleri, lifleri odunsu özden gevşeten kırma işleminden geçer. Daha sonra kurutulmuş saplar, lifleri iç özden ayırmak ve dış tabakayı kırmak için ezilir. Çırpma, lifleri kazıyarak veya döverek özden ayırmak için yapılır. Bu işlem odunsu kısımları çıkarmak ve temiz, uzun lifler elde etmek için yapılır.
Lifleri hizalamak ve kirleri gidermek için kesme işlemi yapılır. Bu işlem, çeşitli uygulamalar için yüksek kaliteli ve tutarlı lifler üretmeye yardımcı olur. Sonunda, temiz kenevir lifleri balyalanır ve ek işleme için gönderilir.



Şekil 2.10. Kenevir lifinin elde edilme süreci

Zamklar (lignin, hemiselüloz, pektin, vb.) kenevir liflerini bir arada tutar. Yüksek kaliteli kenevir lifi yapmanın en basit ve önemli aşaması zamk gidermedir. Alkali kaynatma zamk giderme, çok fazla su gerektiren ve yüksek miktarda atık su üreten geleneksel bir zamk giderme yöntemidir [71]. Bir ton kenevirin işlenmesi sırasında yaklaşık 450 ton su ve 400 ton atık su üretilirken, kimyasal oksijen ihtiyacı 15.000 ila 25.000 mg/L arasındadır [76, 77].

Zhao ve arkadaşları, etanolamin (ETA) kullanarak yeni bir çevre dostu katı hal zamk giderme yöntemi geliştirdiler. %30'luk yüksek katı yüklemesiyle, ETA zamk giderme işlemi, %87,5'lik kayda değer bir lignin giderme oranı gösterdi ve bu da su kullanımında %33,3'lük bir azalmaya yol açtı. Dahası, ETA çözeltisi, arıtma gereksinimi olmadan beş döngüye kadar kolayca kullanılabilir. Kristalin selüloz yapısında hiçbir değişiklik olmadan, zamk giderilmiş kenevir lifleri, 3,75 cN/dtex'lik bir kopma mukavemeti ve 4,2 dtex'lik bir uygunluk seviyesi gibi iyi özellikler gösterdi. Ek olarak, atık suda ligninin ortadan kaldırılması, yan ürünün değerlendirilmesi için potansiyel şanslar sundu. Sonuç olarak, katı hal ETA zamk giderme işleminin üstün kalitede kenevir lifleri üretmesi için büyük bir potansiyel vardır [71]. Lyu ve diğerleri, kenevirden teknik liflerin verimli bir Fıgurede çıkarılması için yaptıkları çalışmada bir etanol-su karışımı geliştirdiler. Sistemde %30 etanol ve %70 su ile teknik lif mukavemeti aşırı zamk gidermeden korunabilir ve %11,1'lik bir iyileşme (34,2 cN/Tex) gösterebilir [78, 79].



Şekil 2.11. Kenevir sapları, sıyrılmış elyaf ve taranmış lifler

2.4.3 Kenevir Lifi Fiziksel Özellikleri

Kenevir lifi genellikle bast lifi olarak bilinir. Kenevir liflerinden üretilen tekstillere olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu artan talebin temel nedeni sürdürülebilirliktir. Üstün tüketici özellikleri, kenevir bazlı tekstilleri son yıllarda dikkat çekici hale getirmiştir. Mukavemet ve modül, artan bulunabilirlik, maliyet etkinliği vb. gibi benzersiz özellikleri tercih edilmesini artırmıştır [80, 81, 82]. Kenevir lifi uzun bir lif (5-50 mm) olarak kabul edilir ancak bu bitki bitkinin yüksekliğine

bağlı olarak 2 metreye kadar çıkabilir. Kenevir lifinin ortalama uzunluğu 25 mm, ortalama genişliği 25 mm ve en boy oranı 1000'dir.

Doğal lifler, organik bileşenlerin heterojen karışımlarından oluşur ve yüksek sıcaklıklar çeşitli kimyasal ve fiziksel değişikliklere neden olabilir. Mikrofibril açısının rengi, ağırlığı, kristalliği, gücü ve yönelimi, hepsi fiziksel farklılıklarla ilgilidir [83, 84]. Kenevir lifleri söz konusu olduğunda, liflerin 160°C-260°C'de ısıtılması sırasında ligninin yumuşaması meydana gelir ve bu da lif demetlerinin ayrı lif tellerine açılmasını sağlar [84].

Erkek ve dişi Kenevir bitkileri vardır [85, 86]. Erkek kenevir bitkileri tomurcuk vermez, ancak dişi bitkiler verir ve bu iki bitki arasındaki temel fark budur. Kullanılabilir kenevir (tomurcuklar) dişi bitkiler tarafından üretilir. Kenevir bitkileri ayrıca yaygın olarak bilinen narkotik element marihuana için popüler olan çok az miktarda tetrahidrokanabinol (THC) salgılar. Kenevirde bulunan Tetrahidrokanabinol (THC) miktarı %0,2'den azdır, bu nedenle diğer C. sativa türleri gibi uyuşturucu olarak kullanılamaz [85, 87]. Dişi kenevir bitkilerinde büyük miktarda tetrahidrokanabinol (THC) bulunurken, erkek kenevir bitkilerinde çok az miktarda THC bulunur [85].



Şekil 2.12. Kenevir bitkileri [85]

Sengloung ve diğerleri, hava akışı yöntemi veya OFDA yöntemi kullanarak inceliği incelemek için geleneksel Tayland kenevir liflerini kullandılar ve kenevir bitkisinin sapının üst kısmının en iyi kalitede kenevir lifleri sağladığını gördüler. Erkek ve dişi bitkiler aynı özelliklerin çoğunu paylaşıyordu; ancak, erkek bitkilerin ADL yüzdesi ile belirlenen lignin içeriği daha düşüktü ve

vejetatiften erken üreme aşamasına büyüdükçe artmadı. Lif uzunluğu, mukavemeti, inceliği ve lignin içeriği, lif büyüme aşaması ve bitkilerin olgunluğundan etkileniyordu [88]. Kenevir liflerinin kalitesi tarımsal işleme bağlıdır ve retting türü de bu konuda etkilidir [89].

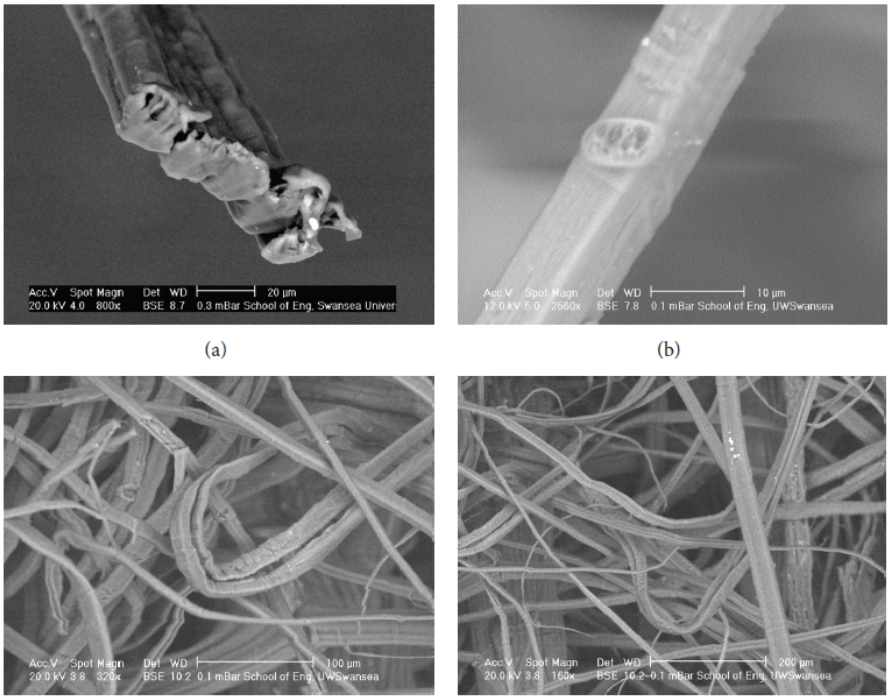
Tablo 2.7. Kenevir liflerinin fiziksel özellikleri [87]

Fiziksel özellikler	**Değer**
Yoğunluk (g/cm^3)	1,2
Çekme dayanımı (kN/mm^2)	270-900
Kopma uzaması (%)	1-3,5
Maksimum uzama (mm)	5-7
Çekme modülü (GPa)	23,5-90
Spesifik modül (yaklaşık)	40
Young modülü (GPa)	4,8
Lif uzunluğu (mm)	50-500
Mikrofibriler açı (derece)	2-6,2
Nem emilimi (%)	10-14

Tablo 2.8. Kenevir lifinin çekme özellikleri [84]

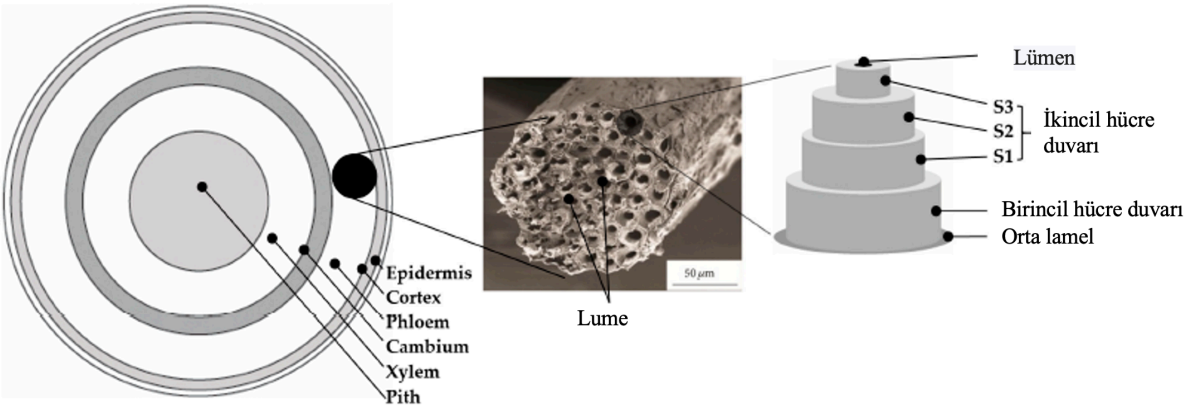
Lif Kesiti	**Mukavemet (MPa)**	**Modül (GPa)**	**Kopma Uzaması (%)**
Dairesel	277 (191)	9,5 (5,7)	2,3 (0,8)
Çokgen	244 (196)	8,6 (5,9)	2,3 (0,8)

Diğer doğal lifler gibi kenevir lifleri de nem içerir, çünkü temel rollerinden biri besinleri ve nemi bitkinin farklı bölgelerine aktarmaktır.



Şekil 2.13. Bir kenevir lif demetinin (a), (b) ve gevşek liflerin (c), (d) SEM mikrografileri [84]

Kenevir lifi en sert ve en güçlü doğal liflerden biridir ve kompozit ve takviye malzemeleri olarak kullanılmak üzere büyük bir potansiyele sahiptir. Kenevir bitkisinin bastında bulunan kenevir lifleri, cam liflerine eşdeğer belirli bir sertlik seviyesine sahiptir [90, 91]. Kenevir lifi, yan yana sık lümenlere sahip bir kompozit malzeme olarak görülen çok hücreli bir yapıya sahiptir [91, 34, 92, 93]. Fıgure 2.14 kenevir lifinin tipik bir lif yapısını gösterilmektedir. Kenevir lifi çok katmanlı bir hücre duvarına sahiptir ve sözde birincil hücre duvarı (hücrelerin gelişimi sırasında oluşan ilk katman) ve üç katmandan (S1-3) oluşan ikinci duvardan (S) oluşur. Orta lamelde ana lifler lignin ile bağlanmıştır (%90 oranında lignin mevcuttur). Buna karşılık, S2 katmanı yaklaşık %50 olan maksimum selüloz konsantrasyonuna sahiptir. En kalın katman S2'dir ve daha yüksek selüloz konsantrasyonları sebeple liflerin karakteristiklerini inceliyor [91, 34, 92].



(a) (b) (c)

Şekil 2.14. Kenevir lifinin yapısı: (a) enine kenevir gövde kesiti (b) kenevir lif demetinin enine kesit morfolojisi ve (c) kenevir lifinin şematik tasviri [91, 34, 94]

Tablo 2.9. Cam ile kenevir liflerinin (demetlerinin) fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı değerleri [34]

Lif türü	**Yoğunluk (g/cm3)**	**Nem emilimi (%)**	**Kopma uzaması (%)**	**Çekme dayanımı (MPa)**	**Young modülü (GPa)**	**Spesifik modül (E/ρ) (GPa)**
Kenevir	1,4	8	1,6	690	30–70	21–50
Cam	2,5	-	2,5	2000–3500	70,0	28

Yukarıdaki tablo kenevir ve cam liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılmasını temsil eder. Sonuç, cam liflerinin kenevir lifına kıyasla üstün özelliklere sahip olduğunu ve cam lifının nihai mukavemetinin de daha yüksek olduğunu göstermektedir. Kenevir liflerinin yoğunluğu ve özgül modülü birleştirildiğinde, modülün ortalama değeri 35,5 GPa olarak bulunurken, 70 GPa'lık bir modül kullanılarak hesaplanan cam liflerinin özgül modülü 28 GPa olarak bulunur. Bu, belirli koşullarda kenevir liflerinin mekanik özelliklerinin cam liflerinin özelliklerine ilerlediğini gösterir. Kenevir lifının yoğunluğu cam lifından daha düşük olduğundan, polimerik matrise kenevir lif takviyesi eklemek kompozitin genel yoğunluğunu düşürür. Tüm bu özellikler, kenevir lifinin sürdürülebilir bir takviye malzemesi olarak önemli hale getirir [91, 34]. Teixeira ve diğerleri, sıcaklığın kenevir liflerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini inceledi. Kenevir liflerinin çekme mukavemetinin 24 saat boyunca 100°C'ye maruz kaldığında arttığı

(yaklaşık %18) ancak Young modülünün azaldığı görüldü. 24 saat boyunca 200°C'de, kenevir lifleri mekanik sertlikte bir azalma ile kırılgan ve dayanıksız hale geldi [91, 95].

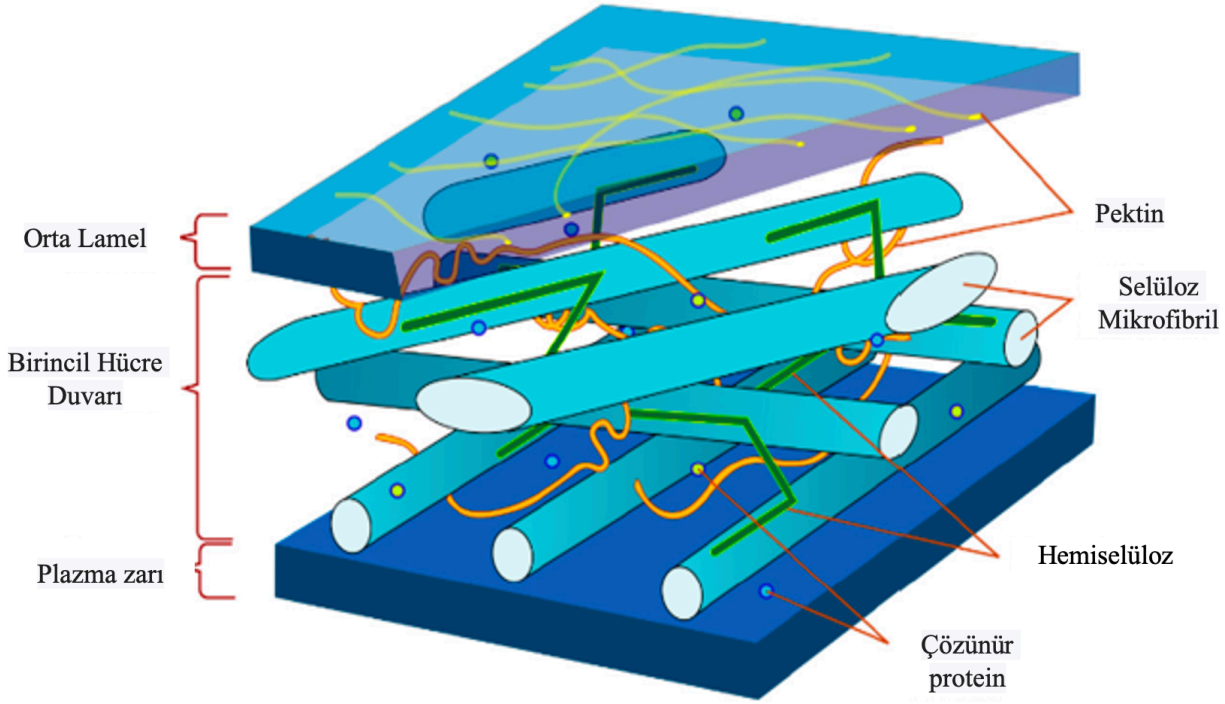
Shahzad ve diğerleri kenevir liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini değerlendirdi. Kenevirin yaklaşık 150°C'lik bir termal bozunmaya sahip olduğunu, pektin ve hemiselülozun ayrışmasının yaklaşık 260°C'de başladığını ve selülozun ayrışmasının 360°C'de başladığını gözlemledi. Ayrıca kenevir liflerinin enine kesitte çokgen bir şekle sahip olduğu ve tek bir kenevir lifinin (ortalama lif genişliği 67 ± 26 μm) çekme mukavemetinin 277 ± 191 MPa olduğu, ayrıca çekme modülünün ve kopma gerilmesinin sırasıyla 9,5 ± 5,8 GPa ve 2,3 ± %0,8 olduğu bulundu [91, 96].

Jüt liflerine benzer Şekilde, kenevir lifi de benzersiz fiziksel, kimyasal, mekanik ve termal özelliklerine katkıda bulunan hem kristalin hem de amorf bölgeler gösterir. Kenevir lifinin kristalin yapısı çoğunlukla selüloz zincirlerinden oluşur. Bu düzenlemeler yüksek çekme mukavemeti, sertlik ve direnç sağlar. Kenevirdeki kristalinite %40-60 arasında değişir. Kenevirin mukavemet ve sertliğin önemli olduğu biyokompozit uygulamalarda kullanılmasına yardımcı olur. Daha az düzenli selüloz, hemiselüloz ve lignin, kimyasal işleme karşı daha hassas olan kenevir lifinin amorf bölgelerini oluşturur. Amorf bölge esneklik sağlar ve lifin nemi emmesine izin vererek onu çeşitli tekstil uygulamaları için uygun hale getirir. Ayrıca daha iyi boya alımı ve kimyasal aktivite sağlar. Kristalin ve amorf bölgeler arasında uygun bir denge, kenevirin mekanik performansını etkiler. Daha yüksek kristalin-amorf oranı artan mukavemet ancak daha düşük esneklik ile sonuçlanır [97, 98, 99].

2.4.4 Kenevir Lifinin Kimyasal Özellikleri

Kenevir lifi, bu lif grubunun eşdeğer kimyasal bileşimi nedeniyle diğer bast liflerine benzer özellikler gösteren bir lignoselülozik hammaddedir [66]. Bu lif yaklaşık %70-74 selüloz, %15-20 hemiselüloz, %3,5-5,7 lignin, %0,8 pektin ve %1,2-6,2 mumdan oluşur [91, 34].

Şekil 2.15, lifin yapısındaki ana bileşenlerin dağılımını göstermektedir.

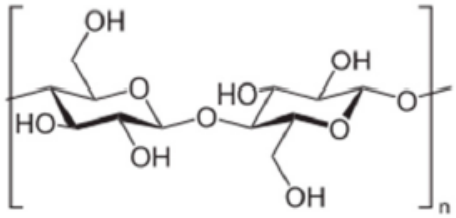


Şekil 2.15. Kenevir hücre duvarı kesitinin şematik görüntüsü; yeşil hemiselüloz [94, 100]

Tablo 2.10. Kenevir liflerinin kimyasal bileşimi [94]

Selüloz (%)	67-75
Hemiselüloz (%)	16-18
Pektin (%)	0,8
Lignin (%)	3,0-5,0
Yağ/Mum (%)	0,7

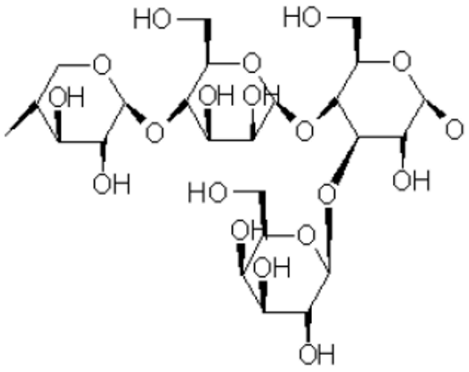
Lifin türüne, çeşidine ve çıkarma tekniğine bağlı olarak selüloz, bast liflerinde bulunan makromoleküler bileşenlerin çoğunluğunu oluşturur ve kuru kütlenin yaklaşık %40 ila %80'i arasında değişen seviyelerde bulunur. Selüloz bir polisakkarit olarak bilinir ve yüksek kimyasal reaktivitesi, kimyasal modifikasyon sırasında çapraz bağlanma eğiliminin yüksek olmasının nedeni olan üç hidroksil grubu -OH nedeniyle elde edilir.



