



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YERLİ VE YABANCI ENDÜSTRİYEL
KENEVİR LİFLERİNİN MEKANİK VE
BOYANABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

EZGİ DİLEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tekstil Mühendisliği

Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Muhammet Uzun

İSTANBUL, 2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenciliğimin başından bu tez çalışmamın her aşamasına kadar bana destek olan Marmara Üniversitesi Öğretim Üyesi değerli danışman hocam Prof. Dr. Muhammet UZUN'a, lisans ve yüksek lisans dönemim boyunca değerli bilgilerini esirgemeyen Marmara Üniversitesi Öğretim Üyesi kıymetli hocam Prof. Dr. Sevhan Müge YÜKSELOĞLU'na, her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen canım annem Oya DİLEK'e, canım babam Mustafa Yavuz DİLEK'e ve canım kardeşim R. Kerem DİLEK'e, motivasyonunu esirgemeyen bana her zaman inanan babaannem Suzan DİLEK'e, dedem Rahmi DİLEK'e, amcam Özgür DİLEK'e halalarım Başak DİLEK DOĞAN'a, Necmiye DİLEK'e ve Nuran DİLEK'e, abim Tuncay DOĞAN'a ve kuzenim Ekin Güneş DOĞAN'a, lisans ve yüksek lisans eğitimimde evlerini ve emeklerini esirgemeyen halam Neriman SEKMEN'e ve dedem Hayri SEKMEN'e, benden desteklerini ve sabrını hiçbir zaman esirgemeyen hayat arkadaşım Bünyamin KURTKAYA' ya değerli yöneticim Banu ALVER'e, test süreçlerinde desteklerini esirgemeyen Onur KAYGUSUZ'a, Burcu ZORLU'a ve Nedime AKYÜZ'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

SEMBOLLER	iii
KISALTMALAR	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	1
ABSTRACT	2
1. GİRİŞ	3
1.1. Tekstilde Sürdürülebilirlik	4
1.1. Sürdürülebilir Bitkisel Lifler	6
1.1.1. Gövde (Bast) Lifleri	7
1.1.1.1. Kenevir Elyafı	8
1.1.1.1.1. Kenevir Elyafının Dünyada ki Yeri	11
1.1.1.1.2. Kenevir Bazlı Ürünler	12
1.1.1.2. Jüt Elyafı	13
1.1.1.3. Keten Elyafı	15
1.2. Tekstilde Doğal Boyama	16
1.2.1. Doğal Boyaların Sınıflandırılması	18
1.2.1.1. Doğal Boyaların Elde Edildiği Kaynağa Göre Sınıflandırılması	18
1.2.1.1.1. Hayvansal Kökenli Doğal Boyalar	18
1.2.1.1.2. Bitkisel Kökenli Doğal Boyalar	19
1.2.1.1.2.1. İndigoit Boyalar (Mavi Pigmentler)	20
1.2.1.1.2.2. Antrakinin Boyalar	21
1.2.1.1.2.2.1. Kökboya (<i>Rubia tinctorum</i> L.)	22
1.2.1.1.2.3. Naftakinonlar	23
1.2.1.1.2.4. Flavonoid Boyalar	24
1.2.1.1.2.5. Tanen Esaslı Boyalar	24
1.2.1.1.2.5.1. Mazı Meşesi (<i>Quercus infectoria</i> Oliver)	25
1.2.1.3. Doğal Boyarmaddelerin Renk Bazlı Sınıflandırılması	25
1.2.1.3.1. Kırmızı	25
1.2.1.3.2. Sarı	26
1.2.1.3.3. Yeşil	26
1.2.1.3.4. Siyah ve Kahverengi	26
1.2.1.3.5. Turuncu	26
1.2.1.3.6. Mavi	27
1.2.1.4. Doğal Boyaların Uygulama Yöntemleri	27
1.2.1.4.1. Mordan ile Boyama	27
1.2.1.4.1.1. Mordanlama Yöntemleri	29
1.2.1.4.2. Direkt Boyalar	29

1.2.1.4.3. Asidik Boyalar	29
1.2.1.4.4. Bazik Boyalar	30
1.2.1.4.5. Dispers Boyalar	30
1.2.1.4.6. K�p Boyalar	30
1.3. Tekstilde Antibakteriyellik Aktivite	30
1.3.1 Tekstilde Antibakteriyellik �zelliĐin Doğal Boyalar ile Kazandırılması	31
2. MATERYAL YÖNTEM	33
2.1. Materyal	33
2.2. Yöntem	34
2.2.1.Tarama	34
2.2.2. Yerli ve Yabancı Tohumla Elde Edilen Liflerin Karakterizasyonu	35
2.2.2.1. Numunelerin �aplarının Belirlenmesi	35
2.2.2.2. Liflerin Mukavemet �zelliklerinin Belirlenmesi	36
2.2.3. Liflerin Beyazlık İndeksi �l�m�	37
2.2.4. Liflerin �n Mordanlanması ve Boyanması	37
2.2.3.1. Boyalı Kenevir Liflerinin Renk Analizleri	39
2.2.3.2. Boyalı Kenevir Liflerinin Haslık Analizleri	40
2.2.3.3. Boyalı Kenevir Elyafının Antibakteriyellik Tayini	40
2.2.3.4. Boyalı Kenevir Liflerinin HPLC Analizi	41
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	42
3.1. Kenevir Liflerinin �ap �l�mleri	42
3.2. Liflerin Elastikiyet Modülü ve Gerilim- Gerinim Grafikleri	46
3.3. SEM Analizi ve Diğer Lifler ile Karşılaştırılması	50
3.4. Boyanmamış Liflerin FT-IR Analizi	51
3.5. Numunelerin Beyazlık İndeksleri	52
3.5. Boyalı Numunelerin Renk �l�mleri	52
3.6. Boyalı Numunelerin Renk Haslığı Sonuçları	54
3.7. Antibakteriyel Aktivite Sonuçları	57
3.8. Boyalı Numunelerin HPLC Analizi	57
4. SONUÇLAR	66
5. KAYNAKÇA	68

SEMBOLLER

MPa: Megapascal

G: Gram

GPa: Gigapascal

E: Elastikiyet Modülü

Nm: İplik Metrik Numara Sistemi

μ : Mikron



KISALTMALAR

S. aures: Staphylococcus aureus

E. coli: Escherichia coli

Cannabis sativa L.: Endüstriyel kenevir



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1 Bitkisel Liflerin Sınıflandırılması.....	6
Şekil 1. 2 (a) Bir gövde lifi sapının kesit modeli, (b) bir gövde lifi demeti ve (c) tek bir lifin modeli.....	7
Şekil 1. 3 Kenevir elyafı	8
Şekil 1. 4 Dünyada Endüstriyel Kenevir Yetiştiren Ülkelerin Dağılımı	12
Şekil 1. 5 Tekstil boyalarının sınıflandırılması.....	18
Şekil 1. 6 İndigonin Kimyasal Yapısı	21
Şekil 1. 7 Antrakininonun Kimyasal Yapısı	21
Şekil 1. 8 Rubia tinctorum L. kökünde bulunan bazı ana antrakininon bazlı renklendiricilerin kimyasal yapıları	22
Şekil 1. 9 Naftakinonun Kimyasal Yapısı.....	23
Şekil 1. 10 Şekil 1.10. a) Flavonol (soluk sarı) b) flavon ve c) antosiyanidin (turuncu)	24
Şekil 1. 11 Mazı Meşesi Galları.....	25
Şekil 1. 12 Mordan ile doğal boyarmaddenin kimyasal bağı.....	27
Şekil 2. 1 a) Yabancı ağartılmış kenevir elyafı b) Yerli ağartılmış kenevir elyafı	33
Şekil 2. 2 a) Demir sülfat b) şap c) kök boya d) mazı meşesi.....	34
Şekil 2. 3 Ham kenevir lifleri.....	35
Şekil 2. 4 %100 Kenevir elyafı tarama	35
Şekil 2. 5 Olympus CH2 optik mikroskop.....	36
Şekil 2. 6 Instron 4411 Tek Lif Çekme Cihazı	36
Şekil 2. 7 Demir Sülfat ile Mordanlanan Kenevir Elyafı.....	38
Şekil 2. 8 Şap ile Mordanlanan Kenevir Elyafı	38
Şekil 2. 9 Antibakteriyellik testi uygulanan numune.....	41
Şekil 3. 1 Liflerin elyaf incelik dağılımı (Mikron (μ)).....	43
Şekil 3. 2 Numune 1 mikroskop görüntüleri.....	44
Şekil 3. 3 Numune 2 mikroskop görüntüleri.....	44
Şekil 3. 4 Numune 3 mikroskop görüntüleri.....	45
Şekil 3. 5 Numune 4 mikroskop görüntüleri.....	45
Şekil 3. 6 Numune 5 mikroskop görüntüleri.....	45
Şekil 3. 7 Samsun Kenevir Elyafının Gerilim- %Gerinim Grafiği.....	47
Şekil 3. 8 Burdur Kenevir Elyafının Gerilim- % Gerinim Grafiği	47
Şekil 3. 9 Kastamonu Kenevir Elyafının Gerilim- % Gerinim Grafiği	48
Şekil 3. 10 Belçika Kenevir Elyafının Gerilim- % Gerinim Grafiği	48
Şekil 3. 11 Çin Kenevir Elyafının Gerilim- % Gerinim Grafiği.....	49
Şekil 3. 12 Bazı Doğal Liflerin SEM Görüntüleri	50
Şekil 3. 13 İşlem Görmemiş Kenevir Liflerinin SEM Görüntüleri	51
Şekil 3. 14 Boyanmamış Kenevir Elyafının FT-IR spektrumları	51
Şekil 3. 15 Boyalı kenevir liflerinin ışık haslıkları	54
Şekil 3. 16 Boyanan kumaşların yıkama renk haslıkları değerleri (renk değişimi).....	55
Şekil 3. 17 Naylon 6.6 elyaf üzerine boyalı kumaşların yıkanması sonucu elde edilen renk haslığı değerleri.....	55
Şekil 3. 18 Boyalı kumaşların yün elyaf üzerine yıkanması sonucu oluşan renk haslığı değerleri	56
Şekil 3. 19 Boyalı kumaşların polyester elyaf üzerine yıkanması sonucu oluşan renk haslığı değerleri.....	56
Şekil 3. 20 1 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	58
Şekil 3. 21 3 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	58

Şekil 3. 22 4 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	59
Şekil 3. 23 6 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	59
Şekil 3. 24 7 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	60
Şekil 3. 25 9 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	60
Şekil 3. 26 10 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	61
Şekil 3. 27 12 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	61
Şekil 3. 28 13 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	62
Şekil 3. 29 15 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	62
Şekil 3. 30 16 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	63
Şekil 3. 31 18 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları	63
Şekil 3. 32 Gallik asit.....	64
Şekil 3. 33 Ellagik asit	64
Şekil 3. 34 Alizarin	65
Şekil 3. 35 Purpurin	65

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1 Kenevir liflerinin farklı üretim yerlerine ve çeşidine göre mekanik özelliklerinin sınıflandırılması	9
Tablo 1. 2 Çeşitli liflerin üretiminde kullanılan enerji miktarı	10
Tablo 1. 3 1 ton elyaf üretiminde oluşan CO2 emisyonları (kg)	11
Tablo 1. 4 Jüt liflerinin kimyasal bileşenleri	13
Tablo 1. 5 Jüt liflerinin fiziksel özellikleri.....	14
Tablo 1. 6 Keten liflerinin kimyasal bileşenleri.....	15
Tablo 1. 7 Keten liflerinin fiziksel özellikleri.....	15
Tablo 1. 8 Bitkilerden elde edilen doğal maddeler	19
Tablo 1. 9 Doğal Boyarmaddelerin Önemli Kimyasal Sınıfları	20
Tablo 1. 10 Geleneksel Mordanlar.....	28
Tablo 2. 1 Mordanlama Parametreleri.....	37
Tablo 2. 2 Boyama Parametreleri	39
Tablo 3. 1 Elyaf İncelik Dağılımı.....	43
Tablo 3. 2 Yetiştirilme yerine göre sınıflandırılmış kenevir numunelerinin mekanik özellikleri	46
Tablo 3. 3 Boyama öncesi numunelerin renk ölçüm değerleri	52
Tablo 3. 4 Boyalı numunelerin renk ölçüm değerleri	53
Tablo 3. 5 Belirlenen boyarmaddelerin pik yüksekleri.....	65

ÖZET

YERLİ VE YABANCI ENDÜSTRİYEL KENEVİR LİFLERİNİN MEKANİK VE BOYANABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

29 Ekim 2016 tarih ve 29842 sayılı Resmî Gazete de yayınlanan Endüstriyel Kenevir Ekimi ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik hükümleri gereğince kontrollü üretimine izin verilen endüstriyel kenevirin ülkemiz için önemi birçok platformda kabul görmüştür. Geçtiğimiz 5 yılda kenevir tohumlarının tarımsal uygunluğu ve bitki özellikleri araştırılmış ve tohum tescil girişimleri başarılı bir şekilde neticelenmiştir. Bu çalışmaların tarımsal ve endüstriyel kalkınmaya ve ülke ekonomisine dahil edilebilmesi için üretilen gövde (bast) liflerinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve standardizasyonu önemlidir. Halihazırda yapılan kenevir tarımında sadece tohumun ticari bir karşılığı bulunmakta olup, bu durum kenevir tarımının gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Kenevir gövdelerinin sıyrılıp standart özelliklerde tekstil lifi elde edilmesi, kenevirin endüstriyel faydaya dönmesi noktasında önem arz etmektedir. Sürdürülebilir liflerin tekstil sektörü ve dolayısıyla dünyanın geleceğindeki önemi de tartışmasızdır. Bununla birlikte Türkiye gibi tekstil ülkelerinin bu tip liflerde dışa bağımlı olması tekstil sektörü için ciddi sorun oluşturmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında 2021 yılında ıslah ve tescil işlemleri tamamlanan Türkiye'nin ilk yerli kenevir tohumları Vezir ve Narlı ile muadili yabancı tohum Santhica'dan elde edilen gövde liflerinin mekanik karakterizasyonu yapılmıştır. Santhica genel olarak lif eldesinde en çok kullanılan yabancı tohumdur. Doğal boyama yöntemi ile yerli ve yabancı kenevir liflerinin boyanabilirliği de incelenmiştir. Kullanılan doğal boya bileşenlerinin antibakteriyellik özelliklerini hangi yönde etkilediği de tez kapsamında incelenmiştir. Yapılan değerlendirmelerde yerli kenevir elyafının inceliği yabancı kenevir lifleri ile kıyaslandığında kısmen kalındır ancak literatür ile kıyaslandığında yerli kenevir inceliği limit sınırları içerisinde. Mekanik özellikler incelendiğinde yerli elyafın elastikiyet modülü ve çekme dayanımı yabancı kenevir elyafından daha iyi çıkmıştır. Yıkamaya ve ışığa karşı renk haslığı değerlerine bakıldığında yerli ve yabancı kenevir liflerinin haslık değerleri yakındır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel kenevir, doğal boyama, gövde elyafı, sürdürülebilirlik,