Şekil 2.16. Selülozun yapısal formülü [94]

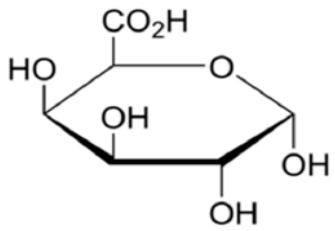
Selüloz doğası gereği hidrofiliktir ve temas açısı 20 ila 30 derece arasındadır. Suda ve çoğu organik çözücüde çözünmez. Kenevir lifinin özelliklerinde önemli bir rol oynar ve lif boyanabilirliğini, emiciliğini, lif işleme yeteneğini ve kimyasal modifikasyonları belirler [94].

Hemiselüloz, selüloza ek olarak hemen hemen tüm karasal bitki hücre duvarlarında bulunan çeşitli heteropolimerlerden veya matris polisakkaritlerden biridir. Bunların örnekleri arasında arabinoksilanlar bulunur.



Şekil 2.17. Hemiselüloz [94]

Selüloz mikrofibril çapraz bağlarıyla birbirine bağlanan selülozdan oluşan hemiselülozlar, bitki biyokütlesinin yaklaşık %20'sini oluşturur [58]. Bitki hücresinin orta lamelinde hemiselüloz hakimdir ve bu lamel, bitki hücresinin dış katmanlarında yer alan selüloza orta yol desteği sağlar. Pektin çoğunlukla birincil hücre duvarlarında bulunur ve karmaşık bir polisakkarit seti olarak bilinir. Pektinin çekirdek bileşeni galakturonik asittir. Orta lamelin önemli bir unsurudur ve birincil hücre duvarlarında da bulunur. Pektin hücreleri birbirine bağlar [67]. Pektin, mikrofibrilleri birbirine bağlayarak bast liflerinde teknik lifler olarak bilinen kompleksler oluşturur. Pektin, lifleri ayırmayı ve tekstilleri daha fazla işlemeyi zorlaştırdığı için teknik liflerde istenmez. Kenevir biyokütlesinin pektin içeriği, saman retting işleminin bir sonucu olarak azalır [94].

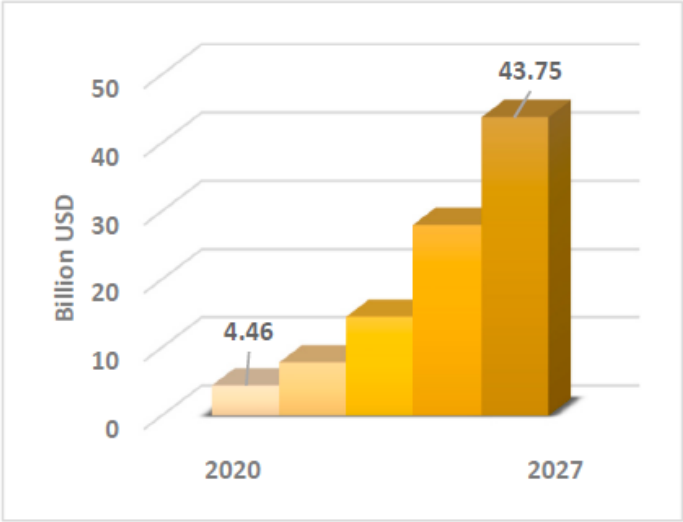


Şekil 2.18. Pektinin ana bileşeni olan galakturonik asidin yapısal formülü [94]

Lignin, fenolik öncülleri çapraz bağlayarak oluşturulan büyük bir organik polimer grubundan oluşur. Ligninin ana rolü, bitki dokusunun yapısını desteklemektir: ksilem trakeidleri, damar elemanları ve sklereid hücreleri [69]. Sulu besinlerin ve suyun bitki sapı boyunca taşınmasını sağlar. Lignin, suyun ve sulu besinlerin bitki sapı boyunca taşınmasını sağlar. Bast liflerinde ligninin varlığı, lifin suyu emme kapasitesini azaltır. Kenevirin işlenmesi zor olabilir çünkü lignin lifi sertleştirir [94, 101, 102].

2.4.5 Kenevir Lifinin Uygulamaları

Şekil 2.19'de gösterilen kenevir lifi pazarı 2019 yılında 4,46 milyar ABD doları olarak değerlendirildi, 2020'den 2027'ye %33'lük bir bileşik yıllık büyüme oranıyla 2027 yılına kadar 43,75 milyar ABD dolarına ulaşması öngörülmektedir [94, 103].



Şekil 2.19. 2027 yılına kadar küresel kenevir lifi pazarının tahmini büyüklüğü [103]

Bu ikilem, gıda, içecek ve yağ tohumları gibi kenevir bazlı ürünlere ve ayrıca öncelikle inşaat ve otomotiv endüstrileri için kompozit malzemeler yapmak gibi teknik amaçlarla kullanılan liflere,

ayrıca özellikle Asya Pasifik gibi gelişmekte olan ülkelerde tekstil endüstrisine yönelik artan tüketici talebinden kaynaklanmaktadır [94, 103]. Kenevirden yapılan geleneksel tekstiller giysiler için çok kaba idi, ancak geliştirilmiş yöntemler daha yumuşak ve daha hafif dokuların oluşmasını ve dolayısıyla daha iyi bir faydayı mümkün kılıyor. Kenevir, özellikle perdeler için mükemmel döşemelik kumaş yapmak için kullanılır. Ayrıca %100 kenevir kumaş formunda veya yün, keten, pamuk veya sentetiklerle karıştırılmış olarak kot pantolon ve spor giyim dahil olmak üzere giysilerde 'alt ağırlıklar' olarak kullanılır [104]. Çinli bilim insanları kenevir çekirdeğinden viskon lif (hem lif hem de filament iplik) üretmeyi başardılar (shive) [104].

Endüstriyel olan kenevir, kompozitler, tekstil, otomotiv, lif takviyeli beton ve sunta gibi bina inşaatı gibi farklı endüstrilerde çok sayıda uygulamaya sahiptir [91, 105, 106, 107, 108]. Tran ve diğerleri bir deney gerçekleştirdi ve kenevir betonunun günlük iç mekan bağıl nem değişimlerini azaltabileceğini ve hücresel betona kıyasla enerji tüketimini %45 oranında azaltabileceğini gösterdi [91, 109]. Kenevir lifleri ses emilimi ve ses yalıtımı için kullanılabilir [91, 110]. Kenevir lifleri, sentetik liflere kıyasla üstün titreşim sönümleme kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, kenevir liflerinin müzik aletlerinde, spor malzemelerinde ve fren balatalarındaki takviyelerde olası uygulamaları vardır [95]. Otomotiv endüstrisi ayrıca kenevir lifiyle güçlendirilmiş kompozitler kullanır. Kenevirden yapılanlar gibi doğal lifle güçlendirilmiş kompozitler, aynı ağırlık için %25 ila %30 daha güçlü olabildikleri ve darbede kırılgan olmayan kırılma belirtileri gösterebildikleri için cam lifıyla güçlendirilmiş kompozitler için iyi bir alternatif olabilir; bu, plastik iç araba parçaları için hayati bir ihtiyaçtır [91, 111]. Doğal liflerle güçlendirilmiş polimerik kompozitler, motor kapakları, hava filtreleri, gösterge panelleri, kapı panelleri, koltuk arkalıkları ve güneşlikler için giderek artan çeşitlilikte otomobil modellerinde kullanılıyor. Bu kullanımlar ayrıca dış zemin altı paspasları gibi daha yapısal parçalara da yayılıyor [91, 112, 113].

2.5 Jüt ve Kenevir Lifi Arasındaki Karşılaştırma

Hem jüt hem de kenevir lifleri, dayanıklılık, uzunluk, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik gibi benzersiz özellikleri nedeniyle binlerce yıldır kullanılmaktadır. Hem jüt hem de kenevir lifleri bitkilerden elde edilse de, özellikleri, karakteristikleri, yetiştirilmeleri ve kullanımları açısından farklılık gösterirler.

Jüt lifleri, daha uzun olan kenevir liflerinden daha kaba ve daha serttir. Jüt lifleri genellikle altın rengi ila kahverengidir, kenevir lifleri ise krem rengi ila açık kahverengidir. Jüt bitkileri genellikle kenevir bitkilerinden daha kısadır. Jüt 3 metreye kadar büyüyebilirken, kenevir 4 metreye kadar

büyüyebilir. Jüt yetiştiriciliği için sıcak ve nemli bir iklim tercih edilir, ancak kenevir yetiştiriciliği için ılıman bir iklim ve iyi yağış uygundur. Kenevir lifleri, jüt liflerine kıyasla yüksek çekme mukavemetine ve esnekliğe sahiptir, çünkü kenevir koordineli bir hücresel düzenlemeye sahip çok hücreli bir yapıya sahiptir. Ancak, jüt lifindeki hücresel düzenleme daha rastgeledir, bu da çekme mukavemetini azaltır, ancak esnekliği artırır. Jütün yaklaşık %61'lik bir kristallik indeksi vardır, bu da sertliği ve elastikiyeti üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir ve kenevirin %71'lik bir kristallik indeksi vardır, bu da yüksek selüloz hizalanmasını ve üstün mekanik mukavemeti gösterir.

Kenevir lifleri 180ºC'lik daha yüksek bir termal bozunma noktasına sahipken, jütün termal bozunması 170ºC'dir. Kenevir lifleri 14-18 ay içinde ayrışabilir ve parçalanırken toprağın besinlerini artırabilir. Kenevirin yetiştirilmesi, toprak sağlığını iyileştiren pestisit kullanımını azaltır ve yüksek oranda CO_2 emilimine sahiptir. Jüt lifleri doğası gereği sürdürülebilirdir. Jeotekstil ve tarımsal uygulamalarda kullanım için mükemmeldir. Jüt lifi doğası gereği çevre dostu olmasına rağmen, özellikle kiralama işlemi için işleme için daha fazla su gerektirir.

Jüt lifleri doğası gereği daha gözeneklidir ve oldukça emicidir. Sonuç olarak, kenevirden daha kolay boyanırlar. Öte yandan, jüt lifi, lifleri zayıflatan kenevir liflerine kıyasla yoğun ağartmaya ihtiyaç duyar.

Tablo 2.11. Tablo Jüt ve Kenevir Lifi özellikleri

Özellik	Jüt Lifi	Kenevir Lifi
Ortalama Lif Uzunluğu	1,5-4 mm (kesik); 2.5-3 m (ham sap)	4-55 mm (kesik); 1,8-4,5 m (ham sap)
Çap	17-20 µm	16- 50 µm
Mukavemet (Kuru)	3,5-5,0 g/den	5,5-6,0 g/den
Kopma Uzaması	%1,5-1,8	%1,6-%2,0
Nem Alma Oranı	~%13,75	~%12
Yoğunluk	1,48 g/cm³	1,48 g/cm³
Kristallenme İndeksi (%)	~%70	%70- %80
Selüloz	%60-%63	%67- %75
Hemicellüloz	%21- %24	%16-%18
Lignin	%12-%13	%3-%5
Pektin	%0,2-%1,5	%0,8
Mum	%0,4-%1,0	%0,7

2.6 Liflerin Genel Boyama Prosedürü

Boyama, tekstil üretimindeki en önemli aşamalardan biridir. Liflere, ipliklere ve kumaşlara canlı renkler ve sofistike tasarımlar kazandıran bu endüstrinin yaratıcı paleti olarak hizmet eder. Bu süreç, düzgün boya emilimi, daha iyi renk haslığı ve beklenen çekici giysiyi sağlamak için bir dizi iyi koordine edilmiş aşama içerir.

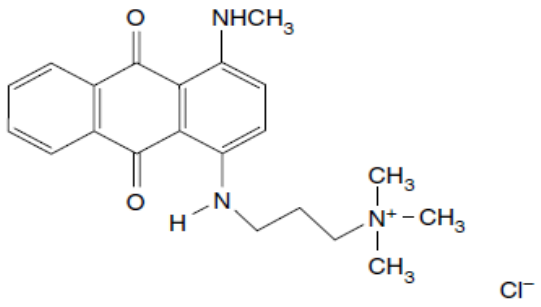
Küresel tekstil tüketimi selüloz lif için en yüksektir. Sonuç olarak, selüloz lif boyaları pazar paylarının çoğunluğuna sahiptir. Sanayi öncesi zamanlarda, giysiler bitki bazlı boyalar veya yaygın olarak bilinen adıyla doğal boyalar kullanılarak boyanırdı. Günümüzde çoğunlukla sentetik boyalar kullanılmaktadır. Boyamanın temel amacı, beklenen renk haslığı özelliklerine sahip istenen tonda tekstillerin ekonomik üretimini yapmaktır [114]. Yükselen pamukta görüldüğü gibi, standartlaştırılmış selüloz liflerinin ne kadar olabileceği konusunda bir sınır vardır. Giyim uygulamaları ve modadaki son gelişmeler, terbiye tekniklerinde devam eden değişiklikler ve düzenlemeler gerektirir. Boyama, genellikle renk haslığı özelliklerine uygun olarak moda esnekliğini korumak için üretim sürecinin sonunda yapılır. Boyamadan önce, tekstil giysilerinin normalde ön işleme tabi tutulması gerekir. Örneğin, pektinler pamuktan kaynatılarak ve ağartılarak çıkarılırken, boyutlandırma ve eğirme yağı merserize edilerek çıkarılır [115].

Boyama işleminde üç farklı aşama vardır. Bunlar ön işlem, boyama ve apredir. Ön işlemde, boyama öncesinde istenmeyen safsızlıklar liflerden uzaklaştırılır ve bu işlem deterjanlar veya sulu alkali kullanılarak yapılır. Doğal lekelerini çıkarmak için birçok giysi genellikle H_2O_2 veya Cl_2 içeren kimyasallarla ağartılır. Giysi boyasız satılacaksa optik parlatıcılar kullanılır [115, 116, 117]. Bir boyanın tekstil substratına sulu işlenmesine boyama denir ve esas olarak sentetik organik boyalar ve sıklıkla yüksek basınç ve sıcaklıkta kullanılır. Bu aşamada, asit, alkali, yüzey aktif madde, taşıyıcı, elektrolit, tesviye maddesi, taşıyıcı, şelatlama maddesi, destekleyici madde, emülsifiye edici yağ ve yumuşatıcı gibi boya maddeleri ve kimyasal yardımcı maddeler, beklenen renk haslığı seviyeleriyle düzgün bir renk derinliği elde etmek için kumaş üzerinde kullanılır [116, 117, 118]. Terbiye işlemi, son işlem aşamasında boyalı kumaşa kimyasalların eklenmesini içerir. Terbiye aşaması son işlemlerinin yaygın örnekleri arasında yumuşatma, su iticilik, antistatik koruma, antimikrobiyal/mantar etkisi, yangın geciktirici, ultraviyole koruması, kir direnci, kendi kendini temizleme vb. bulunur [119].

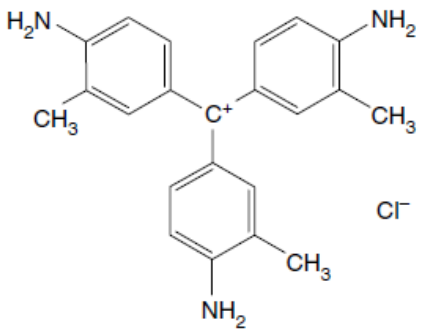
2.6.1 Selüloz Liflerin Katyonik Boyanması

Katyonik (bazik) boyalar esas olarak akrilik lifleri boyamak için kullanılır. Yapısal olarak, katyonik boyalar organik bazlardır ve serbest veya değiştirilmiş amino gruplarını korurlar, örn. –

NH_2, $–N(CH_3)_2$, $–N(C_2H_5)_2$, vb. [89]. Sudaki parçalar ve çözeltide renkli katyonlar üretilir. Bu katyonlar, negatif yüklü yüzeylere elektrostatik olarak çekilirler. Katyonik ve bazik boyalar, triarilmetan, ksanten ve akridin boyasında görüldüğü gibi, boya katyonu üzerinde delokalize bir yük olarak dağılmış pozitif yüke sahip olabilir veya bir amonyum grubunda lokalize olabilir (bu boyaların yüksek renklendirme gücü vardır). Bu boyaların kaynama noktasında zayıf göç özellikleri vardır, bu nedenle genellikle geciktiricilerle uygulanırlar. Bu zayıf göç, boyanın substrata karşı yüksek substantivitesi ve daha yüksek sıcaklıklarda difüzyonun hızlı artışı nedeniyledir. Bazik boyalar protein ve ikincil selüloz asetat lifleri için kullanılabilir, ancak hidrofilik lifler üzerinde zayıf ışık haslığına sahiptir [120, 121, 122, 123, 124, 125].



Şekil 2.20. C.I. Basic Blue 22 [121]



Şekil 2.21. C.I. Basic Violet 2 [121]

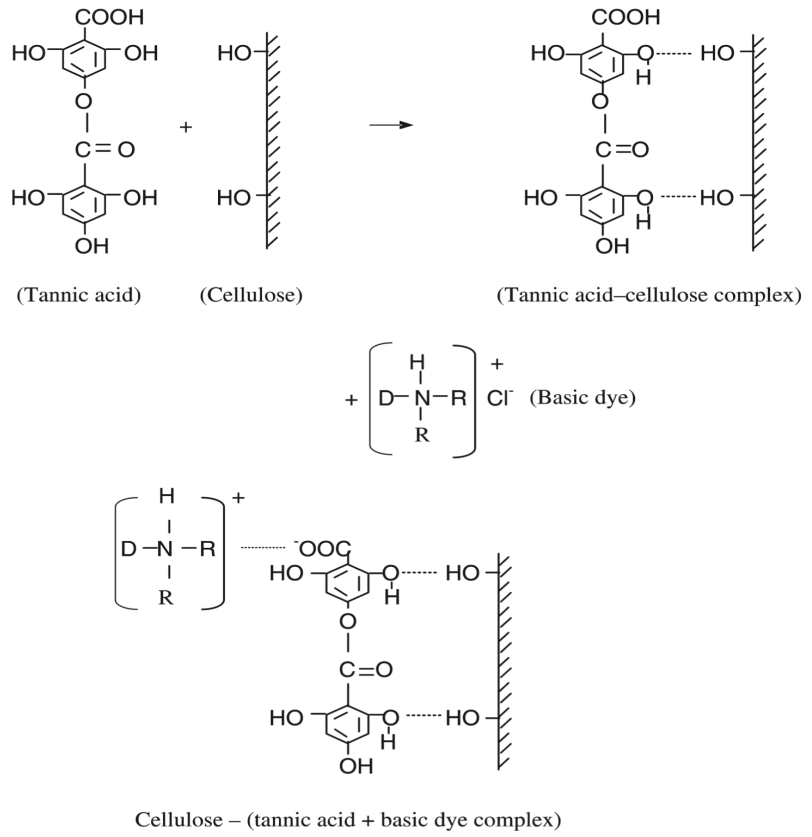
Katyonik boyaların sistematik bir adlandırması yoktur ve çoğu Auromine O, Bismark Brown, Methylene Blue, Malachite Green, vb. gibi geleneksel isimler altında ticari olarak satılmaktadır. Öte yandan, özellikle poliakrilonitril boyama için tasarlanmış en son boyalar Maxilon (Gy), Astrazon (BFy), Symacryl (ICI), Basacryl (BASF), vb. ticari isimler altında perakende olarak satılmaktadır [120, 121].

Katyonik boyalar ucuzdur ve metillenmiş ispirto ve alkolde çözünürler ancak suda çözünmeleri zordur. Depolama sırasında çözünmesi zor yapışkan bir kütle oluştururlar. Sıcak suda az miktarda

CH_3COOH ve metillenmiş ispirto ile soğuk suda daha iyi çözünebilirler. Boyalar alkaliye karşı oldukça hassastır ve katyonik boyalar salarak tepki verirler [120, 126].

Yumuşak su kullanımı, katyonik boyama sırasında en önemli gerekliliklerden biridir çünkü suda kalsiyum veya magnezyum bikarbonatlar, metal hidroksitler veya karbonatların bulunması renksiz boyanın çökelmesine neden olur. Boyamadan önce banyo suyuna CH_3COOH uygulanmasıyla alkalinite ve sertlik önemli ölçüde azalır. Katyonik boya selüloza karşı bir afinite göstermez ancak malzeme doğrudan boya veya tannik asit gibi diğer anonik mordanlarla boyanırsa uygulanabilir. Doğrudan boya ile boyanmış pamuk üstün gölge veya renk haslığına sahip değildir. Bu dezavantajlar, üzerine bazik boya eklenerek giderilebilir. Tüm katyonik boyalar, tannik asitle bağlanarak çözünmeyen bir bileşik oluşturma yeteneğine sahiptir. Bir boyaya sodyum asetat ve tannik asit çözeltisi eklendiğinde bir çökelti oluşur. Yıkama haslığını artırmak için selüloz mordanlamadan sonra boyanırken, protein lifleri önce bazik boyalarla boyanır ve ardından tannik asitle geri tabaklama yapılır [89].

Bazik boyaların selüloza karşı hiçbir yakınlığı olmadığından, tannik asit, selüloz liflerini boyamada bir mordan görevi görerek selülozla bir bağ oluştururken -OH grubunu bazik boya ile reaksiyona sokar [120, 127].



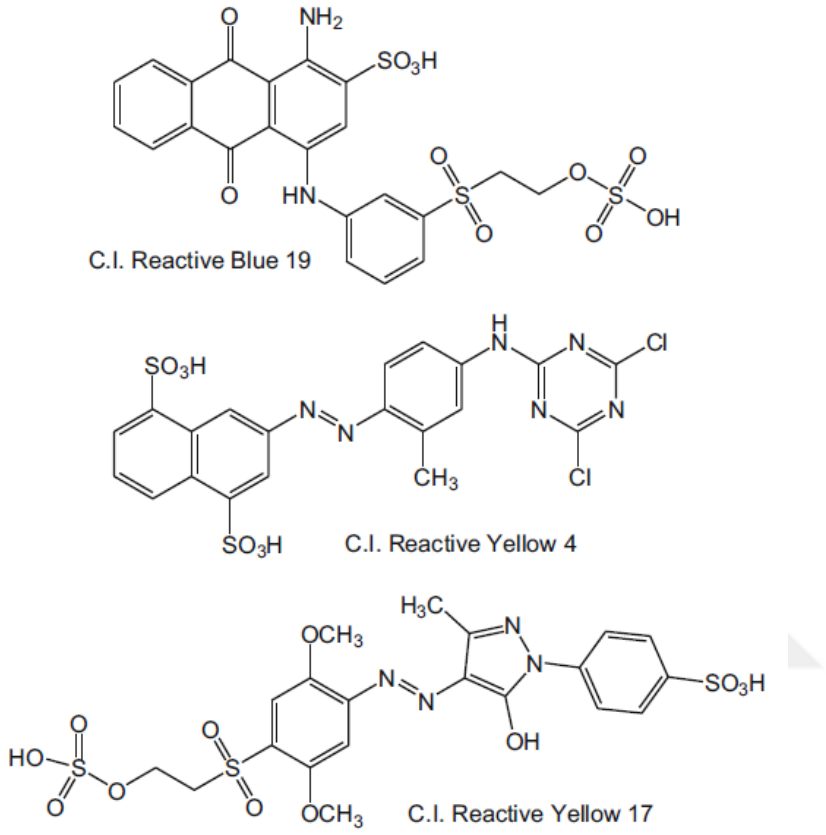
Şekil 2.22. Mordanlanmış selüloz üzerinde bazik boyanın fiksasyon dizisi [120, 127]

Selüloz üzerine bazik boya uygulaması üç adımda yapılır. Bunlar (i) pamuğun tannik asitle mordanlanması, (ii) tartar emetikle fiksasyonu ve (iii) bazik boyayla boyanmasıdır [120]. Bhuiyan ve arkadaşları, jüt liflerini boyamak için bazik ve reaktif boyaların boyama performansını araştırdı. Jüt kumaşlar, reaktif ve bazik boyaların farklı tonları kullanılarak boyandı ve boyaların performansı değerlendirildi. Bazik boya ile boyanmış jüt lifinin, reaktif boyadan daha yüksek tükenmeye ve reaktif boyadan daha yüksek bir gölge derinliğine sahip olduğu bulundu. Öte yandan, bazik boya zayıf bir fiksasyona sahiptir ve reaktif boya ile selüloz lifi arasında oluşan güçlü kovalent bağdan daha zayıf bağlar oluşturur [128].

2.6.2 Selüloz Liflerin Reaktif Boyanması

Selüloz lifleri için en son boya kategorisi reaktif boyalardır ve selüloz liflerine uygulanan toplam boya maddelerinin neredeyse üçte birini temsil eder. Bir boya maddesi molekülünde, bir kromofor, uygun boyama koşulları altında kovalent bağlar oluşturmak için selüloz polimer zincirleriyle reaksiyona girme yeteneğine sahip olan, genellikle çapalar olarak adlandırılan bir veya daha fazla ikame ediciye bağlanır. Reaktif boya maddeleri çok yönlüdür ve çeşitli boyama teknikleri kullanabilirler. Çok çeşitli tonlar elde etmek kolaydır. Ucuz direkt boyalardan daha üstün ıslak

haslık özelliklerine sahiptirler. Reaktif boyalar, selüloz gibi yün ve poliamid boyamak için kullanılabilir çünkü bu liflerin kimyasal grupları reaktif boyalarla kimyasal bağ oluşturma yeteneğine sahiptir [114, 116]

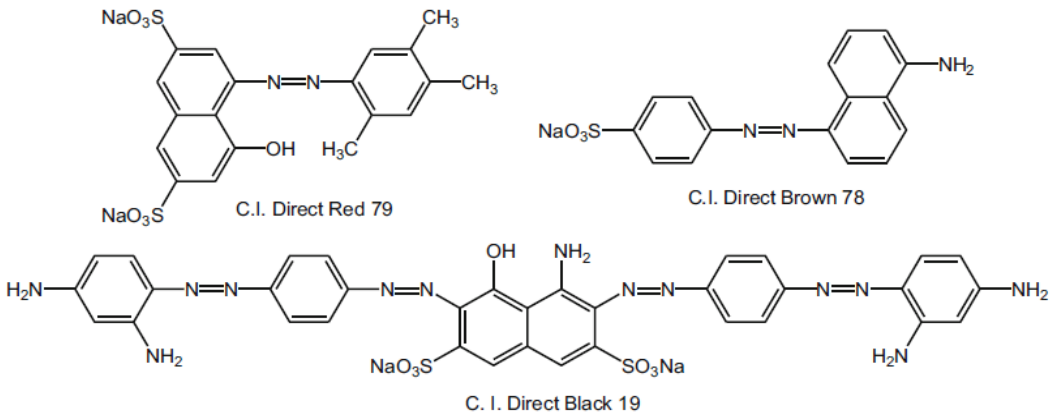


Şekil 2.23. Bazı seçilmiş ticari reaktif boyarmaddelerin moleküler yapıları [120]

2.6.3 Selüloz Liflerin Direkt Boyama İşlemeleri

Doğrudan boyalar, kullanımı kolay oldukları ve selüloz liflerinin doğrudan uygulanabildikleri için yaygın olarak kullanılır. Doğrudan boyalar her zaman reaktif boyalarla aynı parlaklığa sahip değildir. 1'den 8'e kadar olan tüm aralık, doğrudan boyaların ışığa karşı renk haslığı tarafından kapsanır. Islak haslığın, renk derinliği artırıldığında doğrudan boyama işleminin son işlemden geçmesini gerektirecek kadar azaldığı keşfedildi. Doğrudan boyaların çoğu, selüloz liflerine karşı dikkate değer bir afinite sergiler, onları neredeyse tamamen tüketir ve boya banyosunu neredeyse renksiz bırakır [129]. Selüloz lifleri için doğrudan boya maddelerinin uyumu, azo, stilben, oksazin ve ftalosiyanin türevlerinin yaygın olduğu kromoforda değişir. Sulu ortamlarda çözünürlüğü artıran doğrudan boya maddelerinde iyonlaşabilir sülfonik asit ikameleri bulunur. Doğrudan boya molekülleri boya banyolarındaki anyonlar olduğundan, selüloz liflerinin negatif yüklü yüzeyini dengelemek ve bunların tuzlanmasını sağlamak için elektrolitlere ihtiyaç duyarlar, bu da

agregasyona neden olur. Freundlich veya Langmuir modelleri ile açıklanabilen ekzotermik adsorpsiyon, renk moleküllerinin amorf lif matrisine nüfuz etmesini sağlar. Boyama koşullarını değiştirerek difüzyon oranlarını düzenlemek mümkündür. Hidrojen bağı veya van der Waals etkileşimleri yoluyla, doğrudan boya molekülleri selüloz lifleriyle bağlar oluşturur; ancak, daha fazla önlem alınmadığında, bu bağların gücü zayıftır, bu da boya moleküllerinin liflerden kolayca yıkanabilir olmasını sağlar [130].



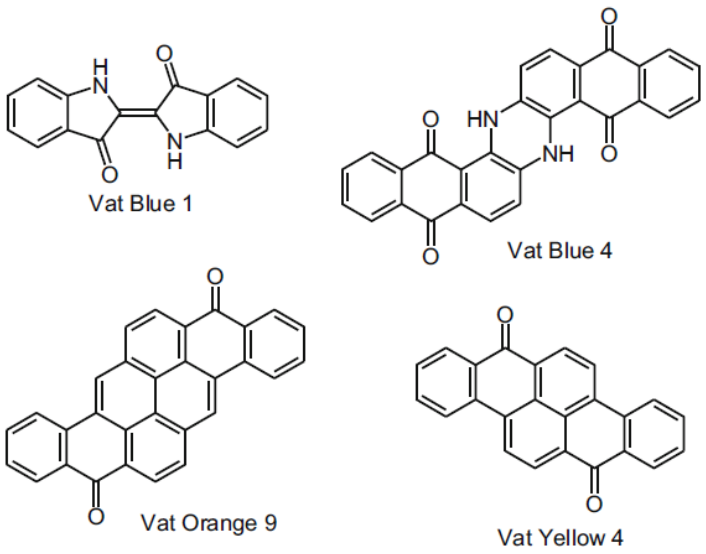
Şekil 2.24. Bazı yaygın ticari direkt boyaların kimyasal yapısı [130]

2.6.4 Selüloz Liflerinin Küp Boyanması

Selüloz liflerine suda çözünmeyen renklendiriciler veya vat boyaları uygulanır. Küp boyama işleminin birincil yöntemi, bu çözünmeyen boya maddelerinin lif afinitesi gösteren ve sulu alkali ortamda çözünen uygun loyko formuna kimyasal olarak indirgenmesidir. Boyamanın ardından, boyanmış lifler lif matrisi içinde oksitlenerek suda çözünmeyen ilk boya durumuna dönüştürülür [131].

Küp boyama işlemi aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir:

I. Boyanın çözünür loyko formuna indirgenmesi
II. Loyko formunun liflere emilir
III. Loyko, lifin içinden başlayarak çözünmeyen bir oksidasyona uğrar.
IV. Son İşlem



Şekil 2.25. Bazı yaygın vat boyalarının yapısı [116, 132]

2.6.5 Selüloz Liflerinin Kükürt ile Boyanması

Kükürt boyalarının başlıca uygulaması selüloz ve türevlerinin boyanmasıdır. Bu boyalar nispeten daha ucuzdur ve koyu mavi, yeşil, kahverengi, zeytin ve siyah gibi daha koyu renk tonları üretme yeteneğine sahiptir. Kükürt boyalarının renk haslığı ışığa göre değişir; 60 °C'de yıkandıklarında iyi, suda kaynatıldıklarında ise orta seviyededir. Boyalı liflerin kuaterner(poli)amonyum malzemeler veya formaldehit bazlı kondensasyon ürünleri ile son işlemi ıslak haslığı artırır. Kükürt boyaları genellikle klora karşı düşük renk haslığına sahiptir. S-S köprüleri normalde Kükürt boyalarında bulunur [133].

Kükürt boyarmaddeleri iki kategoriye ayrılır. Birinci sınıf, çözeltiye uygulanmak üzere sodyum sülfürle indirgenebilen amorf tozlardan oluşur. Bu tozlar suda kısmen veya tamamen çözünür olabilir.

Boyama için gerekli indirgeyici maddeyi zaten içeren sıvı boyalar ikinci sınıfa aittir. Löko kükürt boyaları uygulanmadan önce sulu bir ortamda seyreltilmelidir. Löko kükürt boyaları çevre için daha iyidir [134].

3 MALZEMELER VE METODOLOJİ

3.1 Malzemeler ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında, jüt ve kenevirin ağartılmış ve ağartılmamış lifler katyonik boyalar kullanılarak boyanmış ve özelliklerindeki değişimler analiz edilmiştir. Ağartılmış ve ağartılmamış jüt lifi Hindistan'daki Yajur Bast Fibres Limited'den sağlanmıştır. Jüt elyafı Bangladesh Textile University'nin (BUTEX) jüt laboratuvarından tedarik edilmiştir. Kenevir lifi Jos Vanneste Firmasından (Belçika) tedarik edilmiştir. Boyalar Nearchemica Bangladesh Ltd. firmasından sağlanmıştır. Lifler boyama öncesinde 24 saat oda sıcaklığında kondisyonlandı. Katyonik boyalar genellikle jüt ve kenevir gibi lifleri boyamak için kullanılır, çünkü bu liflerin kimyasal bileşimiyle ilişki kurmalarını sağlayan belirli kimyasal özelliklere sahiptirler.

Jüt ve kenevir lifinin boyanması için bir stok çözeltisi hazırlandı. Stok çözeltisinin hazırlanması, boyaların eşit dağılımını sağlayarak farklı kumaş partileri arasında renk tutarlılığını garanti altına aldığı için önemlidir. Ayrıca boyama prosedürü üzerinde kontrol sahibi olmaya yardımcı olur ve yeniden boyama maliyetini ve gereksinimini en aza indirir. Stok çözeltisi, boyaların ve kimyasalların hassas ölçümüyle boyama verimliliğini artırır ve atığı azaltır. Genel olarak, stok çözeltisi verimli ve sürdürülebilir tekstil üretimine olanak tanır.

Aşağıdaki formüller kullanılarak boyalar ve yardımcı maddeler için %1'lik stok solüsyonu (100 ml suda 1 gr boya) hazırlandı.

$$\text{Boya için} = \frac{Numune\ ağırlığı \times Gölge\%}{Stok\ Çözümü\%}$$

$$= \frac{5 \times \%2}{\%1}$$

$$= 10\text{ml}$$

$$\text{Kimyasal yardımcı maddeler için (Tüm maddeler için)} = \frac{Toplam\ içki \times \frac{gm}{L}}{1000 \times Stok\ Çözümü\%}$$

$$= \frac{1 \times 250 \times 100}{1000 \times \%1}$$

$$= 25\text{ml}$$

Her kategoriden 5 gr'lık numune, 95ºC sıcaklıkta 1 saat boyunca aşağıdaki tarife göre boyandı ve banyo oranı (M:L) 1:50 idi. Her numuneyi boyamak için toplam çözelti 250 ml idi.

Tablo 3.1. Jüt ve kenevir lif ve ipliğini boyama reçetesi (ağartılmış ve ağartılmamış lif)

Kullanılan maddeleri	Oran	Miktar
Katyonik boya	%2 owf	10 ml
Islatma maddesi	1g/L	25 ml
Sekestran maddesi	2g/L	50 ml
Asetik asit	1g/L	25 ml
Glauber tuzu	10g/L	2,5 g
Deterjan	1g/L	0,25 g

Örnekleri boyamak için boyalar ve diğer yardımcı maddeler eklenerek bir boya banyosu hazırlandı. Tüm kimyasalların eşit dağılımını sağlamak için boya banyosu iyice karıştırıldı. Bazik boyalar jüt ve kenevir gibi selülozik liflere güçlü bir afinite gösterir, bu nedenle jüt ve kenevir örneklerini boyamak için kullanıldı. Üç farklı bazik boya kullanıldı ve bunlar a) Bezacryl Blue Fbs, b) Bezacryl Red Fbs, c) Bezacryl Golden Yellow'dur. Islatma maddesi suyun yüzey gerilimini azaltmaya yardımcı olur. Sonuç olarak, boya çözeltisi liflere hızla nüfuz ederek eşit ve düzgün boya alımını sağlar. Sekestran maddesi metal iyonlarının ve diğer safsızlıkların boyama işlemine müdahale etmesini önler. Metal iyon kontaminasyonundan kaynaklanan lekeleri veya çizgileri önler. Bazik boyanın liflere uygun Şekilde bağlanması için çok önemli olduğundan, optimum asidik pH seviyesini korumak için asetik asit kullanıldı. Glauber tuzu, boya moleküllerini çözeltiden çıkarıp lifa taşıyarak boyanın numunelere geçmesini artırmaya yardımcı olur. Numuneler boya banyosuna eklendi ve 30-45 dakika boyunca 95°C'lik bir sıcaklık korundu. Boyama tamamlandıktan sonra numuneler boya banyosundan çıkarıldı ve fazla boya ve kimyasalları gidermek için soğuk suyla durulandı. Son olarak deterjanla yıkandı ve kurutuldu. Deterjan fazla boya ve kirleri giderir. Bu, renk haslığının iyileştirilmesine yardımcı olur ve sonraki elleçleme veya yıkama sırasında lifin lekelenme olasılığını önler.



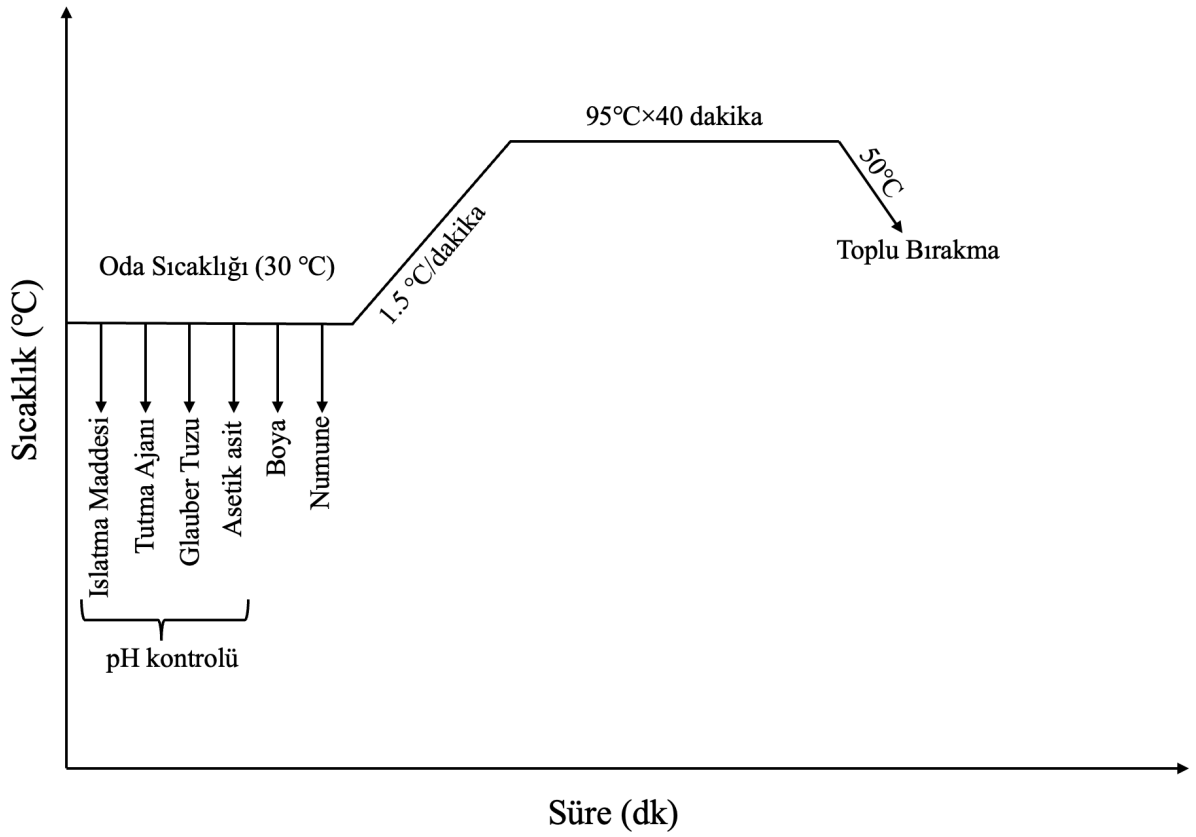
Şekil 3.1. Ham jüt, ağartılmış jüt, ham kenevir, ağartılmış kenevir (5g numune)

Tablo 3.2. Numune gruplarının kodlanması

Kullanılan Lif Grupları	Kodlama
Ham Jüt Lifi	HJL
Ham Jüt Lifi Kırmızı	HJLK
Ham Jüt Lifi Sarı	HJLS
Ham Jüt Lifi Mavi	HJLM
Ağartılmış Jüt Lifi	AJL
Ağartılmış Jüt Lifi Kırmızı	AJLK
Ağartılmış Jüt Lifi Sarı	AJLS
Ağartılmış Jüt Lifi Mavi	AJLM
Ham Kenevir Lifi	HKL
Ham Kenevir Lifi Kırmızı	HKLK
Ham Kenevir Lifi Sarı	HKLS
Ham Kenevir Lifi Mavi	HKLM
Ağartılmış Kenevir Lifi	AKL
Ağartılmış Kenevir Lifi Kırmızı	AKLK
Ağartılmış Kenevir Lifi Sarı	AKLS
Ağartılmış Kenevir Lifi Mavi	AKLM