ABSTRACT

EXAMINATION OF MECHANICAL DYEABILITY PROPERTIES DOMESTIC AND FOREIGN INDUSTRIAL HEMP FIBERS

The controlled production of industrial hemp which is permitted, under the regulations, has been recognized for its importance in various platforms for our country, according to the Regulation on Hemp Cultivation and Control published in the Official Gazette numbered 29842 dated October 29, 2016. The agricultural suitability and plant characteristics of hemp seeds have been researching during the last five years and efforts to register the seeds have been successful. Determining and standardizing the characteristic properties of the produced bast fibers is important for inclusion in the development agriculture, and the national economy. Only the seed has a commercial counterpart in the existing hemp farming, which has a negatively effect on the development of hemp cultivation. The process of stripping hemp stems to obtain standardized features textile fibers is crucial for the industrial use of hemp. It is also obvious that sustainable fibers are crucial to the future of the world. However, textile countries like Turkey being dependent on imports for such fibers poses a important problem for the textile industry. Within the scope of this thesis study, the mechanical characterization of bast fibers derived from the Türkiye' s first domestic hemp seeds, Vezir and Narlı , completed in 2021, and foreign counterpart Santhica, were carried out Santhica is generally the most used foreign seed for fiber production. The dyeability of both domestic and foreign hemp fibers through natural dyeing methods has also been investigated. The thesis also examines how the antibacterial properties of the natural dye components used affect the fibers. In the reviews , it was found that although the diameter of domestic hemp fiber is larger compared to foreign hemp fibers, when compared with the literature, the diameter of domestic hemp is within the specified limits. When mechanical properties were examined, it was observed that the elasticity modulus and tensile strength of domestic fibers were better than foreign hemp fibers. When considering the color fastness values to washing and light, the fastness values of domestic and foreign hemp fibers are similar.

Keywords: Industrial hemp, natural dye, bast fiber, sustainability

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre kirliliği en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Tekstil sektörünün ise çevre kirliliğine çok büyük etkileri bulunmaktadır. Pamuk yetiştiriciliğinde kullanılan yoğun su miktarları ve pestisit gibi kimyasalların kullanımı ve sentetik liflerin üretiminde kullanılan petrol türevleri ve işleme sırasında gereken yoğun enerji miktarları çevreye büyük zararlar vermektedir [1]. Tekstil sektöründe sürekli büyümesiyle oluşan küresel talep nedeniyle 2019 yılında 111 milyon ton elyaf üretilmiştir. Her türlü olumsuz çevresel faktörlere rağmen 111 milyon ton lif üretiminin %75' ini pamuk ve polyester oluşturmaktadır [2]. Bu oranın düşürülmesi elyaf çalışmalarının temelini teşkil etmektedir. Alternatif sürdürülebilir lif kaynakları üzerine Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Bunlar sentetik liflerin tekrar kazanımı, gövde ya da tropik liflerinin (sisal, muz, jüt, kenavir etc.) konvansiyonel tekstilde kullanımı gibi farklı uygulamalardır.

Endüstriyel kenavir sürdürülebilir ham malzeme olarak tüm dünyada önem kazanmaktadır. Kenavir lifleri, yetiştirilmesinde su kullanımının az olması ile bitki yetiştiriciliğinde zararlı ilaçlarının kullanılmaması ile bilinen [1], çok hızlı bir şekilde yetiştirilebilen, yenilenebilir [3], biyobozunur ve sürdürülebilir bitkisel bast lifdir. Spesifik olarak, 1 kg kenavir lifi için 2041–3401 L su tüketilir iken 1 kg pamuk lifi üretimi için 9788-9958 L su tüketilmektedir. Bu nedenle pamuk, kenavire kıyasla 1 kg nihai elyaf üretmek için yaklaşık 3 kat daha fazla suya ihtiyaç duymaktadır. Kenavir liflerinin geleneksel tekstillerde kullanımı ile hızlı nem aktarımı, yüksek ısı emme ve değişen çevre koşullarına uyum sağlama, antiradyasyon, elektrostatik yükleri toplamama, pamuk ve ipeğe göre hava şartlarına ve UV ışınlarına karşı daha yüksek dayanıklılık göstermesi, kolay deforma olmama, küflenmeye karşı pamuktan daha dayanıklı olması, boyandıklarında canlı renklerini koruması, diğer doğal liflere göre daha mukavemetli olması, aseptik özellikli ve alerjenik olmama gibi üstün özellikler göstermektedir [1, 4, 5]. Bu özelliklerin yanı sıra dünyadaki en büyük sorunlardan biri olan ağır metal kirliliğinin kenavir bitkisi tarafından temizlendiği de bilinmektedir. Kenavir yetiştiriciliğinin ülke genelinde artırılması sonucu toprak kirliliği de önemli ölçüde engellenebilecektir [6]. Kenavir lifleri birçok endüstriyel mahsulün aksine toprağın tükenmesine yol açmaz. Tüm büyüme mevsimi boyunca yapraklarını toprağa bırakarak kompost oluşumuna neden olarak toprağın zenginleşmesini sağlarlar. Ayrıca diğer tarımsal mahsuller tarafından kullanılan suyun %50' sine ihtiyaç duyarak toprağın nemli kalmasını sağlarlar. Üretimi verimli bir süreçtir; dönüm başına pamuktan %250, ketenden %600 daha fazla lif elde etmek mümkündür [7]. Ekolojik ayak izi, küresel hektar olarak ölçülen, üretim için gerekli olan atıkları ve emisyonu absorbe eden biyolojik üretken alanı (kara ve deniz alanı) miktarıdır. Kenavir lifi, 1.46-2.01 kha ile düşük bir

ekolojik ayak izine sahiptir. Buna karşılık, pamuk lifinin ekolojik ayak izi 2.17-3.57 kha arasında değişmektedir. Bu değerler kenevirin pamuktan hektar başına önemli ölçüde daha yüksek bir verime sahip olma potansiyeline sahip olduğunu da göstermektedir [1].