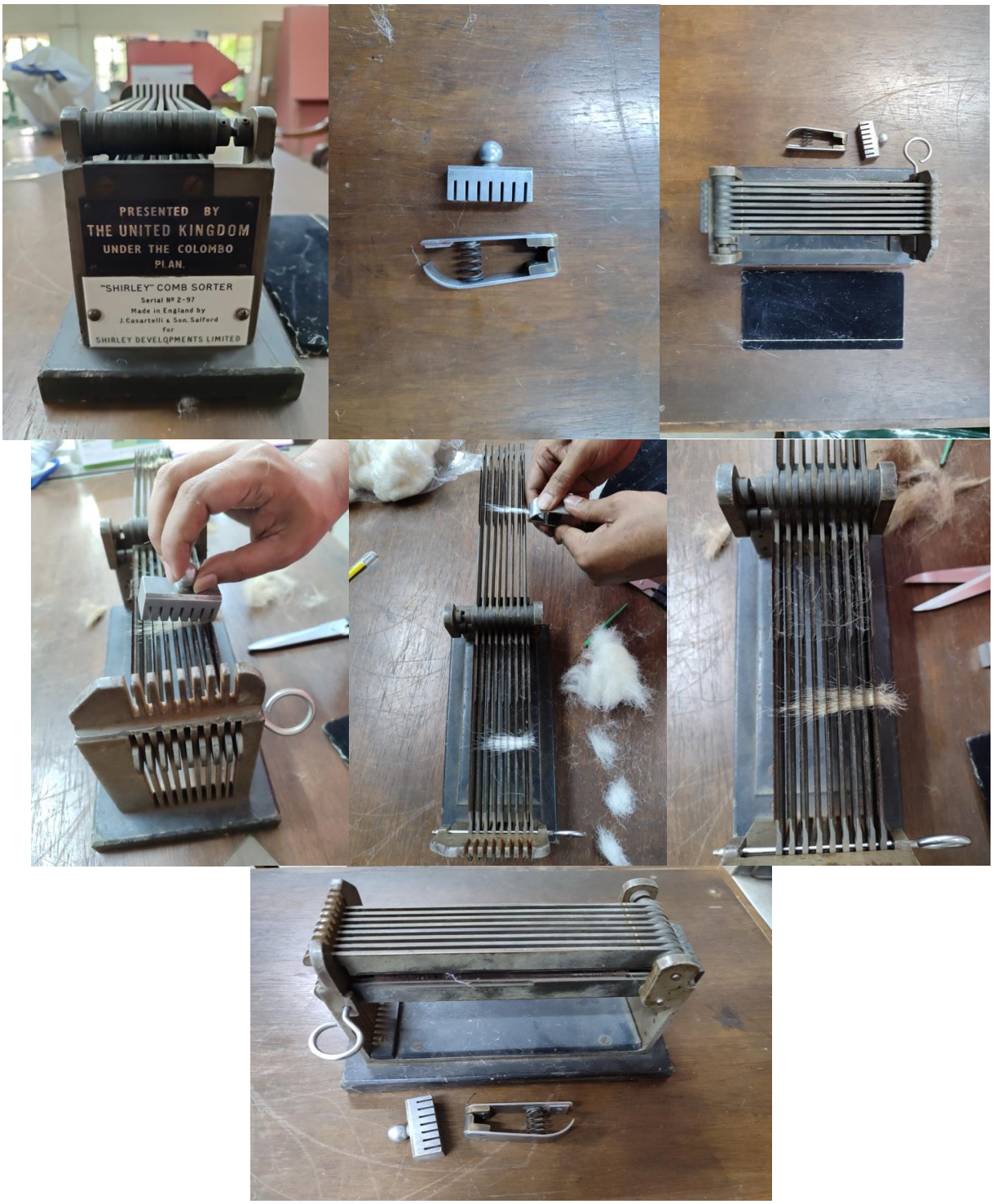
Şekil 3.2. (a) HJLK, (b) AJLK, (c) HKLK, (d) AKLK, (e) HJLS, (f) AJLS, (g) HKLS, (h) AKLS, (i) HJLM, (j) AJLM, (k) HKLM, (l) HJLM



Şekil 3.3. Jüt ve Kenevir liflerin boyama eğrisi

3.2 Tarama Yöntemi Lif Uzunluk Dağılımının Belirlenmesi

Lif uzunluğu, eğrilecek ipliğin düzgünlüğü, çekme mukavemeti, uzaması ve tüylülüğü gibi farklı iplik parametrelerini doğrudan etkilediği için önemli bir özelliktir. Bu iplik özellikleri üretilecek kumaşların kalitesini etkiler. Bu nedenle, lif uzunluğu kumaş kalitesinde önemli bir role sahiptir. Jüt ve kenevir lifleri farklı uzunluk grubuna sahip olduğundan, belirli lif uzunluğunu elde etmek oldukça karmaşıktır. Gövde liflerinin uzun elyaftan kısa elyaf oluşturulmasından dolayı uzunluk dağılının bilinmesi önemlidir. Sonuç olarak, lif uzunluğunu belirlemek için Shirley tarak ayırıcı diyagramı kullanıldı. Lif grupları, lif uzunluğuna göre azalan sıraya göre kadife ped üzerinde düzenlendi. Lifler, lifin açık ucu taban çizgisine dokunacak Şekilde düzenlenir.



Şekil 3.4. Shirley Tarak Ayırıcı

Tarak kısa diyagramından elde edilen veriler aşağıda belirtilmiştir.

OA= Maksimum lif uzunluğu

LL'= Etkili uzunluk

Formüller:

Kısa lif (%)=$\frac{RB}{OB} \times 100$

Lif Dağılımı (%)=$\frac{NL'}{LL'} \times 100$

3.3 Stelometer ile Lif Mukavemet Ölçümü

Lif mukavemeti ölçümü, lif kalitesini ölçmede önemli bir parametredir. Stelometer, liflerin gerilim altında kopma mukavemetini ve uzamasını ölçer.

Kopma mukavemeti, bir malzemenin kopmadan önce dayandığı maksimum yük veya kuvvet miktarıdır. Kopma anındaki uzama, bir malzemenin nihai olarak kopmadan önceki başlangıç ve son uzunluğunun oranıdır. % olarak ölçülür. Bir malzemenin kopmadan ne kadar bükülmeye ve Şekillendirilmeye dayanabileceğini gösterir.

Kopma anındaki uzama aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta L}{L}\right) \times 100$$

ε uzamadır; ΔL son uzunluktur; L başlangıç uzunluğudur

Her numune için ortalama kopma dayanımı (kg) ve uzama (%) hesaplandı.



Şekil 3.5. Lif mukavemeti ve uzamasının ölçülmesi

Stres, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır [136]

$$\sigma = \frac{Fmax}{A}$$

3.4 Numunelerin Mikroskobik Görünümü

Olympus CH2 optik mikroskobu, numunelerin mikroskobik görünümünü kontrol etmek için kullanıldı. Lif numunelerin boyama öncesi ve sonrası değişimlerini görmek için mikroskop altına yerleştirildi.



Şekil 3.6. Olympus optik mikroskop

3.5 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), boyama işleminden önce ve sonra jüt ve kenevir liflerinin kimyasal bileşimini ve yapısal değişikliklerini analiz etmek için kullanıldı. Bu teknik, lif yapısında bulunan fonksiyonel gruplara ilişkin fikir verir ve boyama işlemleri nedeniyle oluşan herhangi bir kimyasal etkileşimin değerlendirilmesine yardımcı olur.

3.6 Beyazlık İndeksi Ölçümü

Örneklerin beyazlık indeksi, Datacolor Spectraflash SF 600 Plus yansıma spektrofotometresi ve 9 mm çaplı ölçüm plakası (LAV), D65 ışık kaynağı ve 10° ölçüm kullanılarak AATCC 110 (2005) standardına göre belirlendi [137].

3.7 Boyalı Numunelerin Renk Analizi

Boyalı numunelerin renk ölçümü Konica Minolta CM-2300d Yazılımı Spectra Magic NX (D65 aydınlatıcı, 10° standart gözlemci) kullanılarak gerçekleştirildi. L*, açıklık koyuluk (100 = beyaz, 0 = siyah), a*, kırmızı-yeşil koordinatı (+ = kırmızı, – = yeşil), b*, sarı-mavi koordinatı (+ = sarı, – = mavi) ve C* parlaklık koordinatını temsil eder (100 = canlı, 0 = donuk). Görünür spektrumdaki yansıma değerlerine (R) dayalı olarak mümkün olan en yüksek emilim dalga boyuna (λ_{max}) karşılık gelen her bir renk için renk gücü (K/S) değerlerinin belirlenmesinde Kubelka-Munk denklemi kullanıldı [138, 139].

$$K/S = \left(1 - R_{\lambda_{max}}\right)^2 / 2R_{\lambda_{max}}$$

3.8 Evsel ve Ticari Yıkamaya Karşı Renk Haslığı Testi

Tüm numunelerin evsel ve ticari yıkamaya karşı Renk Haslığı ISO 105-C06:2001 standartlarına göre belirlendi [140]. 40°C sıcaklıkta 10 çelik bilye kullanılarak 30 dakika boyunca gerçekleştirildi. 1g/L sodyum perborat tetrahidrat kullanılarak homojen bir çözelti hazırlandı ve boya banyosu hacmi 150 ml idi. Daha sonra numuneler bir SDC Çok Liflı DW kumaşına tutturuldu. Özellikle boyama, yıkama, sürtünme ve terleme testlerinde renk haslığı özelliklerini değerlendirmek için tekstil testlerinde yaygın olarak kullanılan standartlaştırılmış bir kumaştır. İngiltere'deki Boyacılar ve Renk Uzmanları Derneği (SDC) tarafından üretilmiştir. Tek bir kumaşta birlikte dokunmuş altı farklı liften oluşur. Genellikle şu Şekilde düzenlenir: Asetat, Pamuk, Naylon, Polyester, Akrilik ve Yün. Daha sonra 150 ml homojen çözeltiye daldırıldılar ve 40°C'de 30 dakika yıkandılar. Yıkama sonunda numune kaptan çıkarıldı ve 40°C'de 100 ml su ile 1 dakika boyunca iki kez durulandı. Fazla su uzaklaştırıldı ve numuneler kurutuldu. Numunedeki renk değişimi ve kurutmadan sonra kumaşta oluşan eşlik eden lekelenme, ışık kutusunda gün ışığında (Gün Işığı 65) ilgili bir gri skala kullanılarak değerlendirildi.

Numunelerin lekelenmesini ve renk değişimini değerlendirmek için gri skala kullanıldı. Renk değişimi, numunenin orijinal renginin testten sonra ne kadar değiştiğidir. Lekelenme, bitişik kumaşta oluşan lekelenme derecesidir.

Tablo 3.3. Renk değişimini değerlendirmek için gri skala renk değişim değerleri

Derecelendirme	Renk Değişimi Derecesi	Yorumlama
5	Görünür bir değişiklik yok	Mükemmel
4-5	Hafif, zar zor fark edilebilir bir değişiklik	Çok İyi ile Mükemmel
4	Hafif bir değişiklik	İyi
3-4	Fark edilebilir ancak orta düzeyde bir değişiklik	Orta ile iyi
3	Orta düzeyde bir değişiklik	Orta
2-3	Önemli ölçüde fark edilebilir bir değişiklik	Kötü ile Orta
2	Önemli bir değişiklik	Kötü
1-2	Çok önemli bir değişiklik	Çok Kötü ile Kötü
1	Şiddetli bir değişiklik	Çok Kötü

Tablo 3.4. Lekelenmeyi değerlendirmek için gri tonlamalı derecelendirme

Derecelendirme	Boyama Derecesi	Yorumlama
5	Görünür bir değişiklik yok	Mükemmel
4-5	Hafif, zar zor fark edilebilir bir değişiklik	Çok İyi ile Mükemmel
4	Hafif bir değişiklik	İyi
3-4	Fark edilebilir ancak orta düzeyde bir değişiklik	Orta ile iyi
3	Orta düzeyde bir değişiklik	Orta
2-3	Önemli ölçüde fark edilebilir bir değişiklik	Kötü ile Orta
2	Önemli bir değişiklik	Kötü
1-2	Çok önemli bir değişiklik	Çok Kötü ile Kötü
1	Şiddetli bir değişiklik	Çok Kötü



Şekil 3.7. Gyrowash makinesi

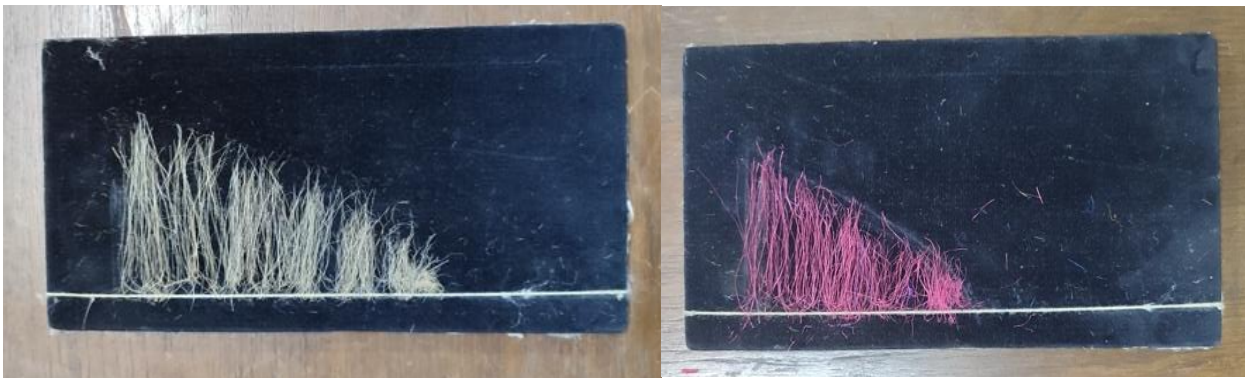
4 SONUÇ VE TARTIŞMA

Aşağıdaki bölümlerde boyalı numunelerin renk analizi sonuçları, lif özellikleri sonuçları ve renk haslığı verileri yer almaktadır.

4.1 Lif Karakterizasyonu

Shirley tarama ile kısa lif oranı, % dağılım ve maksimum uzunluk gibi farklı lif parametreleri ölçülmektedir. Eşit dağılımlar elyaf kalite parametrelerinde önemlidir. Her ne kadar lif çap özellikleri bu tip gövde liflerinde ana parameter olsada ortlama uzunluk değerlerinin birbirine yakın olması özellikle kotonize işleminin verimliliğini gösteren ana parametredir. Analiz sonucunda, hem boyanmış jüt hem de kenevir liflerinin ortalama uzunluğunun, boyamadan önceki uzunluğa kıyasla daha az olduğu görüldü. Bazik boyanın boyama işlemi sırasında, alkali bir pH gereklidir ve bu tür koşullara uzun süre maruz kalmak, jüt ve kenevirdeki selülozu bozabilir, bu da daha kısa liflerin neden olabilir. Lif uzunluğundaki bu değişim özellikle iplik ve kumaş boyama yapıldığında ve diğer ıslak işlemlerde oldukça önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Elyaf boyama ile lif çekme ön görülüp iplik eğirme ve diğer işlemler buna göre yapılmalıdır.

Boyamada yer alan yüksek sıcaklık, liflerin amorf bölgesini zayıflatabilir. Dahası, yıkama, boyama veya boyama sonrası yıkama işlemi, kısa liflerin uçlarını ayırabilir ve bu da lif uzunluğunun azalmasına katkıda bulunur. Boyamadan sonra kısa lif içeriğindeki artış, daha yüksek oranda kısa lif olduğunu gösterir. Kısa lifler, sıcaklığın artmasına kıyasla boyama süresinin artmasıyla daha fazla üretilmiştir [141]. Örneklerdeki dispersiyon yüzdesi boyama sonrasında artmıştır. Bu durum boyama sırasındaki mekanik veya kimyasal etkinin liflerin homojenliğinin azalmasına neden olabileceğini göstermektedir.



(a) (b)



(c)



(d)



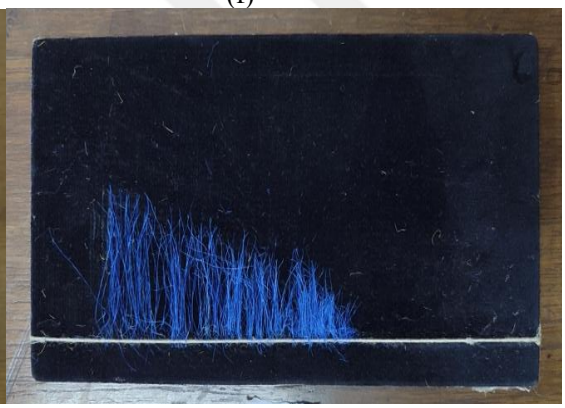
(e)



(f)



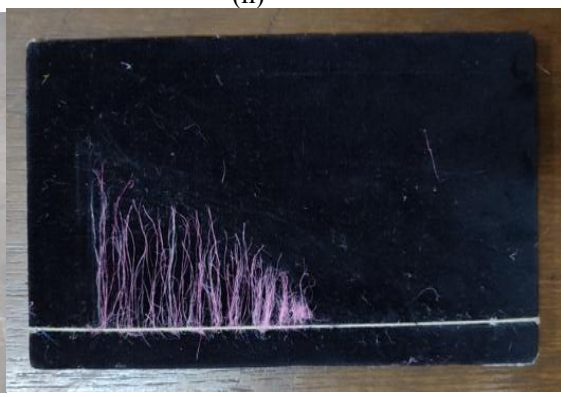
(g)



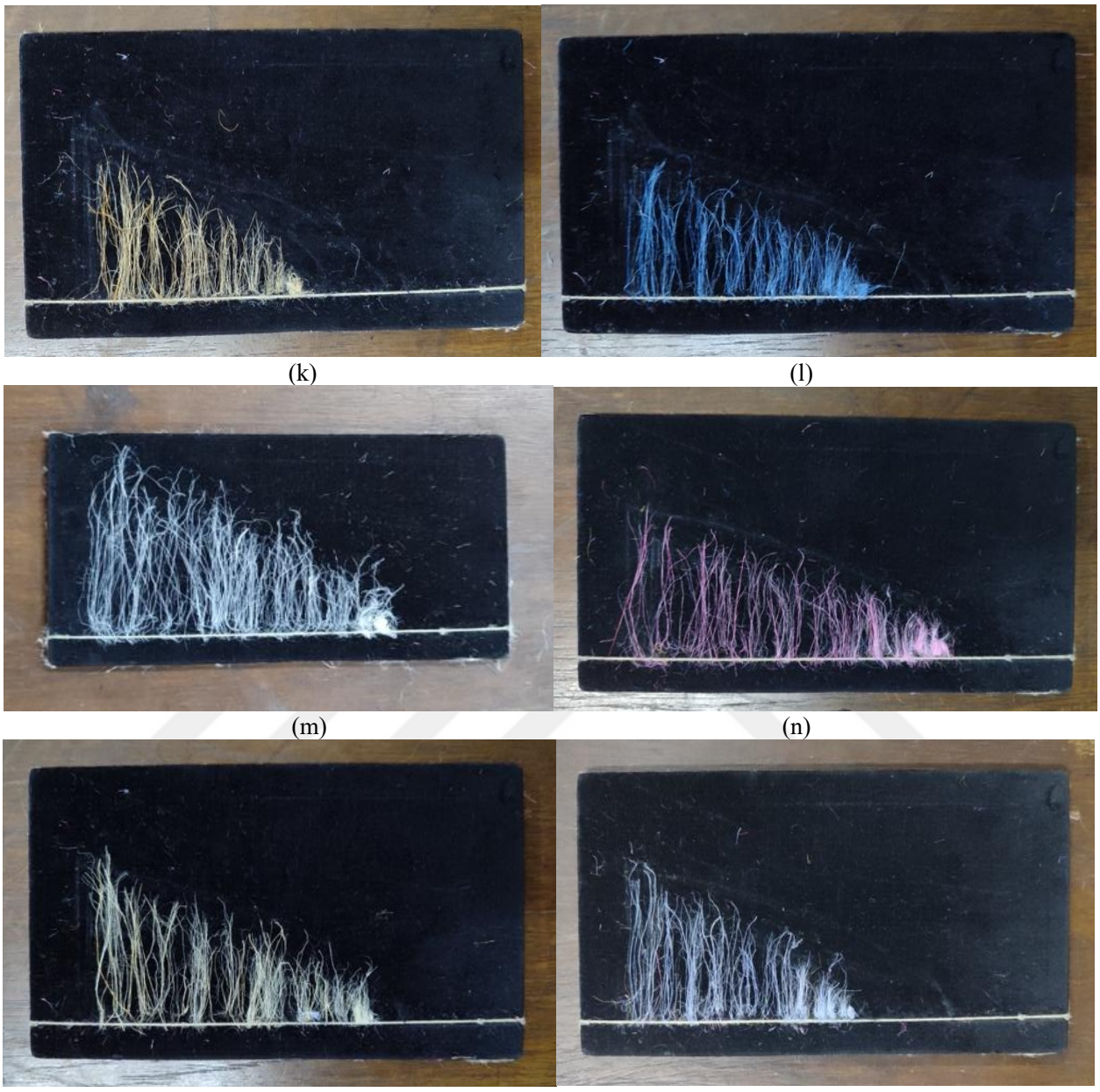
(h)



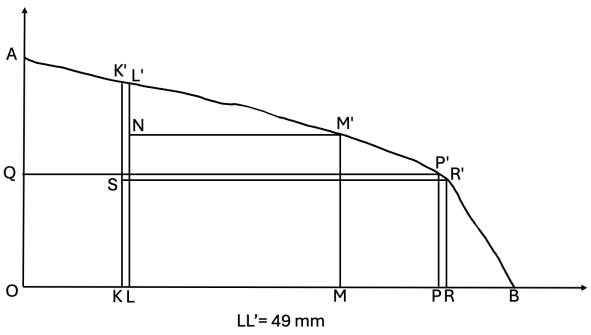
(i)



(j)

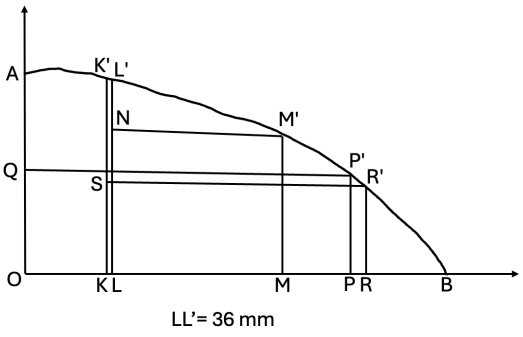


Şekil 4.1. Tarak kısa lifler (a) HJL, (b) HJLK, (c) HJLS, (d) HJLM, (e) AJL, (f) AJLK, (g) AJLS, (h) AJLM, (i) HKL, (j) HKLK, (k) HKLS, (l) HKLM, (m) AKL, (n) AKLK, (o) AKLS, (p) AKLM



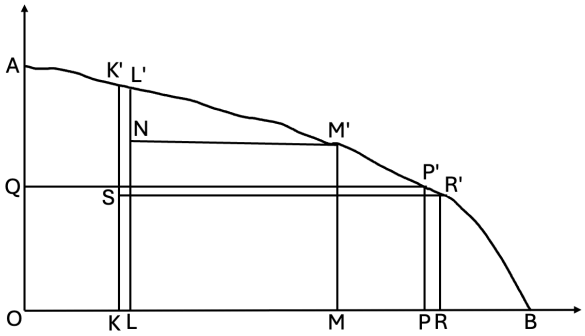
LL'= 49 mm

(a)



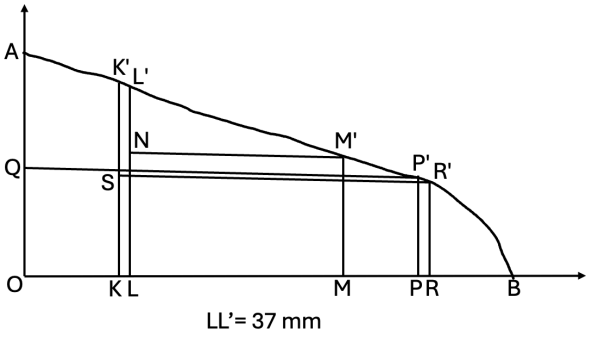
LL'= 36 mm

(b)



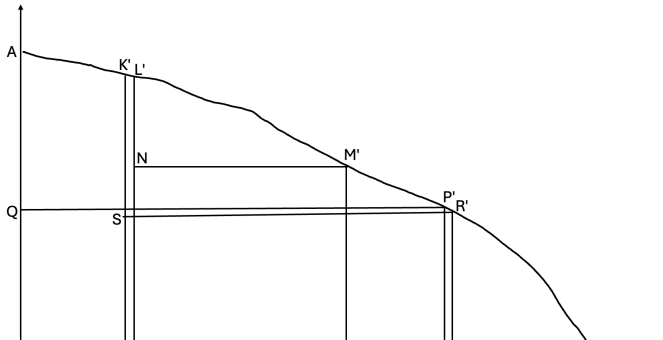
LL'= 38 mm

(c)



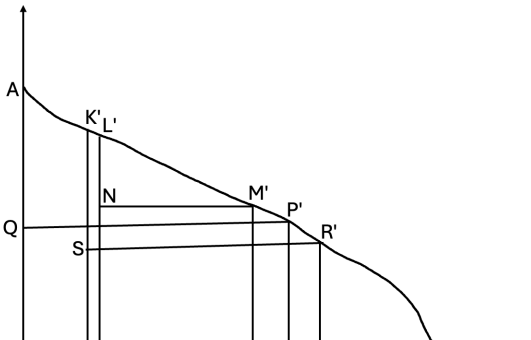
LL'= 37 mm

(d)



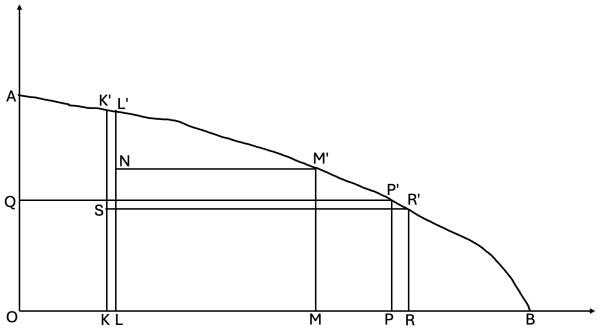
LL'= 58 mm

(e)

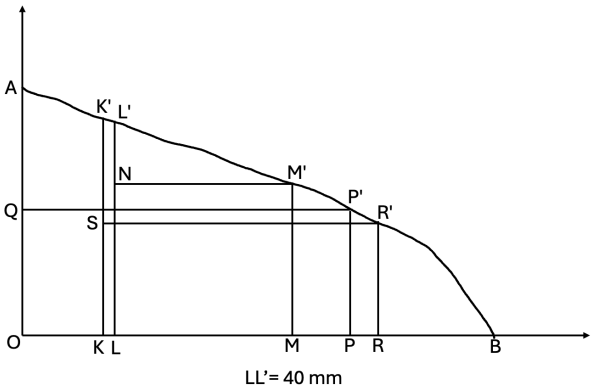


LL'= 59 mm

(f)

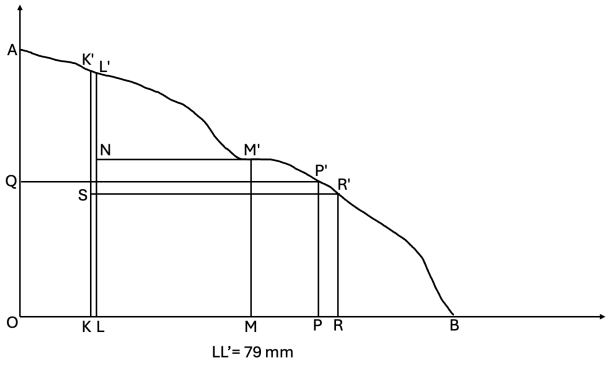


LL'= 54 mm



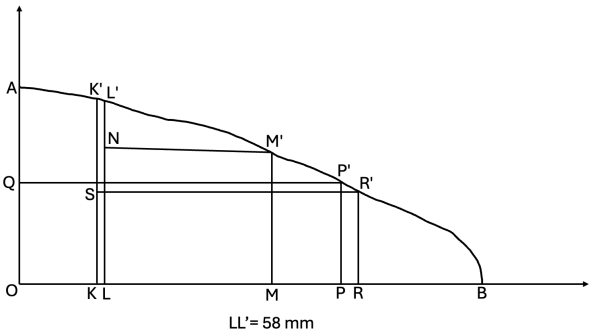
LL'= 40 mm

(g)



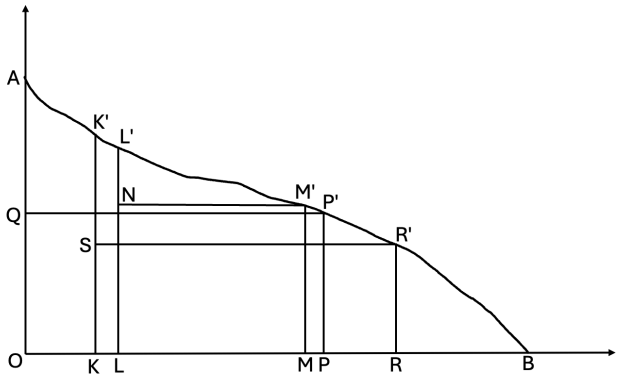
LL'= 79 mm

(h)



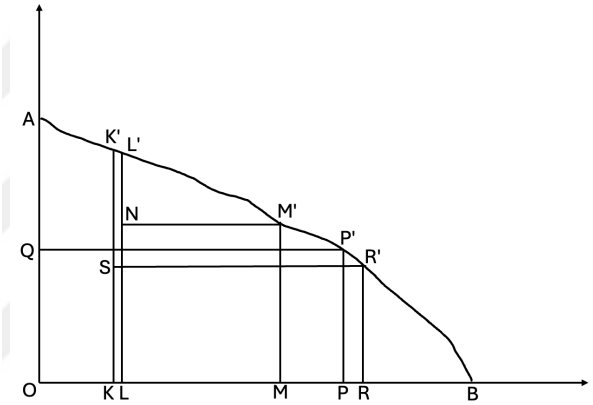
LL'= 58 mm

(i)



LL'= 47 mm

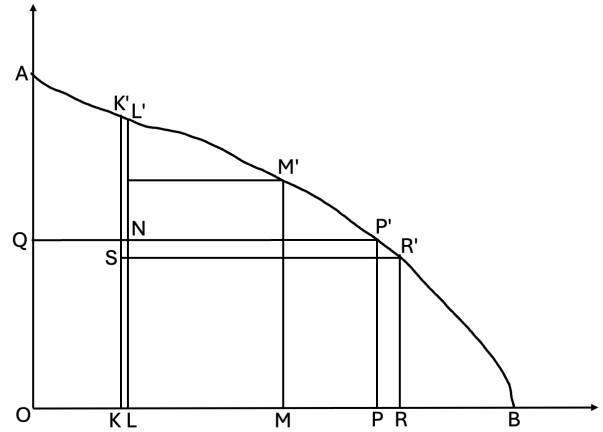
(j)



LL'= 52 mm

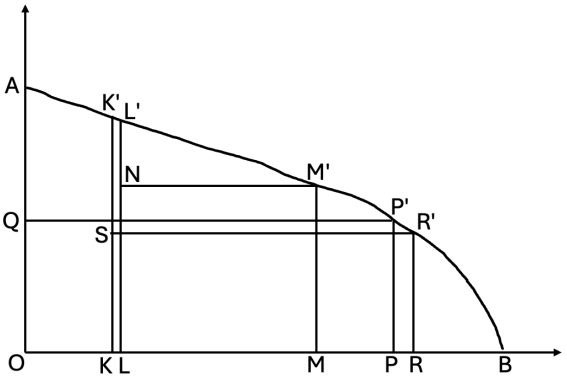
(k)

(l)



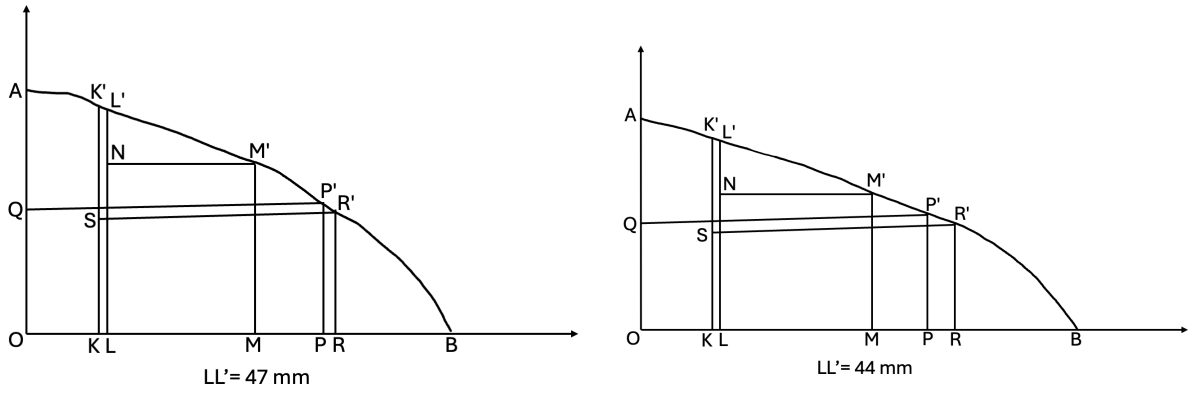
LL'= 61 mm

(m)



LL'= 46 mm

(n)

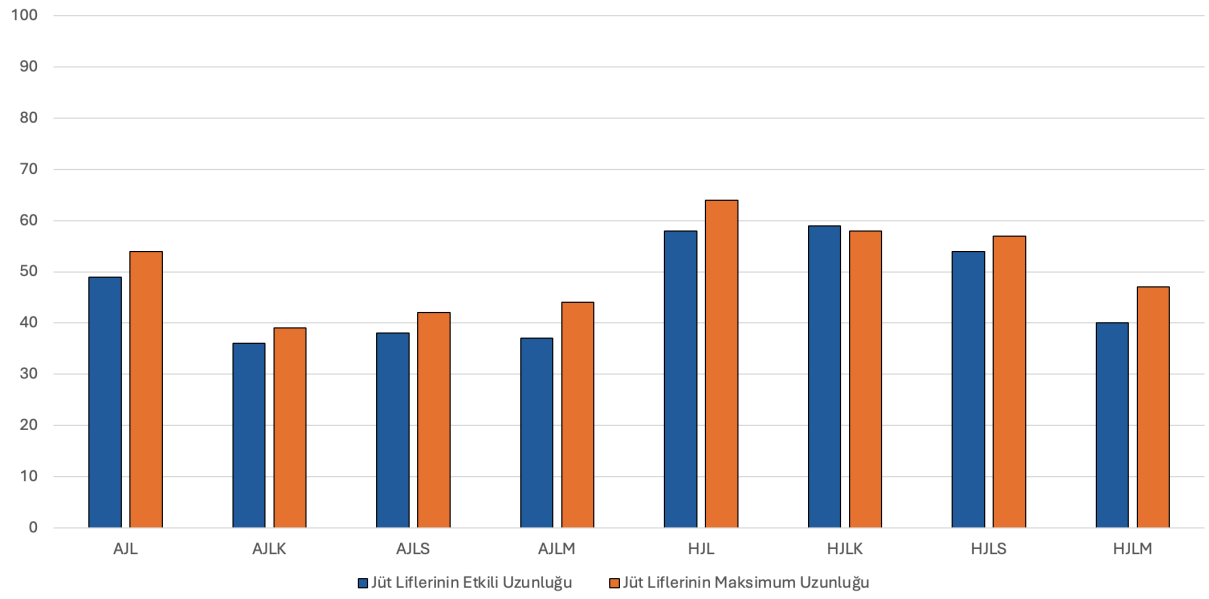


(o) (p)

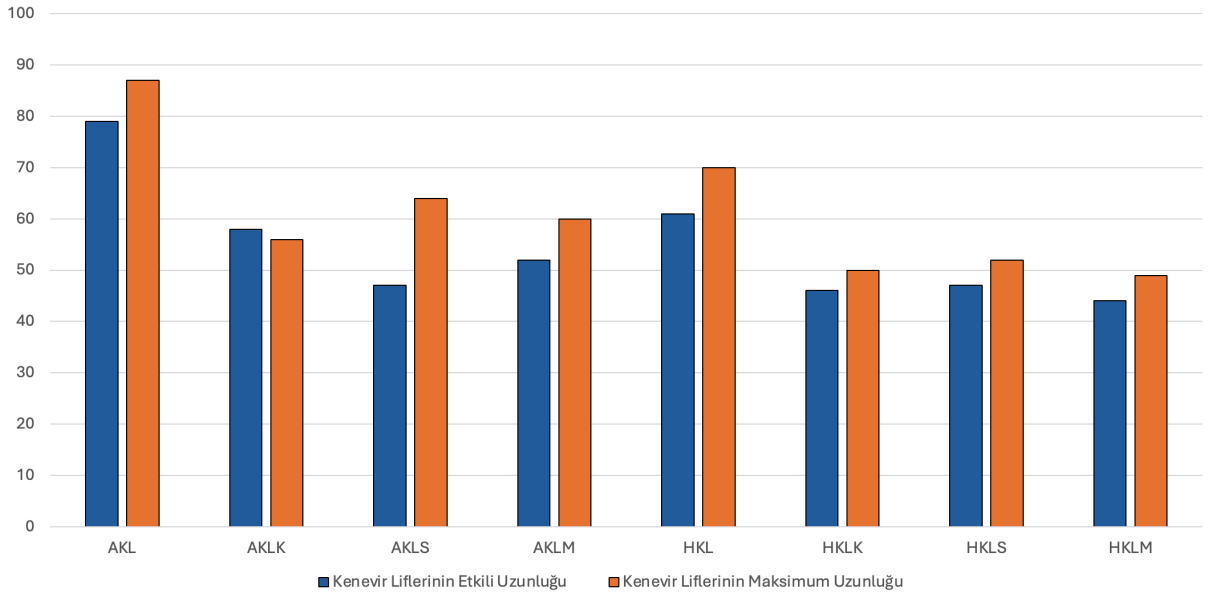
Şekil 4.2. Daha kısa diyagramı tarak (a) AJL, (b) AJLK, (c) AJLS, (d) AJLM, (e) HJL, (f) HJLK, (g) HJLS, (h) HJLM, (i) AKL, (j) AKLK, (k) AKLS, (l) AKLM, (m) HKL, (n) HKLK, (o) HKLS, (p) HKLM

Tablo 4.1. Shirley lif uzunluk analizi

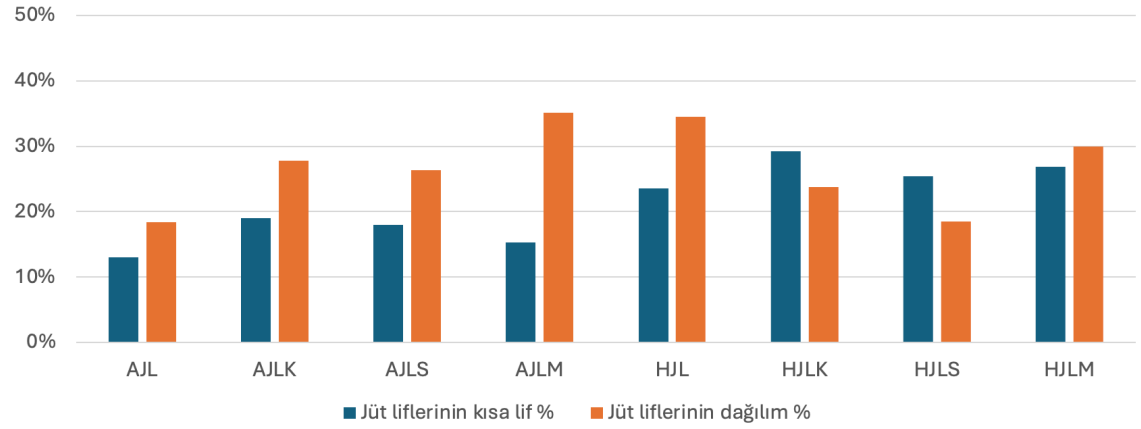
Numuneler	Etklili uzunluk	Kısa lif %	Dağılım %	Maksimum uzunluk
AJL	49 mm	13	18,37	54 mm
AJLK	36 mm	19	27,78	39 mm
AJLS	38 mm	18	26,32	42 mm
AJLM	37 mm	15,3	35,14	44 mm
HJL	58 mm	23,53	34,49	64 mm
HJLK	59 mm	29,27	23,73	58 mm
HJLS	54 mm	25,38	18,52	57 mm
HJLM	40 mm	26,83	30	47 mm
AKL	79 mm	28,87	36,71	87 mm
AKLK	58 mm	26,15	22,41	56 mm
AKLS	47 mm	28,07	25,53	64 mm
AKLM	52 mm	25,77	40,38	60 mm
HKL	61 mm	25	21,31	70 mm
HKLK	46 mm	21,35	28,26	50 mm
HKLS	47 mm	25,84	27,66	52 mm
HKLM	44 mm	28	31,82	49 mm



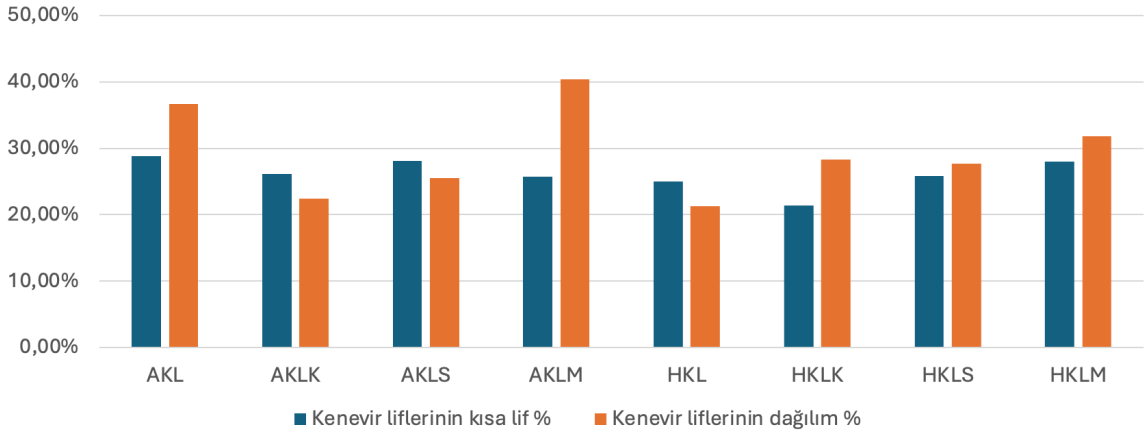
Şekil 4.3. Jüt lif numunelerinin uzunluk değerleri



Şekil 4.4. Kenevir lif numunelerinin uzunluk değerleri



Şekil 4.5. Jüt numunelerinin kısa lif ve dağılım %'si



Şekil 4.6. Kenevir numunelerinin kısa lif ve dağılım %'si

4.2 Lif Mukavemeti

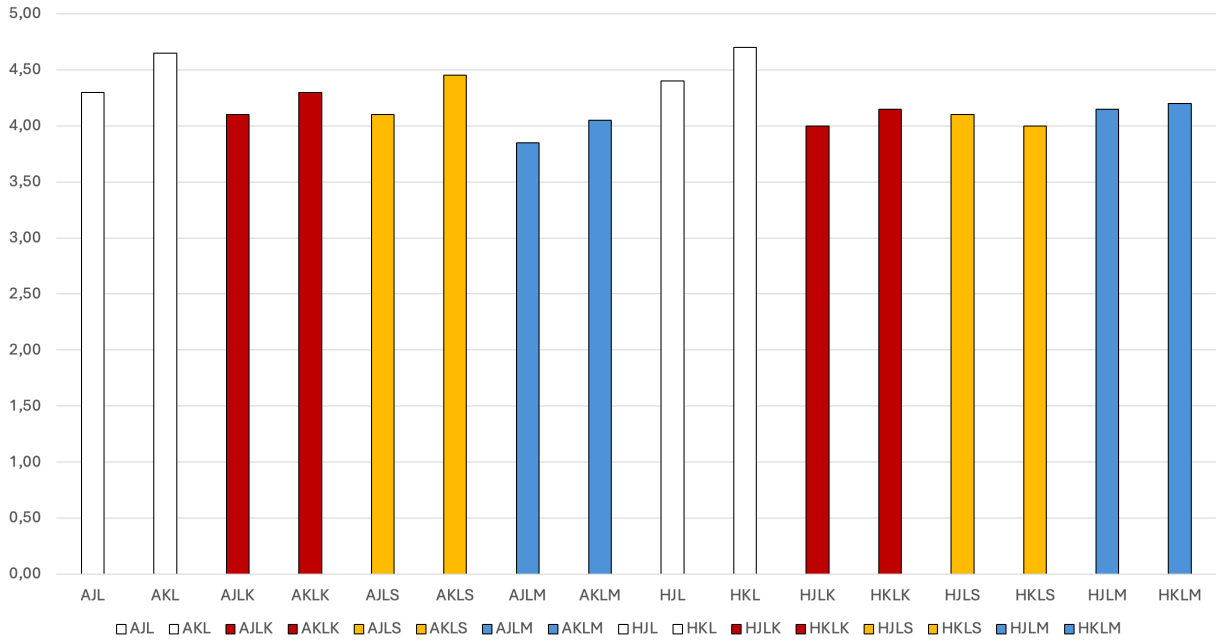
Stelyometre testi, jüt ve kenevir liflerinin hem işlenmemiş hem de boyanmış hallerindeki mekanik özelliklerinde belirgin farklılıklar ortaya koydu. Kenevir liflerinin ortalama kopma mukavemeti, jüt liflerininkinden belirgin Şekilde daha yüksektir [142]. Kopma uzaması benzer bir eğilim izlemiştir, kenevir jüt liflerine kıyasla daha iyi bir uzama yüzdesi göstererek lif esnekliğinde içsel farklılıklar olduğunu göstermiştir. Boyamadan sonra, her iki lif de çekme mukavemetinde azalma göstermiştir. Ağartılmış boyasız jüt lifleri ortalama 4,3 kg kopma mukavemeti gösterirken, ham boyasız jüt lifleri ortalama 4,4 kg kopma mukavemeti göstermiştir. Ağartma işlemi, ağartılmış boyasız jüt lifinin daha düşük kopma mukavemetinin potansiyel nedeniydi. Kenevir lifleri benzer bir eğilim göstermiştir. Kenevir lifleri, jüt liflerinin %50-60 selüloz içeriğinden daha yüksek %60-

70 selüloz içeriğine sahiptir. Ayrıca, kenevirin daha uzun mikrofibriler ve kristal yapısı yük taşıma kapasitesini artırır. Öte yandan, jüt daha amorf bir yapıya sahiptir [143].