Kenevir lifleri, bast lifleri olarak adlandırılmakta ve bitkinin dış gövdesinde bulunmaktadır. Kenevir bitkileri, birçok farklı toprak türünde ve çevre koşullarında büyüebilmektedir. Bu da dünyanın birçok yerinde uygulanabilir koşulları mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, belirli özellikler bitkinin düzgün büyümesine izin vermektedir. Kenevir bitkilerinin büyümesi için 7,8 ° C ile 27 ° C arasında değişen sıcaklıklarda yarı nemli koşullar idealdir. Sert hava koşulları, birincil elyafın kalitesini etkileyerek istenmeyen ikincil elyaf üretimini de artırabilmektedir. Kenevir lifi diğer yapay ve doğal lifler ile karşılaştırıldığında gelecek vaat eden çevresel sürdürülebilir olma potansiyeline sahiptir [1]. Mekanik, hijyenik ve koruyucu özellikleri ve sürdürülebilirliği ile tekstil sektöründe yükselen bir rolü bulunmaktadır [8]. Ayrıca tekstil endüstrileri için kenevir lifleri pamuk liflerinden 2 kat daha mukavemetli ve olağanüstü bir dayanıklılığa sahiptir. Keten ve ramiden çok daha incedir. Farklı kenevir lif çeşitlerinin yoğunluk ve mekanik özellikleri Tablo 2'de listelenmiştir. Gösterildiği gibi, kenevir liflerinin yoğunluğu yaklaşık olarak 1.5 g/cm³' dir. Kenevir liflerinin çekme mukavemeti, sertliği ve kopma gerilimi sırasıyla 200-1000 MPa, 18-66 GPa ve %2-4'tür [9] Sentetik elyaflarla (örneğin cam elyafı) karşılaştırıldığında, kenevir elyaflarının düşük maliyet, düşük yoğunluk (1.5 g/cm³), yüksek özgül mukavemet ve sertlik gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Artan çevre bilincinin bir sonucu olarak, düşük maliyetle beraber kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip kenevir lifi ile geleneksel tekstillerin ve yüksek performanslı teknik tekstillerin üretiminde kenevir liflerinin kullanımına olan ilgi artmaktadır [10]

1.1. Tekstilde Sürdürülebilirlik

Tekstil endüstrisi, dünya genelinde ekonomik büyümeye ve istihdama önemli katkılar sağlayan ve tüketicilere günlük yaşamlarında kullandıkları birçok ürünü sunan büyük ve çok yönlü bir sanayi koludur. Bu endüstri, giyimden ev tekstiline, otomobil iç döşemelerinden spor ekipmanlarına kadar birçok ürünün üretimini içerir. Endüstriyel tekstil ürünleri, medikal tekstiller, jeotekstiller, tarım tekstilleri, inşaat tekstilleri, koruyucu tekstiller gibi çeşitli kategorilerde gruplandırılabilir [11]. Tekstil ürünlerinin üretim süreci, birçok aşamayı kapsar ve bu aşamalardan biri hammadde seçimi ve hazırlığı, ardından dokuma, örme, boyama, kesim, dikim ve son ürün hazırlığıdır. Tekstil üretimi, tarımdan başlayarak, kimya, moda tasarımı ve perakende gibi birçok sektörle entegre bir şekilde çalışmaktadır. Dünya genelinde tekstil endüstrisi, milyonlarca insanı doğrudan veya dolaylı olarak istihdam etmektedir. Özellikle

gelişmekte olan ülkelerde, tekstil fabrikaları ekonomik büyümeye katkıda bulunarak, işsizliği azaltma potansiyeline sahiptir. Ancak bu büyük endüstri, çevresel ve sosyal sorunlarla karşı karşıya gelmiştir. Yoğun su kullanımı, kimyasal atıklar, işçi hakları ihlalleri ve hızlı tüketim gibi sorunlar, tekstil endüstrisinin sürdürülebilirlik açısından ciddi zorluklarla karşı karşıya olduğunu göstermektedir.

Tekstil ürünlerinin üretiminde iplik üretimi, kumaş üretimi, boyama ve terbiye işlemlerinde kullanılan makineler yüksek miktarda enerji tüketimine sebep olmaktadır. Boyama ve terbiye işlemlerinde ise enerji tüketiminin yanı sıra su ve kimyasal maddeler de kullanılmaktadır. Tekstil ürünlerinin üretiminde toplam enerjinin yaklaşık %23' ü dokumada, %34' ü eğirmede, %38' i kimyasal işlemlerde ve %5 ise çeşitli amaçlar ile tüketilmektedir [12].

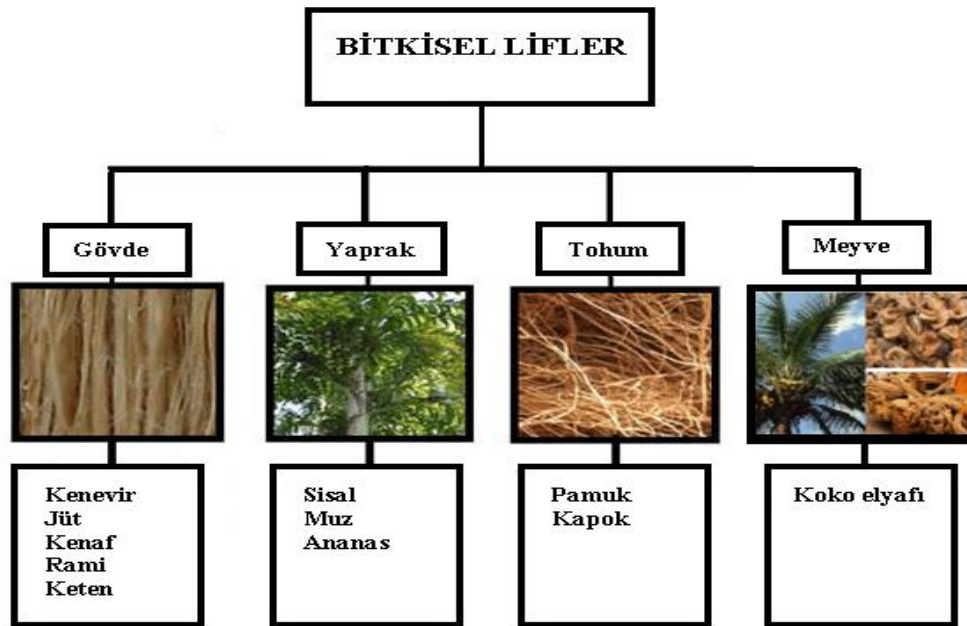
Tekstil ürünlerinin üretiminde tekstil yüzeyine uygulanan kimyasal işlemler en önemli basamağı oluşturmaktadır. Kimyasal işlemler, ürünlere değer katmakla kalmaz, aynı zamanda konfor ve estetik özellikler de sağlamaktadır. Tekstilin kimyasal endüstrisi çevreyi en çok kirleten sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Kimyasal işleme ile yoğun miktarda su ve enerji kullanılmaktadır. İşlemler sonucunda kullanılan su, uygun şekilde arıtılmadığı takdirde boyalar ve kimyasallar çevrenin kirlenmesine sebep olmaktadır [13]. Tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılan kimyasalların artış göstermesi, tekstil fabrikalarının yakınındaki topluluklarının sağlığı ve esenliği konusunda ortaya çıkan bir çevre bilinci ve sosyal endişe oluşturmuştur [14]. Bu endişelerin önüne geçilebilmesi, sağlıklı ve temiz çevre için tekstil sektöründe kullanılan geleneksel kimyasal proseslerinin çevre dostu prosesler ile değiştirmek önemlilik taşımaktadır [15].