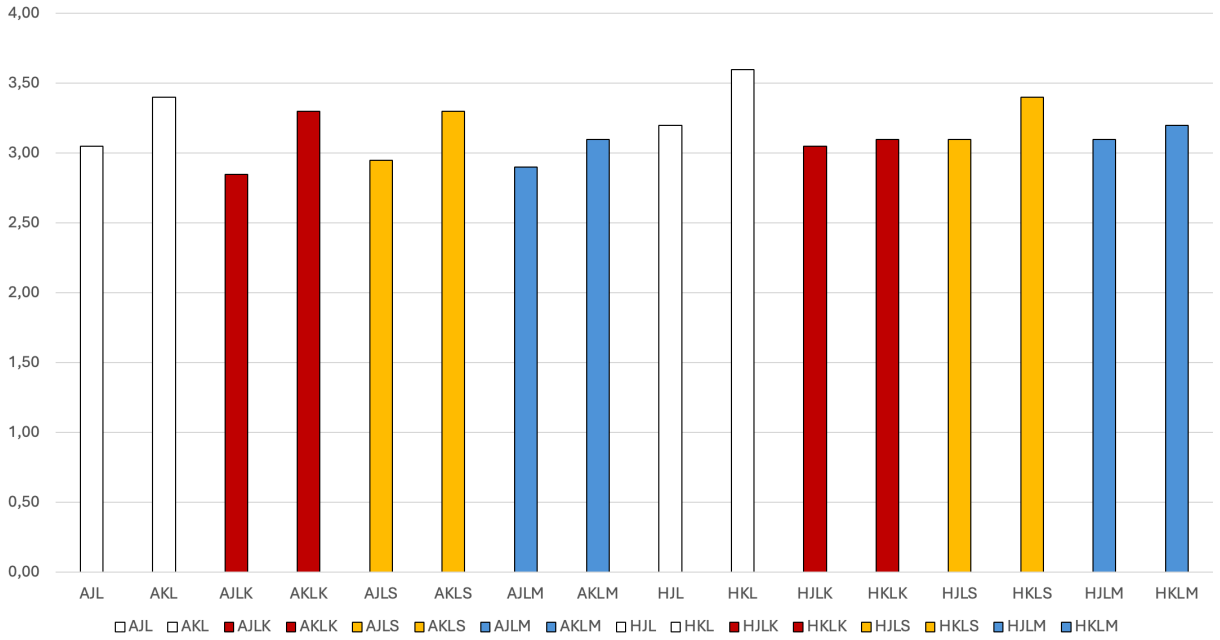
Her iki lifta da boyama sonrası mukavemet azalmasının, boyama sırasında kimyasal ve termal bozulmaya atfedilmesi muhtemeldir. Alkali boya banyoları, selüloz zincirlerini hidrolize ederek lifların bütünlüğünü zayıflatabilir. Boya fiksasyonu sırasında yüksek sıcaklık, polimer zincirlerini daha da bozabilir. Dahası, kenevir lifları genellikle jüt liflarından daha kalın ve daha sağlamdır ve bu da üstün çekme mukavemetine ve uzamaya katkıda bulunur. Jüt liflarının daha sert ve daha kalın yapısı, stres altında esneme yeteneklerini sınırlar. Boyanmamış jüt liflerinin ortalama kopma mukavemeti, boyalı jüt liflerinin kopma mukavemetine göre daha fazladır. Boyanmamış jüt liflerinin ortalama kopma mukavemetinin, boyalı jüt liflerine kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, boya işlemleri sırasında uygulanan kimyasal maddelerin ve yüksek sıcaklık gibi çevresel etkenlerin liflerin doğal yapısını zayıflatmasından kaynaklanabilir. Özellikle selüloz esaslı doğal lifler, boya ve apre işlemlerinde kullanılan alkaliler, asitler ve çeşitli ıslatma ajanlarına karşı hassasiyet gösterebilir. Bu tür işlemler liflerin mikroyapısını bozarak, hidrojen bağlarının zayıflamasına ve lifin yük taşıma kapasitesinin azalmasına yol açabilir. Dolayısıyla, boyama işlemi liflerin mekanik özelliklerinde, özellikle de kopma mukavemetinde azalmaya neden olmaktadır. Bu sonuçlar, jüt liflerinin işlenme süreçlerinin dikkatle optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4.2. Demet Lif mukavemet testi sonucu

Numuneler	Kopma Mukavemeti (kg)	Ortalama Kopma Muakavemeti (kg)	Kopma Uzama %	Ortalama Kopma Uzama %
AJL	4,4	4,3	3,1	3,05
	4,2		3	
AJLK	4,2	4,1	2,9	2,85
	4		2,8	
AJLS	4,3	4,1	3	2,95
	3,9		2,9	
AJLM	4	3,85	3,1	2,9
	3,7		2,7	
HJL	4,5	4,4	3,3	3,2
	4,3		3,1	
HJLK	4,1	4	3,2	3,05
	3,9		2,9	
HJLS	4,3	4,1	3,3	3,1
	3,9		2,9	
HJLM	4,5	4,15	3,3	3,1
	3,8		2,9	
AKL	4,8	4,65	3,6	3,4
	4,5		3,2	
AKLK	4,6	4,3	3,7	3,3
	4		2,9	
AKLS	4,8	4,45	3,6	3,3
	4,1		3	
AKLM	4,1	4,05	3,2	3,1
	4		3	
HKL	5,3	4,7	4	3,6
	4,1		3,2	
HKLK	4,4	4,15	3,4	3,1
	3,9		2,8	
HKLS	4,4	4	4	3,4
	3,6		2,8	
HKLM	4,3	4,2	3,4	3,2
	4,1		3	



Şekil 4.7. Jüt ve Kenevir liflerinin ortalama kopma mukavemeti (kg)

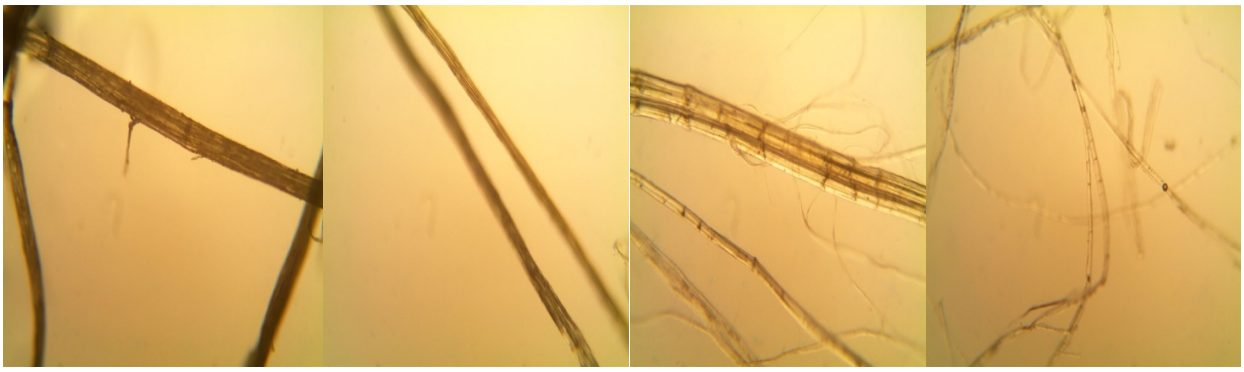


Şekil 4.8. Jüt ve Kenevir Liflerinin Ortalama Kopma Uzaması (%)

4.3 Numunelerin Mikroskobik Analizi

Numunelerin mikroskobik analizi, ağartma ve boyama sonrasında belirgin yapısal değişiklikler göstermektedir. Numunelerin mikroskobik analizi, ağartma ve boyama işlemleri sonrasında lif yapısında belirgin morfolojik değişikliklerin meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu değişiklikler genellikle lif yüzeyinde gözlemlenen pürüzlenme, lifin dış çeperinde incelme, mikroyapıda bozulma ve bazen lifler arası bağların zayıflaması şeklinde kendini göstermektedir. Özellikle ağartma işlemleri sırasında kullanılan oksitleyici ajanlar (örneğin hidrojen peroksit veya sodyum hipoklorit), selüloz yapısındaki polimer zincirlerini kısmen parçalayarak liflerin doğal bütünlüğünü bozabilir. Boyama işlemleri ise lifin yapısına difüze olan boya moleküllerinin fiziksel ve kimyasal etkileşimleri sonucu, lifin kristalin ve amorf bölgelerinde yeniden yapılanmalara neden olabilir. Bu tür yapısal değişiklikler, lifin mekanik ve termal özelliklerinde olumsuz etkilere yol açmakta; mukavemet, esneklik ve nem alma kapasitesinde düşüşlerle sonuçlanabilmektedir. Bu bulgular, doğal liflerin tekstil ve kompozit uygulamalarında kullanımı öncesinde, uygulanan kimyasal işlemlerin lif morfolojisi üzerindeki etkilerinin dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Analiz sonucunda, Şekil 4.9'te hem jüt hem de kenevir liflerinin ağartma işleminden sonra daha hafif olduğu görülmektedir çünkü lifler ağartma prosedürü nedeniyle biraz ağırlık kaybetmiş gibi görünmektedir. Dahası, kenevir lifleri jüt liflerinden daha fazla sayıda kısa lif sergilemektedir. Ham hallerinde her iki lif de görünür fibriller ve doğal safsızlıklar içeren pürüzlü bir yüzeye sahipti. Ağartma işlemi, yüzey safsızlıklarını gidererek ve lignini kısmen parçalayarak pürüzsüz bir yapı oluşturarak lif morfolojisini değiştirir ancak aynı zamanda lifleri zayıflatır.

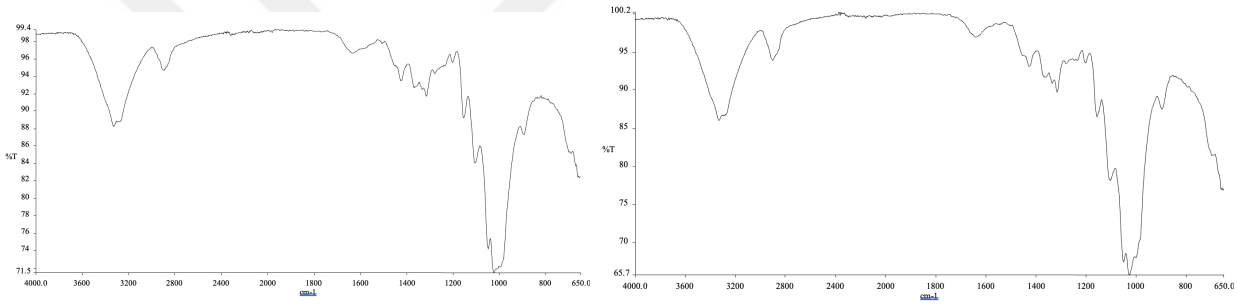


(a) (b) (c) (d)

Şekil 4.9. (a) Ham jüt lifi, (b) Ağartılmış jüt lifi, (c) Ham kenevir lifi, (d) Ağartılmış kenevir lifinin mikroskobik görüntüsü

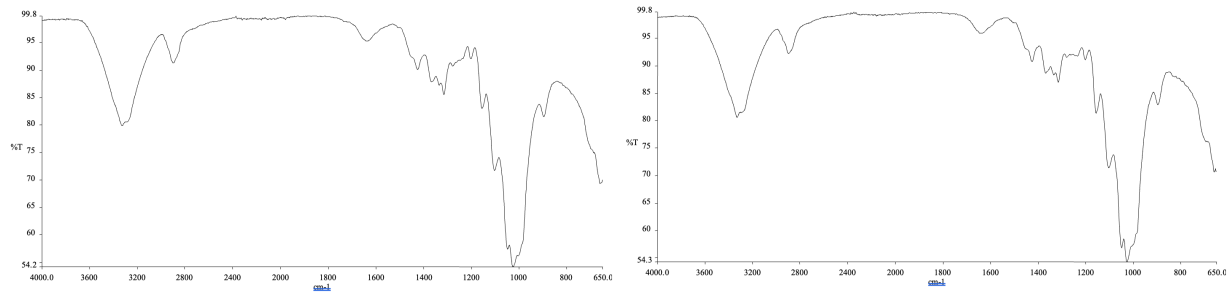
4.4 Numunelerin FTIR Analizi

FTIR spektrumları, kenevir lifinin ana selüloz yapısının boyama sonrasında bozulmadan kaldığını, O–H'nin 3300 cm^{-1} civarında gerilmesi ve C–H'nin 2900 cm^{-1} civarında gerilmesi gibi temel zirvelerin benzer kaldığını göstermektedir. O–H bölgesindeki küçük kaymalar ve parmak izi bölgesindeki (1500–650 cm^{-1}) küçük değişiklikler, boyanın lifin hidroksil gruplarıyla bağlandığını ve yeni fonksiyonel gruplar eklediğini, lifte büyük kimyasal değişiklikler olmadan başarılı boya bağlanmasını doğruladığını göstermektedir.



Şekil 4.10. HKL ve HKLK'nın FTIR Eğrisi

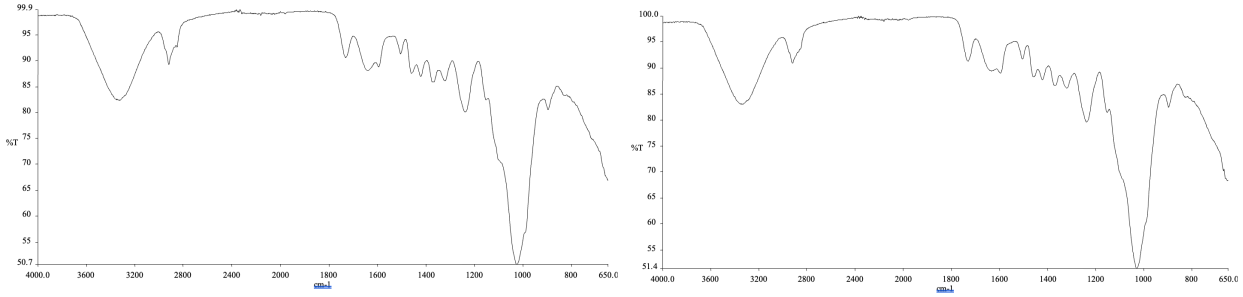
Ağartılmış kenevir lifi ve ağartılmış boyalı kenevir lifinin (kırmızı) FTIR spektrumları, O–H gerilmesi (~3300cm^{-1}) ve C–H gerilmesi (~2900cm^{-1}) bölgelerindeki benzer tepe noktalarıyla gösterildiği gibi, selüloz yapısının ağartma ve boyama sonrasında çoğunlukla değişmediğini göstermektedir. Ağartma muhtemelen lignini ve safsızlıkları azaltarak –OH tepe noktalarını biraz daha belirgin hale getirir. Ağartılmış lifin boyanması, parmak izi bölgesinde (1500–650cm^{-1}) ince yeni özellikler ekler; bu da boyanın ana selüloz omurgasını değiştirmeden hidroksil grupları aracılığıyla lifle bağlandığını düşündürmektedir.



Şekil 4.11. AKL ve AKLK'nın FTIR Eğrisi

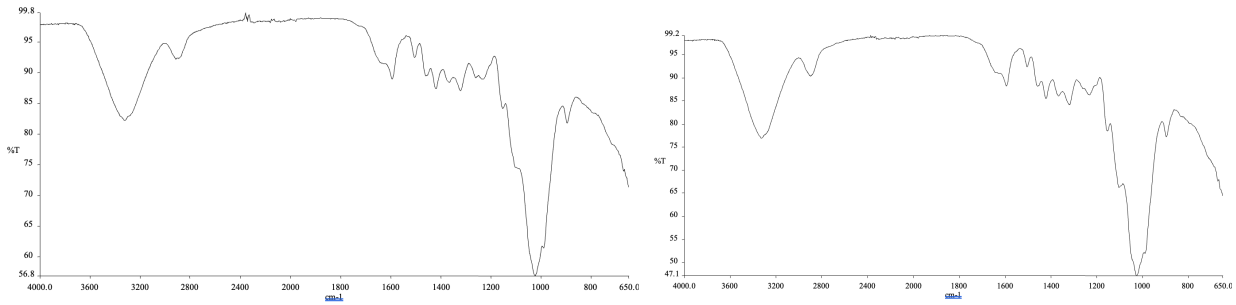
Ham jüt lifinin ve boyanmış ham jüt lifinin (kırmızı) FTIR spektrumları, ana selüloz yapısının boyama sonrasında stabil kaldığını göstermektedir. 3300cm^{-1} yakınındaki geniş O–H gerginliği ve

2900cm⁻¹ civarındaki C–H gerginliği hala mevcuttur ve bu da lifin doğal polimer omurgasının değişmediğini doğrulamaktadır. Özellikle 1500cm⁻¹ altındaki parmak izi bölgesinde küçük kaymalar ve hafif yoğunluk değişimleri, boyanın hidroksil grupları veya lignin kalıntılarıyla etkileşime girerek yeni bağlar veya fiziksel bağlantılar oluşturduğunu göstermektedir. Genel olarak spektrumlar, boyama işleminin yüzey kimyasını değiştirdiğini ancak jüt lifinin çekirdek selüloz yapısını koruduğunu göstermektedir.



Şekil 4.12. HJL ve HJLK'nın FTIR Eğrisi

Ağartılmış jüt lifi ve ağartılmış boyalı jüt lifinin (kırmızı) FTIR spektrumları, selüloz omurgasının ağartma ve boyama sonrasında sağlam kaldığını göstermektedir. 3300cm⁻¹ yakınındaki geniş O–H gerilmesi ve 2900cm⁻¹ civarındaki C–H gerilmesi her iki spektrumda da hala mevcuttur ve ana lif yapısının değişmediğini doğrulamaktadır. Boyalı numunedeki pik şeklindeki hafif değişiklikler ve parmak izi bölgesindeki (1500–650cm⁻¹) yeni sinyaller, boyanın açığa çıkan hidroksil grupları veya artık lignin bölgeleriyle etkileşime girerek ek bağlar veya bağlantılar oluşturduğunu göstermektedir. Genel olarak, bu ağartmanın lif yüzeyini temizlediğini, boyama işleminin ise çekirdek jüt lifini bozmadan yeni fonksiyonel gruplar kazandırdığını göstermektedir.



Şekil 4.13. AJL ve AJLK'nın FTIR Eğrisi

4.5 Numunelerin Beyazlık İndeksi Ölçüm Sonucu

Tüm numunelerin CIE beyazlık indeksi ölçüldü ve CIELAB (L*, a*, b* C*, h°) değerleri şu Şekildedir:

Tablo 4.3. Beyazlık indeksi sonucu

Numune	L*	a*	b*	C*	h°
AKL	93.36	-0.16	8.33	8.34	91.11
AJL	91.3	-0.64	8.66	8.68	94.25
HJL	53.14	5.73	17.99	18.88	72.34
HKL	65.13	2.15	11.42	11.62	79.34

4.6 Boyalı Numunelerin Renk Ölçümleri

CIELAB sonuçları, hem kenevir hem de jüt liflerinin ağartma ve boyamaya iyi yanıt verdiğini, ancak her lif türü içinde net davranış eğilimleri olduğunu doğrulamaktadır. Kenevir için ağartma, açıklığı (L*) önemli ölçüde artırarak lifleri daha parlak ve temiz hale getirir. Boyamadan sonra, beklendiği gibi L* azalırken, a* ve b* değerleri daha yüksek pozitif veya negatif aralıklara kayarak gölgeye bağlı olarak kırmızı ve sarı tonların ortaya çıktığını göstermektedir. Boyalı kenevir numuneleri için yüksek ΔE ve K/S değerleri, boyanmamış liflere kıyasla net, güçlü renk farklılıkları göstermektedir.

Benzer Şekilde, jüt için ağartma, L* değerini artırarak parlaklığı artırır. Boyama, L* değerini azaltır ve a* ve b* değerlerini artırarak, kırmızı tonlara doğru net renk kaymalarıyla iyi boya sabitlemesi sağlar. Yüksek ΔE değerleri, boyamadan sonra önemli görsel farklılıklar gösterir ve K/S değerleri kabul edilebilir renk gücünü doğrular.

Özetle, CIELAB verileri, ağartmanın her iki elyafın da temel beyazlığını iyileştirdiğini, boyama işleminin ise belirgin renk tonu ve kroma gelişimiyle birlikte derin, canlı renkler sağladığını göstermektedir. Bu da hem kenevirin hem de jütün sürdürülebilir tekstil uygulamalarında renk modifikasyonu için uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 4.4. Renk ölçümü test sonucu

Numune	L*	a*	b*	c*	h°	K/S	ΔE
HKL	65,13	2,15	11,42	11,62	79,34	1,48	-
HKLK	49,34	26,02	-0,50	26,03	358,91	3,33	31,003
HKLS	61,63	9,46	28,1	29,65	71,39	2,61	18,543
HKLM	44,40	-6,13	-17,75	18,77	250,95	4,36	36,725
AKL	93,36	-0,16	8,33	8,34	91,11	0,14	-
AKLK	59,36	34,53	-4,62	34,84	352,39	2,05	50,275
AKLS	78,83	13,21	34,50	36,95	69,04	1,1	32,787
AKLM	54,94	4,63	-17,70	18,30	284,66	1,64	46,661
HJL	53,14	5,73	17,99	18,88	72,34	5,13	-
HJLK	33,71	36,95	3,72	37,13	5,76	15,54	39,438
HJLS	42,26	16,24	36,95	40,36	66,27	15,87	24,254
HJLM	22,77	-2,46	-20,44	20,58	263,13	24	49,655
AJL	91,3	-0,64	8,66	8,68	94,25	0,25	-
AJLK	43,46	55,41	1,44	55,43	1,49	13,2	74,046
AJLS	70,98	30,52	72,29	78,47	67,11	8,81	73,708
AJLM	28,15	3,98	-35,06	35,28	276,47	20,4	76,941

4.7 Evsel ve Ticari Yıkamaya Karşı Renk Haslığı Testlerin Sonuçları

Yıkama haslığı sonuçları, hem kenevir hem de jüt lifleri için boya renginin performans üzerinde net bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ham ve ağartılmış kenevir için, sarı tonlar sürekli olarak daha iyi lekelenme haslığı (çoğunlukla 4-5) ve kırmızı ve mavi tonlardan biraz daha yüksek renk değişimi dereceleri (1) göstermektedir; kırmızı ve mavi tonlar daha zayıf kalmaktadır (lekelenme için 1-3, renk değişimi için 1-2). Bu, sarı boyaların yıkama koşulları altında kenevirin selüloz yapısı üzerinde daha iyi bağlanma veya fiksasyona sahip olduğunu göstermektedir. Benzer Şekilde, ham ve ağartılmış jüt için, sarı boyalı numuneler de kırmızı ve maviden daha iyi performans göstermektedir; lekelenme haslığı genellikle 2-3 ve renk değişimi 1'dir; kırmızı ve mavi tonlar ise özellikle yün ve akrilik için daha düşük dereceler göstermektedir. Genel olarak, sonuçlar ağartmanın temel beyazlığı iyileştirmeye yardımcı olduğunu ve daha açık tonlarda haslığı hafifçe artırdığını doğrularken, boyanmış kenevir ve jütün genel yıkama haslığının düşük kaldığını (çoğunlukla 1-3. dereceler) ve pratik dayanıklılığın son kullanım için sağlanması amacıyla daha iyi boya seçimi, daha güçlü fiksasyon yöntemleri veya boyama sonrası işlemlerle iyileştirilmesi gerektiğini doğrulamaktadır.

Tablo 4.5. Yıkamaya karşı renk haslığı test sonucu

Numune	Renk Boyama						Renk Değişimi
	Asetat	Pamuk	Naylon 6.6	Polyester	Akrilik	Yün	
HJLK	1-2	2-3	2-3	3-4	2	1-2	2
HJLS	4	4-5	4-5	4-5	4	2	1-2
HJLM	1-2	2-3	1-2	4	3-4	1-2	1-2
AKLK	2-3	3	2-3	3-4	3	2-3	1-2
AKLS	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	1
AKLM	2	3	2	3-4	3-4	3-4	1
HJLK	2	2-3	3-4	2-3	2-3	1-2	2-3
HJLS	2-3	3	2-3	4	3	2	2
HJLM	1-2	2	1-2	2-3	1-2	1-2	1-2
AJLK	1	2	2	3	2-3	1-2	1-2
AJLS	2-3	3	2-3	3-4	3-4	3	1
AJLM	1-2	2-3	2	3	3	2-3	1

5 SONUÇ

Bu çalışma, çevresel sürdürülebilirliğe yönelik artan küresel ilgi doğrultusunda tekstil endüstrisinde sentetik liflere alternatif olabilecek doğal, biyolojik olarak parçalanabilir bast liflerinden jüt ve kenevirin farklı boyama koşulları altındaki yapısal özelliklerini ve boyama davranışlarını incelemeyi amaçlamıştır. Literatür taraması ve deneysel analizlerin ardından, her iki lifin de kendine özgü avantaj ve sınırlılıkları olduğu ortaya konmuştur. Yüksek çekme mukavemeti, kristal yapının düzenliliği ve termal kararlılığı ile öne çıkan kenevir lifi; teknik tekstiller, kompozitler ve uzun ömürlü moda ürünleri gibi yüksek mekanik dayanım gerektiren uygulamalar için uygun bir adaydır. Buna karşın, jüt lifi daha yüksek nem geri kazanımı ve boyar maddeye karşı daha yüksek afinite göstermesi nedeniyle estetik kaygıların ön planda olduğu ev tekstilleri ve giyim ürünlerinde değerlendirilebilecek bir lif olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, jüt liflerinin daha kaba yapıda olması ve mekanik özelliklerinin kenevir kadar güçlü olmaması sınırlayıcı bir faktör olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın temel amacı doğrultusunda gerçekleştirilen boyama işlemleri, liflerin yapısal bütünlüğü ve kimyasal özellikleri üzerinde önemli etkiler yaratmıştır. FTIR spektroskopisi ile yapılan analizler, her iki lifte de özellikle hidroksil ve karbonil gruplarında kimyasal değişiklikler meydana geldiğini ortaya koymuş; bu durum, boyama işlemi sırasında kısmi moleküler modifikasyonların oluştuğunu düşündürmektedir. Liflerin boyama öncesi ve sonrası uzunluk, çekme mukavemeti ve beyazlık indeksi gibi mekanik ve optik özelliklerinde meydana gelen değişimler de nicel olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, boyama işlemi her iki lifte de belirli düzeyde mekanik bozulmaya neden olmuş; ancak kenevir lifi, genel olarak yapısal bütünlüğünü jüte kıyasla daha iyi korumuştur.

Kolorimetrik analiz sonuçları, Datacolor sistemleri kullanılarak elde edilmiş ve jüt liflerinin bazı tonlarda daha yüksek K/S değerleri göstererek boyar maddenin lif içerisine daha derinlemesine nüfuz ettiğini ortaya koymuştur. Bu durum, jütün daha kolay renklendirilebilen bir lif olduğunu göstermektedir. Ancak, ISO 105-C06:2001 standardına göre gerçekleştirilen renk haslığı testlerinde, jüt liflerinin daha fazla renk akması ve lekelenme eğilimi gösterdiği, kenevir liflerinin ise daha üstün yıkama direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Jüt liflerindeki bu olumsuzluklar, tannik asit gibi doğal mordanların kullanımı ile kısmen giderilebilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu araştırma jüt ve kenevir liflerinin sürdürülebilir tekstil üretimi açısından yüksek potansiyele sahip olduğunu, ancak uygulanacak son kullanım alanına göre liflerin işlenme biçimi ve boyama parametrelerinin dikkatle optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Boya türü seçimi, pH kontrolü, ön işlem uygulamaları ve mordan kullanımı gibi boyama değişkenlerinin, lifin nihai performansı üzerinde belirleyici etkileri bulunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, jüt ve kenevir liflerinin boyama işlemlerine verdiği tepkileri karşılaştırmalı olarak ortaya koyarak, doğal lif temelli sürdürülebilir tekstil üretimi literatürüne önemli katkılar sunmuştur. Söz konusu bast liflerinin tekstil sektöründe daha geniş bir uygulama alanına sahip olabilmesi için, enzimatik veya çevre dostu boyama tekniklerinin geliştirilmesine ve liflerin fizikokimyasal özelliklerini iyileştirecek ileri işleme yöntemlerine yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, geleneksel doğal kaynakların modern sürdürülebilir üretim teknikleri ile entegre edilmesi, tekstil endüstrisinin döngüsel ekonomiye geçişinde stratejik bir rol oynayacaktır.

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, jüt ve kenevir liflerinin boyanabilirlik performanslarını ve yapısal tepkilerini daha etkili şekilde değerlendirmek adına bazı öneriler geliştirilmiştir. Öncelikle, boyama işlemlerinin her bir lifin özgün yapısal özelliklerine göre optimize edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Özellikle jüt liflerinde gözlemlenen düşük renk haslığı ve lekelenme problemleri, uygun ön işlemler ve doğal mordan kullanımı ile iyileştirilebilir. Tannik asit gibi çevre dostu mordanların sistematik biçimde uygulanması, jütün renk kalıcılığını artırabilirken çevresel etkileri de minimumda tutacaktır. Ayrıca, liflerin yapısını bozmayacak şekilde geliştirilecek enzimatik, plazma ya da ozon gibi alternatif ön işlem yöntemleri, hem boyar maddeye olan afiniteyi artırabilir hem de liflerin mekanik özelliklerini daha iyi koruyabilir. Bunun yanı sıra, jüt ve kenevir liflerinin sahip oldukları farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerin, kullanım alanlarına göre ayrıştırılarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Kenevirin yüksek çekme mukavemeti ve termal dayanıklılığı, onu teknik tekstiller ve dayanıklı giyim ürünleri için uygun kılarken; jütün daha kolay boyanabilir olması ve yüksek nem tutma kapasitesi, ev tekstilleri ve dekoratif amaçlı ürünlerde değerlendirilmesini önermektedir. Sürdürülebilir tekstil üretiminin bir gereği olarak, boyama sırasında su tüketimini azaltan, daha az kimyasal içeren ve düşük enerji tüketimiyle gerçekleştirilebilecek çevre dostu proseslerin geliştirilmesi de öncelikli hedefler arasında yer almalıdır.

Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalar kapsamında, farklı boyar madde türlerinin (örneğin doğal, reaktif veya metal kompleks boyalar) liflerle etkileşiminin araştırılması, boyama performansına dair daha geniş bir bakış açısı sunabilir. Ayrıca, boyama sonrası liflerin uzun dönemli mekanik dayanıklılığının izlenmesi, özellikle son kullanım performansı açısından önemli veriler sağlayacaktır. Jüt ve kenevirin pamuk, keten veya geri dönüştürülmüş sentetik liflerle karışım halinde kullanılması, hem sürdürülebilirlik açısından yeni alternatifler sunabilir hem de ürün çeşitliliğini artırabilir. Liflerin antibakteriyel, su itici veya UV dayanımlı hale getirilmesi gibi fonksiyonel yüzey modifikasyonlarına dair uygulamaların incelenmesi de önemli araştırma alanları arasında yer almaktadır. Son olarak, bu liflerin üretimden bertarafa kadar olan süreçlerini kapsayan yaşam döngüsü analizlerinin yapılması, çevresel sürdürülebilirlik açısından bütüncül bir değerlendirme sağlayacaktır. Bu bağlamda, doğal kaynakların modern üretim teknikleriyle entegre edilmesi, tekstil endüstrisinin döngüsel ekonomiye geçiş sürecine önemli katkılar sunabilir.

6 KAYNAKÇA

[1] "Octoen," Ocoten, [Online]. Available: https://www.octoen.com/en/blog/what-is-sustainability-why-it-matters. [Accessed 7 2024].

[2] "UCLA Sustainability," University of California, [Online]. Available: https://www.sustain.ucla.edu/what-is-sustainability/. [Accessed 7 2024].

[3] T. Kuhlman and J. Farrington, "What is Sustainability?," *Sustainability,* vol. 2, no. 11, pp. 3436-3448, 2010.

[4] T. Sarwar and S. Khan, "Textile Industry: Pollution Health Risks and Toxicity," in *Textile Wastewater Treatment*, Singapore, Springer, 2022, p. 1–28.

[5] S. Khan and A. Malik , "Environmental and Health Effects of Textile Industry Wastewater," in *Environmental Deterioration and Human Health*, Dordrecht, Springer, 2013, p. 55–71.

[6] U. Nimkar, "Sustainable chemistry: A solution to the textile industry in a developing world," *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry,* vol. 9, pp. 13-17, 2018.

[7] "Topics | European Parliament," 29 12 2020. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics. [Accessed 24 7 2024].

[8] A. K. R. Choudhury, "Environmental Impacts of the Textile Industry and Its Assessment Through Life Cycle Assessment," in *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, Singapore, Springer, 2014, p. 1–39.

[9] E. Nieminen-Kalliala, "ENVIRONMENTAL INDICATORS OF TEXTILE PRODUCTS FOR ISO (TYPE III) ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION," *AUTEX Research Journal,* vol. 3, no. 4, p. 206–218, 2003.

[10] A. K. R. Choudhury, "Green chemistry and the textile industry," *Textile Progress,* vol. 45, no. 1, pp. 3-143 , 2013.

[11] N. Levi, A. M. Khenkin, B. Hailegnaw and R. Neumann, "https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6b01071," *ACS Sustainable Chemistry & Engineering,* vol. 4, no. 10, p. 5799–5803, 2016.

[12] A. Kafy, H. C. Kim, L. Zhai, J. W. Kim, L. V. Hai, T. J. Kang and J. kim, "Cellulose long fibers fabricated from cellulose nanofibers and its strong and tough characteristics," *Scientific Reports,* vol. 7, 2017.

[13] M. A. Akhlaghi, R. Bagherpour and H. Kalhori, "Application of bacterial nanocellulose fibers as reinforcement in cement composites," *Construction and Building Materials,* vol. 241, p. 118061, 2020.

[14] F. Sharif, N. Muhammad and T. Zafar , "Cellulose Based Biomaterials: Benefits and Challenges," in *Biofibers and Biopolymers for Biocomposites*, Springer, 2020, p. 229–246 .

[15] C. Brigham, "Chapter 3.22 - Biopolymers: Biodegradable Alternatives to Traditional Plastics," in *Green Chemistry*, Elsevier, 2018, pp. 753-770.

[16] V. K. Thakur and M. K. Thakur, "Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites," *Carbohydrate Polymers,* vol. 109, pp. 102-117, 2014.

[17] C. Yu, "Chapter 2 - Natural Textile Fibres: VegeTablo Fibres," in *Textiles and Fashion*, Woodhead Publishing , 2015, pp. 29-56.

[18] B. M. Eid and N. A. Ibrahim , "Recent developments in sustainable finishing of cellulosic textiles employing biotechnology Author links open overlay panel," *Journal of Cleaner Production,* vol. 284, 2021.

[19] H. C. Kim, D. Kim, J. Y. Lee, L. Zhai and J. Kim, "Effect of Wet Spinning and Stretching to Enhance Mechanical Properties of Cellulose Nanofiber Filament," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology,* vol. 6, p. 567–575, 2019.

[20] M. R. Havstad, "Chapter 5 - Biodegradable plastics," in *Plastic Waste and Recycling*, Academic Press, 2020, pp. 97-129.

[21] F. M. Haemmerle, "THE CELLULOSE GAP (THE FUTURE OF CELLULOSE FIBRES)," *Lenzinger Berichte ,* vol. 89, 2011.

[22] M. Ansell and L. Mwaikambo, "2 - The structure of cotton and other plant fibres," in *Handbook of Textile Fibre Structure*, Woodhead Publishing, 2009, pp. 62-94.

[23] J. Wang, J. Tavakoli and Y. Tang, "Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review," *Carbohydrate Polymers,* vol. 219, pp. 63-76 , 2019.

[24] P. Navard, he European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE): research initiatives and results, Springer Science & Business Media, 2012.

[25] T. Karthik and R. Rathinamoorthy, "8 - Sustainable synthetic fibre production," in *Sustainable Fibres and Textiles*, Woodhead Publishing, 2017, pp. 191-240.

[26] "United States Department of Agriculture," United States Department of Agriculture, [Online]. Available: https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2631000. [Accessed 27 7 2024].

[27] "International Cotton Advisory Committee," International Cotton Advisory Committee, [Online]. Available: https://icac.org/DataPortal/DataPortal.

[28] A. Ç. Kılınç, C. Durmuşkahya and M. Ö. Seydibeyoğlu, "10 - Natural fibers," in *Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites*, Woodhead Publishing, 2017, pp. 209-235.

[29] P. Venugopa, B. Giasuddin and J. Sivaji , "Ethics and Social Responsibility in Indian Textile Industry (A Study on Textile Industries of Coimbatore and Tirupur, Tamil Nadu)," *Chanakya International Journal of Business Research,* vol. 1, no. 1, p. 62, 2015.

[30] M. McNeil, A. G. Darvill, S. C. Fry and P. Albersheim, "Structure and function of the primary cell walls of plants," *Annu Rev Biochem,* vol. 53, pp. 625-63, 1984.

[31] P. J. Harris, "Primary and secondary plant cell walls: A comparative overview," *New Zealand Journal of Forestry Science,* vol. 36, no. 1, pp. 36-53, 2006.

[32] A. Kicińska-Jakubowska, E. Bogacz and M. Zimniewska, "Review of Natural Fibers. Part I—VegeTablo Fibers," *Journal of Natural Fibers,* vol. 9, no. 3, p. 150–167, 2012.

[33] M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu, G. C. Yang and H. M. Zeng, "The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites," *Composites Science and Technology,* vol. 61, no. 10, pp. 1437-1447, 2001.

[34] H. Dhakal and Z. Zhang, "3 - The use of hemp fibres as reinforcements in composites," in *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, Woodhead Publishing, 2015, pp. 86-103.

[35] A. Bunsell, Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres, 2009: Woodhead Publishing.

[36] A. Bledzki and J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres," *Progress in Polymer Science,* vol. 24, no. 2, pp. 221-274, 1999.

[37] S. Roy and L. Lutfar , "Bast fibres: Jute," in *Handbook of Natural Fibres*, Woodhead Publishing, 2012, pp. 24-46.

[38] T. Sanyal, Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering, Singapore: Springer Singapore, 2018.

[39] K. N. Keya, A. N. Kona, F. A. Koly and M. K. Maraz , "Natural fiber reinforced polymer composites: history, types, advantages, and applications," *Materials Engineering Research,* vol. 1, no. 2, p. 69–87, 2019.

[40] T. O. Ali, A Local History of Global Capital: Jute and Peasant Life in the Bengal Delta, Princeton University Press, 2018.

[41] M. M. Islam, "Advanced Production Technology and Processing of Jute," in *Agronomic Crops, Volume 1: Production Technologies*, Singapore, Springer, 2019, pp. 387-440.

[42] V. Duppala, K. Srinivas and A. L. Naidu, "A REVIEW ON JUTE STEM FIBER AND ITS COMPOSITES," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT),* vol. 6, no. 1, pp. 1-9, 2017.

[43] A. Dubey , V. Chauhan, R. Pandey , M. M. Dubey and S. Debnath , "Golden Fiber Jute: A Treasurable Sustainable Material," in *Recycling from Waste in Fashion and Textiles*, 2020, pp. 341-362.

[44] M. S. Rahman, "Jute – A Versatile Natural Fibre. Cultivation, Extraction and Processing," in *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*, 2010, pp. 135 - 161.

[45] S. Das, V. B. Shambhu and L. K. Nayak, "Development of Decision Support System for Jute Grading," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering,* vol. 3, no. 8, pp. 754-758, 2018.

[46] A. Ghosh and S. Das, "Raw Jute Grading By Multi-Criteria Decision Making Method," *Journal of Natural Fibers,* vol. 10, no. 2, pp. 136-146, 2013.

[47] S. Agarwal, S. Chakraborty and S. Chakraborty , "A DEMATEL-MABAC-based approach for grading and evaluation of jute fibers," *Research Journal of Textile and Apparel,* vol. 24, no. 4, 2020.

[48] S. Das and A. Ghosh, "A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach for Grading of Raw Jute," *Journal of Natural Fibers,* vol. 18, no. 5, pp. 685-693, 2019.

[49] S. Biswas, Q. Ahsan, A. Cenna, M. Hasan and A. Hassan , "Physical and mechanical properties of jute, bamboo and coir natural fiber," *Fibers and Polymers ,* vol. 14, p. 1762–1767, 2013.