Tekstil endüstrisinin sürdürülebilir hale gelmesi, ilk adımda hammadde seçimiyle başlar. Organik pamuk, örneğin, geleneksel pamuktan daha sürdürülebilir bir seçenektir; zira kimyasal gübreler ve pestisitlerin kullanılmadığı bir üretim sürecine sahiptir ve bu çevresel kirliliği azaltır. Yaygın olarak kullanılan doğal elyaf pamuk, biyolojik olarak parçalanabilir olmasına rağmen üretimi önemli miktarda su gerektirir. Sentetik elyaf üretimi için pamuğa kıyasla önemli ölçüde daha düşüktür (yaklaşık 1/10). Örneğin, akrilik elyafı 0,3-15 L/kg suya ihtiyacı varken pamuk elyafının ise 2000 L/kg suya ihtiyacı vardır. Sentetik elyaf üretimi de daha fazla enerji tüketir. Örneğin, polyester elyafı üretimi, eğrilmesi ve terbiyesi 369-432 MJ/kg enerji tüketirken, pamuk üretimi 38-46 MJ/kg enerji tüketir. Ayrıca pamuk elyafı üretiminde yüksek miktarlarda sentetik gübre kullanılır. Tohumlara böcek ilacı, yabani otların büyümesini kontrol etmek için herbisitler ve haşere kontrolü için pestisitler uygulanır. Dünyadaki böcek ilaçlarının yaklaşık %26'sı geleneksel pamuk üretiminde kullanılmaktadır. Pamuk lifi yetiştiriciliğinde kullanılan sentetik kimyasalların çoğu, toprak kalitesini bozmaktadır [16]. Pamuğun aksine

keten, kenevir ve jüt gibi gövde lifleri daha az su tüketir ve üretimlerinde böcek çekmediklerinden kimyasal kullanılmamaktadır [17].

1.1. Sürdürülebilir Bitkisel Lifler

Küresel ısınma ve çevreye verilen zararların günden güne artması ile biyolojik olarak parçalanabilir ve çevreye daha az zararı olan malzemelerin kullanımlarına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllarda, sentetik malzemelerin çevreye verdiği zararların farkındalığının artması ile çevre dostu malzemelerin geliştirilmesine ve bu tür çevreye zararı olan malzemelerin kullanımının azaltılmasına, sentetik malzemelerin yerini alabilecek biyolojik olarak parçana bilen ve biyolojik temelli kaynakların geliştirilmesine yönelik çabalar gösterilmektedir [18, 19]. Doğal lifler sentetik liflere göre biyolojik olarak parçana bilirliliği, biyolojik olarak uyumlu, çevre dostu ve yenilebilir kaynaklardan oluşması sebebiyle sentetik liflere alternatif olarak kullanılmaktadır. Birçok uygulamada cam elyaf, karbon elyaf ve aramid elyaf gibi pahalı ve yenilenemeyen sentetik elyaf esaslı kompozitlerin yerine doğal lifler kullanılmaya başlanmıştır [20, 21]. Bu başlık altında sürdürülebilir bitkisel esaslı kenevir, jüt, keten, sisal, muz ve ısırgan liflerinden bahsedilecektir. Şekil 1.1’de bitkisel liflerinin sınıflandırılması gösterilmektedir.



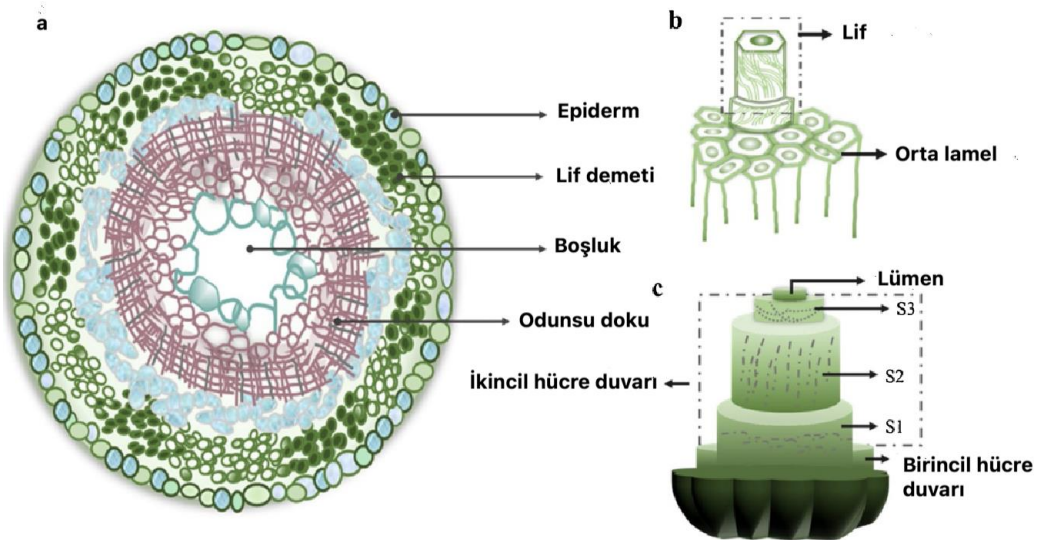
Şekil 1. 1 Bitkisel Liflerin Sınıflandırılması [22]

1.1.1. Gövde (Bast) Lifleri

Geleneksel olarak yetiştirilen sak lifi bitkileri arasında keten, kenevir, jüt , rami ve kenaf bulunur. Bast lifleri bitkisi lif demetleri ve odunsu gövdeden oluşur (Şekil 1.2). Her bileşen bitkinin büyümesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bitkinin dış kısmı olarak, kabuk bitkiyi iç nem kaybından, çevresel koşullardan ve bükülmelerden zarar görmesine karşı korumaktadır. Kabuk altındaki floemde, çok sayıda tek lif içeren lif demetleri bulunur. Gövde lifleri floem kısmından sıyrılarak elde edilir. Lifler, hücreler için taşıyıcı görev görür. İç katman, su ve diğer gereklilikleri tüm bitkiye iletmek için kullanılan odunsu gövde iletken sistemidir. Bir lif gövde bitkisi için içi boş bir yapıya sahiptir.

Bitkinin orta kısmına bakıldığında lif demetleri, orta lamel ile birbirine bağlanan tek liflerden oluşur (Şekil 1.2b). Orta lamel, lignin, pektin ve hemiselüloz içermektedir.

Gövde lifi çok katmanlı bir hücre duvarı ve lümen yapısına sahiptir. Çok katmanlı hücre duvarı birincil ve ikincil hücre duvarı içermektedir. İki hücre duvarının yapısında da hemiselüloz, lignin ve pektin bulunmaktadır. Selüloz spiral bir yönelime sahipken hemiselüloz ve lignin bileşenleri rastgele dağılarak bileşik bir matris oluşturur. Birincil duvarla karşılaştırıldığında ikincil duvar daha kalın ve daha karmaşık yapılıdır. Ayrıca S1, S2 ve S3 katmanları olmak üzere 3 katmana ayrılır (Şekil 1.2c). S1 katmanı, lifin boyutsal stabilitesini korur. S2 katmanı, lifin %70-80'ini tutan ikincil duvardaki en kalın katmandır. S2 katmanındaki lifler, sak lifinin tamamının mekanik özelliklerinden sorumludur. S3 katmanı, hidrostatik sıkıştırmaya direnerek hücreleri stabilize etme görevi olan S1 katmanı ile aynı sorumluluğa sahiptir. Lümen yapısı en içte yer alan S3 katmanından oluşur [23].



Şekil 1. 2 (a) Bir gövde lifi sapının kesit modeli, (b) bir gövde lifi demeti ve (c) tek bir lifin modeli [23]

1.1.1.1. Kenevir Elyafı

Kenevir, azot bakımından zengin ve asidik olmayan topraklarda yetişen “Cannabis Sativa” adı verilen bitkinin saplarından elde edilen tek yıllık bir sak lifidir. Kenevir lifleri (Şekil 1.3), parlak ve açık renklidirler. Birincil kenevir lifleri, pektin adı verilen bir malzeme aracılığıyla birbirine bağlanır. Birincil kenevir lifleri, kâğıt endüstrisinde hamur olarak ve kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılır [6, 7]. Kenevir lifleri yapılarında %70-74 selüloz, %3,5-5.7 lignin, %15-20 hemiselüloz, %0,8 pektin ve %1,2-6.2 vaks içerir [24]. Ayrıca tekstil endüstrileri için kenevir lifleri pamuk liflerinden 2 kat daha mukavemetli ve olağanüstü bir dayanıklılığa sahiptir. Farklı kenevir lif çeşitlerinin yoğunluk ve mekanik özellikleri Tablo 2.1.’de listelenmiştir. Gösterildiği gibi, kenevir liflerinin yoğunluğu yaklaşık olarak 1.5 g/cm^3 ’ dir. Kenevir liflerinin çekme mukavemeti, sertliği ve kopma gerilimi sırasıyla 200-1000 MPa, 18-66 GPa ve %2-4’tür. Sentetik elyaflar ile (örneğin cam elyafı) karşılaştırıldığında, kenevir elyaflarının düşük maliyet, düşük yoğunluk (1.5 g/cm^3), yüksek özgül mukavemet ve sertlik gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Artan çevre bilincinin bir sonucu olarak, düşük maliyetle beraber kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip kenevir lifi ile geleneksel tekstillerin ve yüksek performanslı teknik tekstillerin üretiminde kenevir liflerinin kullanımına olan ilgi artmaktadır [10]. Tablo 1.1’ de çeşitli araştırmalar incelenerek kenevir elyafının mekanik özellikleri listelenmiştir.



Şekil 1. 3 Kenevir elyafı (M.Uzun)

Tablo 1. 1 Kenevir liflerinin farklı üretim yerlerine ve çeşidine göre mekanik özelliklerinin sınıflandırılması

Üretim Yeri	Kenevir Çeşidi	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	E- Modül (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Referans
UK	-	1.4-1.5	550-600	25-35	-	[25]
-	-	1.5	310-750	30-60	2-4	[26]
Fransa	Fedora 17 2009	-	368-482	17.6-19.6	2.5-3	[27]
Fransa	Fedora 17 (Kerbastic 2011)	-	889± 472	35.5±17.3	2.6±2.2	[28]
Fransa	Felina 32 (LCDA 2009)	-	699±450	31.2±19.7	3.3±1.6	[28]
Fransa	Fedora 17 (LCDA 2007)	-	489±233	33.8±12.2	2.5±1.3	[28]
Yeni Zelanda	Cannabis sativa L.	-	857±260	58	-	[29]
İngiltere	Cannabis sativa L.	-	886	66	-	[30]
Fransa	Cannabis sativa L.	-	636±253	27.6±7.5	2.1±0.7	[31]
Danimarka	-	1.6	200-1000	-	-	[32]

Çok hızlı büyümeleri ve daha az böcek çekmeleri nedeniyle daha az pestisite ihtiyaç duydukları için avantajlıdır [7]. Kenevir lifi yetiştiriciliği diğer liflere göre gelecek vaat etmektedir. Çünkü:

- Kenevir lifi yetiştiriciliğinde pestisit kullanılmamaktadır.
- Kenevir lifleri birçok endüstriyel mahsulün aksine toprağın tükenmesine yol açmaz. Tüm büyüme mevsimi boyunca yapraklarını toprağa bırakarak kompost oluşumuna neden olarak toprağın zenginleşmesini sağlar. Ayrıca diğer tarımsal mahsuller tarafından kullanılan suyun %50' sine ihtiyaç duyarak toprağın nemliliğini korur.
- Kenevir bitkisi ağır metal kirliliğini topraktan uzaklaştırır.
- CO₂ emilimi sağlar.

- Kenevir lifi üretimi verimli bir süreçtir; dönüm başına pamuktan %250, ketenden%600 daha fazla lif elde etmek mümkündür.
- Kenevir; kâğıt, tekstil ürünlerinde, biyolojik olarak parçalanabilir plastikler, inşaat, gıda, tıbbi amaçlar, otomobil, bakım ürünleri, ev ürünleri, hayvan yemi olarak birçok alanda ve üründe kullanılmaktadır.

Kenevir lifi diğer yapay ve doğal lifler ile karşılaştırıldığında (Tablo 1.2-1.3) çevresel sürdürülebilir olma potansiyeline sahiptir. 1 kg pamuk lifi elde etmek için 9788-9958 L civarı su kullanılırken kenevir liflerinin üretiminde 2041–3401 L civarı su kullanılmaktadır. Bu nedenle pamuk lifi, kenevir lifine kıyasla 1 kg nihai elyaf üretmek için yaklaşık 3 kat daha fazla su kullanımına ihtiyacı bulunmaktadır [1]. Şekil 4.5-4.6’ da çeşitli liflerin üretiminde kullanılan enerji miktarları ve açığa çıkan CO₂ emisyon miktarları gösterilmektedir.

Tablo 1. 2 Çeşitli liflerin üretiminde kullanılan enerji miktarı [33]

Elyaf Türü	Elyaf İsmi	1 kg elyaf üretimi için kullanılan enerji (MJ)
Doğal	Organik Kenevir	2
	Keten	10
	Kenevir (Geleneksel)	12
	Organik Pamuk (Hindistan)	12
	Organik Pamuk (ABD)	14
	Pamuk (Geleneksel)	55
	Yün	63
Recycle	Polyester	66
Rejenere	Viskoz	100
Sentetik	Polipropilen	115
	Polyester	125
	Akrilik	175
	Naylon	250

Tablo 1. 3 1 ton elyaf üretiminde oluşan CO2 emisyonları (kg) [33]