[50] D. Ray and B. K. Sarkar , "Characterization of alkali-treated jute fibers for physical and mechanical properties," *Journal of Applied Polymer Science,* vol. 80, no. 7, pp. 1013 - 1020, 2001.

[51] A. Majumder, . F. Stochino, I. Farina, M. Valdes, F. Fraternali and E. Martinelli , "Physical and mechanical characteristics of raw jute fibers, threads and diatons," *Construction and Building Materials,* vol. 326, 2002.

[52] S. Shahinur , M. Hasan , Q. Ahsan and D. k. Saha , "Characterization on the Properties of Jute Fiber at Different Portions," *International Journal of Polymer Science,* vol. 2, pp. 1-6, 2015.

[53] S. K. Kundu, P. K. Ray, S. K. Sen and S. K. Bhaduri, "Structure and physical properties of grafted jute fiber," *Journal of Polymer Science ,* vol. 55, pp. 543-547, 1995.

[54] V. Mishra and B. Sandhyarani Biswas, "Physical and Mechanical Properties of Bi-directional Jute Fiber Epoxy Composites," *Procedia Engineering,* vol. 51, pp. 561-566, 2013.

[55] H. Koruk, G. Genc and H. Yuce, "Jute and luffa fibers: Physical, acoustical, and mechanical properties," in *Cellulose Fibre Reinforced Composites*, 2003, pp. 357-378.

[56] S. Biswas, S. Shahinur, M. Hasan and Q. Ahsan, "Physical, Mechanical and Thermal Properties of Jute and Bamboo Fiber Reinforced Unidirectional Epoxy Composites," *Procedia Engineering,* vol. 105, pp. 933-939, 2015.

[57] M. S. Rana, M. A. Rahim, M. P. Mosharraf, M. F. K. Tipu, J. A. Chowdhury, M. R. Haque, S. Kabir, M. S. Amran and A. A. Chowdhury, "Morphological, Spectroscopic and Thermal Analysis of Cellulose Nanocrystals Extracted from Waste Jute Fiber by Acid Hydrolysis," *Polymers,* vol. 15, no. 6, 2023.

[58] W.-m. Wang, Z.-s. Cai, J.-y. Yu and Z.-p. Xia , "Fibers and Polymers," *Fibers and Polymers ,* vol. 10, p. 776–780, 2010.

[59] M. Dewan, "Physical, Mechanical, and Degradability Properties of Chemically Treated Jute Fiber Reinforced Biodegradable Nanocomposites," *Journal of Engineering Materials and Technology,* vol. 133, no. 4, pp. 041003-09, 2011.

[60] H. Wang , H. Memon, E. A. M. Hassan and M. S. Miah, "Effect of Jute Fiber Modification on Mechanical Properties of Jute Fiber Composite," *Materials,* vol. 12, no. 8, 2019.

[61] S. Chokshi, V. Parmar, P. Gohil and V. Chaudhary, "Chemical Composition and Mechanical Properties of Natural Fibers," *Journal of Natural Fibers,* vol. 19, no. 10, pp. 3942-3953, 2022.

[62] W. Wang, B. Xu, Z. Cai and J. Yu, "Study on chemical modification and dyeing properties of jute fiber," *The Journal of The Textile Institute,* vol. 101, no. 7, pp. 613-620, 2010.

[63] A. K. Mohanty and M. Misra, "Studies on Jute Composites—A Literature Review," *Polymer-Plastics Technology and Engineering,* vol. 34, no. 5, pp. 729-792, 2006.

[64] W.-M. Wang , Z.-S. Cai and J.-Y. Yu , "Study on the Chemical Modification Process of Jute Fiber," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics,* vol. 9, no. 2, pp. 23-29, 2010.

[65] A. K. Samanta, A. Mukhopadhyay and S. K. Ghosh, "2 - Processing of jute fibres and its applications," in *Handbook of Natural Fibres (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2020, pp. 49-120.

[66] U. Datta, "Application of Jute Geotextiles," *Journal of Natural Fibers,* vol. 4, no. 3, pp. 67-82, 2009.

[67] B. Chattopadhyay and S. Chakravarty, "Application of jute geotextiles as facilitator in drainage," *Geotextiles and Geomembranes,* vol. 27, no. 2, pp. 156-161, 2009.

[68] M. A. Ashraf , M. A. Zwawi , T. Mehran , R. Kanthasamy and A. Bahadar , "Jute Based Bio and Hybrid Composites and Their Applications," *Fibers,* vol. 7(9), no. 77, 2019.

[69] S. Maity, K. Singha, D. P. Gon, P. Paul and M. Singha, "A Review on Jute Nonwovens: Manufacturing, Properties and Applications," *International Journal of Textile Science,* vol. 1, no. 5, pp. 36-43, 2012.

[70] A. Bismarck, S. Mishra and T. Lampke, "Plant fibers as reinforcement for green composites," in *Natural Fibres, Biopolymers and Biocomposites*, Boca Raton, CRC Press, 2005, pp. 37-108.

[71] T. Zhao, W. Xia, B. Li, K. Nie, Y. Zhang, G. Han, W. Jiang and H. Ben, "A novel eco–friendly solid–state degumming method for extraction of hemp fibers," *Journal of Cleaner Production,* vol. 435, p. 140549, 2024.

[72] F. John, "The History of Hemp," in *Industrial Hemp as a Modern Commodity Crop*, 2019, pp. 1-25.

[73] E. B. Russo, "History of cannabis and its preparations in saga, science, and sobriquet," *Chemistry & Biodiversity,* vol. 4, no. 8, pp. 1614-48, 2007.

[74] E. Small, "Classification of Cannabis sativa L. in Relation to Agricultural, Biotechnological, Medical and Recreational Utilization," in *Cannabis sativa L. - Botany and Biotechnology* , Springer, Cham. , 2017, p. 1–62.

[75] M. Kobayashi , A. Momohara , S. Okitsu , S. Yanagisawa and T. Okamoto , "Fossil hemp fruits in the earliest Jomon period from the Okinoshima site, Chiba Prefecture, Japan," *Japanese Journal of Historical Botany,* vol. 16, no. 1, pp. 11-18, 2008.

[76] J. Ding, C. Zhou and Z. Dong, "Trend of ramie industry development: A review of green degumming and the utilization of processing residues," *Journal of Cleaner Production,* vol. 384, 2023.

[77] T. Zhao, B. Li, K. Nie, H. Ben, X. Yang, Y. Zhang, G. Han and W. Jiang, "A novel cascade glycolic acid pretreatment-alkali degumming method for producing hemp fiber," *Industrial Crops and Products,* vol. 195, 2023.

[78] P. Lyu, L. Xia, X. Jiang, X. Liu, W. Xu, C. Hurren and X. Wang, "Efficient extraction of technical fibers from hemp in an ethanol-water mixture," *Industrial Crops and Products,* vol. 178, 2022.

[79] P. Amarasinghe, C. Pierre, M. Moussavi, A. Geremew, S. Woldesenbet and A. Weerasooriya, "The morphological and anatomical variability of the stems of an industrial hemp collection and the properties of its fibres," *Heliyon,* vol. 8, no. 4, 2022.

[80] B. Madsen, "Properties of Plant Fiber Yarn Polymer Composites: An Experimental Study," Technical University of Denmark, 2004.

[81] A. Thygesen, "Properties of hemp fibre polymer composites - An optimisation of fibre properties using novel defibration methods and fibre characterisation," Risø National Laboratory, 2006.

[82] T. Thamae, S. Aghedo , C. Baillie and D. Matovic, "4 - Tensile properties of hemp and Agave americana fibres," in *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*, Woodhead Publishing , 2009, pp. 73-99.

[83] A. Bledzki and J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres," *Progress in Polymer Science,* vol. 24, no. 2, pp. 221-274, 1999.

[84] A. Shahzad, "A Study in Physical and Mechanical Properties of Hemp Fibres," *Advances in Materials Science and Engineering,* 2013.

[85] T. Magrabi, "Leafwell," [Online]. Available: https://leafwell.com/blog/female-vs-male-weed-plants. [Accessed 22 7 2024].

[86] V. M. C. Moliterni, L. Cattivelli, P. Ranalli and G. Mandolino , "The sexual differentiation of Cannabis sativa L.: A morphological and molecular study," *Euphytica ,* vol. 140, p. 95–106, 2004.

[87] M. Ramesh, "9 - Hemp, jute, banana, kenaf, ramie, sisal fibers," in *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres (Second Edition)* , Woodhead Publishing, 2018, pp. 301-325.

[88] T. Sengloung, L. Kaveeta and J. Müssig, "Physical Properties of Traditional Thai Hemp Fiber (Cannabis sativa L.)," *Journal of Industrial Hemp,* vol. 1, no. 13, pp. 20-36, 2008.

[89] J. Müssig and R. Martens, "Quality Aspects in Hemp Fibre Production—Influence of Cultivation, Harvesting and Retting," *Journal of Industrial Hemp,* vol. 8, no. 1, pp. 11-32, 2003.

[90] T. Chen , W. Liu and R. Qiu, "Mechanical Properties and Water Absorption of Hemp Fibers–Reinforced Unsaturated Polyester Composites: Effect of Fiber Surface Treatment with a Heterofunctional Monomer," *BioResources,* vol. 8, no. 2, pp. 2780-2791, 2013.

[91] J. P. Manaia, A. T. Manaia and L. Rodriges, "Industrial Hemp Fibers: An Overview," *Fibers,* vol. 7, no. 2, 2019.

[92] T. Thamae, S. Aghedo, C. Baillie and D. Matovic, "4 - Tensile properties of hemp and Agave americana fibres," in *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*, Woodhead Publishing, 2009, pp. 73-99.

[93] G.-Y. Zheng, "Numerical Investigation of Characteristic of Anisotropic Thermal Conductivity of Natural Fiber Bundle with Numbered Lumens," *Mathematical Problems in Engineering,* 2014.

[94] M. Zimniewska, "Hemp Fibre Properties and Processing Target Textile: A Review," *Materials ,* vol. 15, no. 5, 2022.

[95] F. P. Teixeira, O. Gomes and F. d. A. Silva, "Degradation Mechanisms of Curaua, Hemp, and Sisal Fibers Exposed to Elevated Temperatures," *BioResources,* vol. 14, no. 1, 2019.

[96] L. Mohammed , M. Ansari , G. Pua , M. Jawaid and M. S. Islam , "A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications," *International Journal of Polymer Science,* 2015.

[97] S. Kobayashi, K. Takada and R. Nakamura, "Processing and characterization of hemp fiber textile composites with micro-braiding technique," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,* vol. 59, pp. 1-8, 2014.

[98] A. K. Mohanty, M. Misra, L. T. Drzal, S. E. Selke, B. R. Harte and G. Hinrichsen, "Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction," in *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, CRC Press, 2005.

[99] K. G. Satyanarayana, K. K. Ravikumar, K. Sukumaran, P. S. Mukherjee, S. G. K. Pillai and A. G. Kulkarni , "Structure and properties of some vegeTablo fibres," *Journal of Materials Science,* vol. 21, p. 57–63, 1986.

[100] L. J. Gibson , "The hierarchical structure and mechanics of plant materials," *Journal of the Royal Society Interface,* vol. 9, no. 76, pp. 2749-66, 2012.

[101] B. Saake and R. Lehnen, "Lignin," in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2011.

[102] S. Y. Lin and S. E. Lebo , "Lignin," in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 2000.

[103] "Grand View Research," Grand View Research, Inc., [Online]. Available: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/industrial-hemp-market. [Accessed 22 7 2024].

[104] M. Muzyczek, "4 - The use of flax and hemp for textile applications Author links open overlay panel," in *Handbook of Natural Fibres (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2020, pp. 147-167.

[105] I. N. Grubeša, B. Marković, A. Gojević and J. Brdarić, "Effect of hemp fibers on fire resistance of concrete," *Construction and Building Materials,* vol. 184, pp. 473-484, 2018.

[106] L. Nunes, "3 - Nonwood bio-based materials," in *Performance of Bio-based Building Materials*, Woodhead Publishing, 2017, pp. 97-186.

[107] F. M. AL-Oqla and S. Sapuan, "Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry," *Journal of Cleaner Production,* vol. 66, pp. 347-354, 2014.

[108] E. Awwad, M. Mabsout, B. Hamad, M. T. Farran and H. Khatib, "Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers," *Construction and Building Materials,* vol. 35, pp. 710-717, 2012.

[109] A. Tran Le, C. Maalouf, T. Mai , E. Wurtz and F. Collet, "Transient hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope," *Energy and Buildings,* vol. 42, no. 10, pp. 1797-1806, 2010.

[110] A. Santoni, P. Bonfiglio, P. Fausti, C. Marescotti, V. Mazzanti , F. Mollica and F. Pompoli, "Improving the sound absorption performance of sustainable thermal insulation materials: Natural hemp fibres," *Applied Acoustics,* vol. 150, pp. 279-289, 2019.

[111] A. K. Mohanty, M. Misra and L. T. Drzal , "Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World," *Journal of Polymers and the Environment ,* vol. 10, p. 19–26, 2002.

[112] K. Pickering, M. A. Efendy and T. Le, "A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,* vol. 83, pp. 98-112, 2016.

[113] E. Sarikaya, H. Çallioğlu and H. Demirel , "Production of epoxy composites reinforced by different natural fibers and their mechanical properties," *Composites Part B: Engineering,* vol. 167, pp. 461-466, 2019.

[114] A. Khatri , M. H. Peerzada, M. Mohsin and M. White, "A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution," *Journal of Cleaner Production,* vol. 87, pp. 50-57, 2015.

[115] M. Clark, "Fundamental principles of dyeing," in *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*, Woodhead Publishing, 2011, pp. 3-27.

[116] T. A. Khattab, M. S. Abdelrahman and M. Rehan, "Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation," *Environmental Science and Pollution Research,* vol. 27, p. 3803–3818, 2019.

[117] S. B. Moore and L. W. Ausley, "Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies and benefits," *Journal of Cleaner Production,* vol. 12, no. 6, pp. 585-601, 2004.

[118] S. Adanur, Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles, New York: Routledge, 1995.

[119] D. M. W. N. Hitchens, M. Trainor, J. Clausen, S. Thankappan and B. Marchi, Small and Medium Sized Companies in Europe, Heidelberg: Springer, 2003.

[120] J. Chakraborty, "17 - Dyeing with basic dye," in *Fundamentals and Practices in Colouration of Textiles*, Woodhead Publishing, 2014, pp. 200-208.

[121] M. Clark, "1 - Fundamental principles of dyeing Author links open overlay panel," in *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*, Woodhead Publishing, 2011, pp. 3-27.

[122] I. Holme, "9 - Coloration of technical textiles," in *Handbook of Technical Textiles (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2016, pp. 231-284.

[123] H. Leube, "Textile Dyeing," in *Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications*, Wiley, 2002, pp. 339-425.

[124] B. Al-Duri and G. McKay , "Prediction of binary systems for kinetics of batch adsorption using basic dyes onto activated carbon," *Chemical Engineering Science,* vol. 46, no. 1, pp. 193-204, 1991.

[125] S. Benkhaya, S. M' rabet and A. El Harfi, "A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes," *Inorganic Chemistry Communications,* vol. 115, 2020.

[126] G. Hirsch, Dyeing and chemical technology of textile fibers, Acta Polym, 1985.

[127] V. A. Shenai, Chemistry of Dyes and Principles of Dyeing, Mumbai: Sevak, 1983.

[128] M. A. R. Bhuiyan, A. Shaid, M. M. Bashar and P. Sarkar, "Investigation on Dyeing Performance of Basic and Reactive Dyes Concerning Jute Fiber Dyeing," *Journal of Natural Fibers,* vol. 13, no. 4, pp. 492-501, 2016.

[129] S. Adeel, M. Usman, W. Haider, M. Saeed, M. Muneer and M. Ali, "Dyeing of gamma irradiated cotton using Direct Yellow 12 and Direct Yellow 27: improvement in colour strength and fastness properties," *Cellulose,* vol. 22, p. 2095–2105, 2015.

[130] S. M. Burkinshaw and G. Salihu, "The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres: Part 3 theoretical model to describe the role of inorganic electrolytes used in dyeing cellulosic fibres with direct dyes," *Dyes and Pigments,* vol. 161, pp. 546-564, 2019.

[131] M. Khatri, F. Ahmed, I. Shaikh, D.-N. Phan, Q. Khan, Z. Khatri, H. Lee and I. S. Kim, "Dyeing and characterization of regenerated cellulose nanofibers with vat dyes," *Carbohydrate Polymers,* vol. 174, pp. 443-449, 2017.

[132] H. Wakoh , M. Furuie, D. Inaba , N. Azuma , K. Nakane , N. Ogata , T. Shimizu and O. Ishimaru , "Deep-colour vat dyeing of cotton knit fabric on a modified jet dyeing machine," *Review of Progress in Coloration and Related Topics,* vol. 131, no. 2, 2015.

[133] M. J. DOMINGO, J. M. BLANQUERA and Y. GARCIA, "New sustainable range of sulfur dyes for textile and paper dyeing". Patent WO2013007358A1, 2016.

[134] J. N. Chakraborty and P. Jaruhar, "Cotton Dyeing with Sulfur Dyes using Alkaline Enzymes as Alternate Reducing Systems," *AATCC Journal of Research,* vol. 4, no. 5, pp. 6-13, 2017.

[135] S. Chokshi, P. Gohil, A. Lalakiya, P. Patel and A. Parmar, "Tensile strength prediction of natural fiber and natural fiber yarn: Strain rate variation upshot," *Materials Today: Proceedings,* vol. 27, no. 2, pp. 1218-1223, 2020.

[136] V. Sahu, S. Kumar and R. Kumar, "SIMPLIFIED STRESS CALCULATION METHOD FOR HELICAL SPRING," *INTERNATONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN TECHNOLOGY,* vol. 1, no. 6, pp. 1623-1631, 2014.

[137] S. B. Vukušić, S. F. Grgac, A. Budimir and S. Kalenić , "Cotton textiles modified with citric acid as efficient anti-bacterial agent for prevention of nosocomial infections," *Croatian medical journal,* vol. 52, no. 1, pp. 68-75, 2011.

[138] F. S. Ghaheh, S. M. Mortazavi, F. Alihosseini, A. Fassihi, A. S. Nateri and D. Abedi, "Assessment of antibacterial activity of wool fabrics dyed with natural dyes," *Journal of Cleaner Production,* vol. 72, pp. 139-145, 2014.

[139] E. T. Güzel and R. Karadag, "Sustainability of Organic Cotton Fabric Dyeing with a Natural Dye (Gallnut) and Analysis by Multi-technique Approach," *Journal of Natural Fibers ,* vol. 18, no. 8, 2021.

[140] E. T. Güzel and R. Karadag, "Sustainability of Organic Cotton Fabric Dyeing with a Natural Dye (Gallnut) and Analysis by Multi-technique Approach," *Journal of Natural Fibers,* vol. 18, no. 8, pp. 1107-1118, 2021.

[141] H. Memon, N. A. Khoso and S. Memon, "Effect of dyeing parameters on physical properties of fibers and yarns," *International Journal of Applied Sciences and Engineering Research,* vol. 4, no. 4, pp. 401-407, 2015.

[142] M. Z. Islam, E. C. Sabir and M. Syduzzaman, "Experimental investigation of mechanical properties of jute/hemp fibers reinforced hybrid polyester composites," *SPE Polymers,* vol. 5, no. 2, pp. 192-205, 2024.

[143] W.-m. Wang, Z.-s. Cai, J.-y. Yu and Z.-p. Xia , "Changes in composition, structure, and properties of jute fibers after chemical treatments," *Fibers and Polymers,* vol. 10, p. 776–780, 2010.

[144] Y. Elmogahzy and R. Farag, "7 - Tensile properties of cotton fibers: Importance, research, and limitations," in *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres (Second Edition)* , Woodhead Publishing, 2018, pp. 223-273.

[145] S. Tripa, N. Kadınkız , A. Kanwal, M. A. Nazeer, A. Nazir , F. Tripa and M. Uzun, "Analysing the Impact of the Bleaching Process on Wet Spun Hemp Yarn Properties," *Sustainability,* vol. 15, no. 24, 2023.

[146] R. Kushwaha, P. Kesarwani and A. Kushwaha, "Effect of Scouring and Bleaching on the Physico-mechanical Properties of the Hemp Fabric," *Fibers and Polymers,* vol. 25, no. 9, 2024.

[147] M. N. Rahaman, M. S. Hossain, M. Razzak, M. B. Uddin, A. Chowdhury and R. A. Khan, "Effect of dye and temperature on the physico-mechanical properties of jute/PP and jute/LLDPE based composites," *Heliyon,* vol. 5, no. 6, 2019.

[148] S. N. Chattopadhyay, N. C. Pan and A. Day, "Effect of pretreatments on ambient temperature bleaching and reactive dyeing of jute," *Materials Science,* 2002.

[149] P. Garside and P. Wyeth , "Identification of Cellulosic Fibres by FTIR Spectroscopy I: Thread and Single Fibre Analysis by Attenuated Total Reflectance," *Studies in Conservation,* 2003.

[150] A. Aljannahi, R. A. Alblooshi, R. H. Alremeithi, I. Karamitsos, N. A. Ahli, A. M. Askar, I. M. Albastaki, M. M. Ahli and S. Modak, "Forensic Analysis of Textile Synthetic Fibers Using a FT-IR Spectroscopy Approach," *Molecules,* vol. 27, no. 13, 2022.