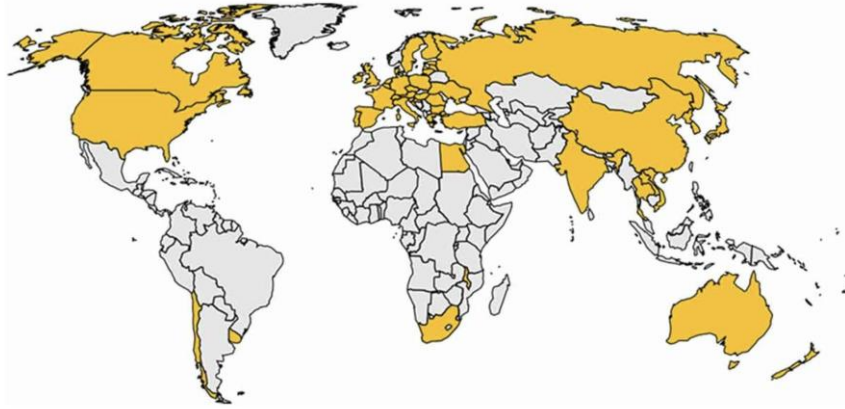
Elyaf İsmi	Ürün Yetiştiriciliği	Elyaf Üretimi	Toplam
Polyester (ABD)	0	9.52	9.52
Pamuk (Geleneksel ABD)	4.2	1.7	5.89
Recycle Polyester	0	0	5.19
Kenevir (Geleneksel)	1.9	2.15	4.1
Organik Pamuk (Hindistan)	2	1.8	3.75
Organik Pamuk ABD	0.9	1.45	2.35

Ekolojik ayak izi, küresel hektar olarak ölçülen, üretim için gerekli olan atıkları ve emisyonu absorbe eden biyolojik üretken alanı (kara ve deniz alanı) miktarıdır. Kenevir lifi, 1.46-2.01 kha ile düşük bir ekolojik ayak izine sahiptir. Buna karşılık, pamuk lifinin ekolojik ayak izi 2.17-3.57 kha arasında değişmektedir. Bu değerler kenevirin pamuktan hektar başına önemli ölçüde daha yüksek bir verime sahip olma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir [1].

1.1.1.1.1. Kenevir Elyafının Dünyadaki Yeri

Dünya kenevir üretimi 1960'lı yıllardan bu yana ciddi oranda düşüş gösterse de son yıllarda yeniden toparlanma gösterdi. Endüstriyel kullanım için kenevir, tekstil ve CBD pazarının hızla genişlemesi ve küresel endüstri büyümesinin ana itici gücü olması bekleniyor. Şu anda kenevir en az 47 ülkede ticari veya araştırma amaçlı olarak yetiştirilmektedir. Aşağıdaki dünya haritasında gösterildiği gibi (Şekil 1.4) Avrupa, Çin ve Kanada şu anda endüstriyel kenevirin ana kaynaklarıdır: Kanada' da yaklaşık 138.000 dönüm ile Kanada'yı 70.000 dönümden fazla Avrupa ve yaklaşık 30.000 dönüm ile Çin takip etmektedir. Daha az kenevir üretimine rağmen Amerika Birleşik Devletleri'ndeki kenevir endüstrisi, yasal onay ve özellikle CBD için geniş pazar nedeniyle son yıllarda çok hızlı gelişti. 2018 Tarım Kanunu'nun kabul edilmesiyle ABD, dünyanın üçüncü büyük endüstriyel kenevir üreticisi haline geldi [34].

FAO verileri 2021 yılında lif kenevirinin tahmini küresel üretim hacminin 287.318 ton olduğunu ve 20 ülkede 183.617 dönüm alanda hasat edildiğini göstermektedir. Verim, Çekya'da 300 kilogram/hektar İtalya ve Fransa'da 7.850 kg/ha ile 7.812 kg/ha arasında değişmektedir. Ayrıca ABD, önemli bir lif kenevir üreticisi haline gelmiştir. ABD Tarım Bakanlığı (USDA) verileri, lif kenevirinin 12.690 dönümlük bir alanda hasat edildiğini ve 15 milyon kilogram lif keneviri verdiğini göstermektedir. TÜİK verilerine göre, Türkiye'de 2021 yılında 21 ton lif keneviri hasat edildi. 2021'de küresel lif keneviri üretimi (FAOSTAT, USDA ve TÜİK verileri birleştirilerek) kabaca 302.000 ton ve 196.000 alanda üretilmiştir [35].



Şekil 1. 4 Dünyada Endüstriyel Kenevir Yetiştiren Ülkelerin Dağılımı [34]

1.1.1.1.2. Kenevir Bazlı Ürünler

Kenevir lifi esaslı ürünlerin en önemli avantajları şunlardır:

- Yüksek higroskopiklik ve hızlı nem taşıma
- Yüksek ısı Emilimi ve değişen çevre koşullarına uyum
- Elektronik cihazlara maruz kaldığında elektrostatik yükleri bünyesine toplamaz.
- En az %50 kenevir lifi içeren kumaşlar UV ışınlarına karşı koruyucu özellik gösterir.
- Toksik gazlara karşı çok yüksek adsorbe edilebilirlik gösterir.
- Pamuğa göre küflenmeye karşı dayanıklıdır.
- Kenevir lifi mukavemetlidir ve diğer doğal liflerden daha az esner. Bu giysinin kullanımla esnemesini veya bozulmasını önler.

Bu özelliklerin yanı sıra kenevirin liflerinin kalınlık, düşük homojenlik, sertlik, düşük uzama gibi dezavantajlı özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler kenevir liflerinin iplik haline getirilmesini zorlaştırmaktadır. Kenevir, keten gibi ıslak eğrilirse daha ince iplik üretililebilecektir. Kenevir ipliği şu anda Nm2,6-54 arasında üretilmektedir. Kumaş, 270-540 GSM ile çeşitli ağırlıklarda mevcuttur. Yün, pamuk, ipek veya sentetiklerle kenevir kumaş karışımları da üretilmektedir. Son yıllarda kenevir liflerinin eğirme zorluklarının önüne geçilmesi amacıyla selülozik olmayan bileşenlerin uzaklaştırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır [36].

1.1.1.2. Jüt Elyafı

Jüt, Tiliaceae familyasından uzun, yumuşak ve parlak görünümüne sahip lignoselülozik, ve çok hücreli bir gövde lifidir. Genellikle Hindistan ve Bangladeş'te yetiştirilmektedir. Jüt elyafının genel dünya üretimi 2300-2850 milyon ton civarındadır [7, 37]. Hindistan, dünya jüt üretiminin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Jüt, ambalajlama, teknik tekstiller ve diğer çeşitli tekstil ve tekstil dışı uygulamalar için kullanılmaktadır. Ayrıca, günümüzde ev tekstili olarak döşeme ve dekoratif döşemelik ürünlerde de kullanılmaktadır. Eko-ürünlerin geliştirilmesi için de kullanılan en yaygın kullanılan malzemelerden biridir [36]. Genel olarak jüt lifleri, çeşitli moda çantaları, paspaslar, döşemelik kumaşlar, yumuşak bagaj, döşeme, cihaz kılıfları, halatlar, kanvas, perdeler vb. tekstil sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ürünlere olan talep, çevre dostu ürünler olduğu için önemli ölçüde artmaktadır [38]. Jüt lifi şu anda tekstil, otomobil ve hatta bazı yük taşıma uygulamaları dahil olmak üzere birçok uygulamada kullanılmaktadır [39].

Bitkisel liflerin ana bileşenleri liflerin mekanik özelliklerini ve kalitelerini belirlemektedir. Tablo 1.4 de ve Tablo 1.5' de literatürde verilen bazı çalışmalardaki jüt liflerinin kimyasal bileşenleri, fiziksel ve mekanik özellikleri özetlenmiştir. Jüt lifinin kimyasal bileşenleri, hasat, toprak koşulları, kullanılan çürütme yöntemleri gibi faktörlere bağlı olarak değişir [40].

Tablo 1. 4 Jüt liflerinin kimyasal bileşenleri

Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Vaks (%)	Pektin (%)	Referans
45–71.5	13.6–21	13–26	-	-	[41]
61.0–71.0	14.0–20.0	12.0–13.0	0.5	-	[19]
61–72	18–22	12–13	0.5	0.2	[24]
61–71.5	13.6–20.6	12-13	1.7	2.3	[42]
%59-63	22-26	12-14	0.4-0.8	0.2-0.5	[39]
61-73	13,6-23	12-16	0.5	-	[40]
51-84	12-20	5-13	-	0.2	[43]
64.4	12	11.8	0.5	0.2	[44]
54-60	20-24	12-14	-	-	[36]

Tablo 1. 5 Jüt liflerinin fiziksel özellikleri [43, 44, 45, 46, 47, 48]

Yoğunluk g/cm ³	Uzunluk (mm)	Çap (µm)	Çekme mukavemeti (MPa)	Çekme Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)
1.3	-	-	393-773	-	1.5-1.8
1.3-1.49	1.5-120	20-200	320-800	8-78	1-1.8
1,30-1,45	-	-	393-800	-	-
1.3-1.5	-	-	393-800	-	1.2-1.8
1.46	-	-	400-800	10-30	1.8
-	1.9-3.2	15.9- 20.7	200- 450	-	2-3

Jüt lifinin tarımsal kökenli olması, yıllık yenilenebilirliği, toprak dostu organik kriterleri, biyolojik olarak tamamen parçalanabilirliği, sentetik lifler ile karşılaştırıldığında üretiminde daha az enerji kullanımı ve dolayısıyla CO₂ emisyonların azaltılması gibi özellikleri sebebiyle son zamanlarda üreticiler tarafından tercih edilen bir lif haline gelmiştir [36]. Jüt lifi üretiminin sürdürülebilirlikle ilgili bazı önemli yönleri aşağıda verilmektedir:

- Jüt hasadı 4-6 ay içinde yapılabilir ve oduna kıyasla çok daha yüksek miktarlarda (40 ton kuru kök sap) üretilebilir. Jüt bitkilerinin daha yüksek biyolojik verimliliği, odun yerine jüt kullanılarak kâğıt üretiminin maliyetini büyük ölçüde azaltacak; ayrıca ağaçların kesilmesi, yani orman tahribatı da azaltılacaktır.
- Jüt, kimyasal gübre kullanılmadan doğal olarak yetiştirilebilir. Büyüme mevsimi boyunca jüt yapraklarının dökülmesi ve mahsul atıkları organik maddelere dönüşür ve böylece toprağı besinlerle zenginleştirilir. Bu nedenle sonraki ürünler için ek gübrelere ihtiyaç duyulmaz ve toprağın verimlilik düzeyi korunur.
- Jüt, aşırı sulama, gübre veya böcek ilacına ihtiyaç duymadığı için çevreci bir liftir. Lif/ağırlık ve alan için iyi bir verim oranına sahiptir ve hızlı büyüyen bir liftir. Yaşam döngüsü içerisinde birkaç kez geri dönüştürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir.
- Araştırmalara göre jüt bitkileri diğer ürünlerle dönüşümlü olarak üretildiğinde, jüt ekimi ile bu ürünlerinin haşere saldırısı ve hastalık istilası riskini azaltabileceği fark edilmiştir [7].

1.1.1.3. Keten Elyafı

Linum usitatissimum bitkisinin gövdesinden çıkarılan sak lifi keten lifi olarak adlandırılır. Keten, günlük sıcaklığın 30 °C'nin altında kaldığı bölgelerde yaygın olarak yetiştirilen ılıman bir iklim bitkisidir. Keten lifi bitkisi 30 cm yüksekliğe kadar büyür ve lifler bitkinin alt kısmında bulunur. Üç ay içinde yetiştirilip hasat edilebilen bir tarla bitkisidir. Erkenden hasat edilmesi bitki duvarında aşırı odunlaşmaya sebep olmakta ve bu da lif kalitesini etkilemektedir. Lifler sert odunsu malzemelerden çürütme işlemler ile ayrılır. Çürütme işlemi, kimyasal maddeler veya doğal aşamalar ile yapılmaktadır. Çürütme işleminden sonra dövme ve taraklama işlemleri yapılır. Keten lifinin uzunluğu 30–38 cm aralığındadır. Ketenin dünyada yıllık üretimi 830×10^3 tondur. Keten üretimi, mahsul üretimi için az sayıda kimyasalın gerekli olması nedeniyle çevre dostudur. Dünyada yıllık üretimi yaklaşık 830×10^3 tondur [49, 39, 50, 26]. Keten lifleri takım elbise, ameliyat ipliği, dikiş ipliği, nevresim, havlu, yüksek kaliteli kağıtlar, çarşaf, gömlek, duvar kaplamaları, kompozit levhalar gibi ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca izolasyon ve filtrasyon amacı ile de kullanılmaktadır [49]. Tablo 1.6' da ve Tablo 1.7' de keten liflerinin kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri özetlenmiştir.

Tablo 1. 6 Keten liflerinin kimyasal bileşenleri

Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Pektin (%)	Vaks (%)	Referans
71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,5-1,7	[51]
60–81	14–20,6	2,2–5	1–4	-	[26]
75,2	4,8	8,6	-	-	[41]
71,0	18,6–20,6	2,2	-	1,5	[19]
64–72	18–20	2–2,2	1,8–2,3	-	[49]
71	18,6–20,6	2,2	2,3	1,7	[42]
65–85	18,6–20,6	1–4	5–12	1,5	[52]
62–72	18,6–20,6	2–5	-	-	[53]

Tablo 1. 7 Keten liflerinin fiziksel özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Çap (µm)	Çekme mukavemeti (MPa)	Young modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Referans
1–1,5	80–250	345–1830	27–80	1,2–3,2	[41]
1,4–1,5	-	345,0–1500,0	27,6–80,0	1,2–3,2	[19]
1,5	-	345–1830	27–80	-	[52]
1,5	-	345–1100	-	2,7–3,2	[54]
1,5	-	345–1500	27,6–80	1,2–2,7	[53]

Keten çevre dostu bir liftir. Üretilmesi için çok az sulama ve enerji gereklidir ve biyolojik olarak tamamen parçalanabilir. Yetiştiriciliğinde kimyasal gübreler ve pestisitlerin kullanılması gerekli değildir. Gübrelerin ve pestisitlere ihtiyaç duyulması durumunda pamuk için gerekli olan pestisitlerin ve gübrelerin yalnızca beşte biri gerekir. Ek olarak, keten pamuk ürününden 12 kata kadar daha güçlüdür. Bu da ömrünü önemli ölçüde uzatır. Ayrıca keten lifleri boyayı çok iyi emer ve kimyasal işlemler gerektirmez [48].

1.2. Tekstilde Doğal Boyama

Yukarıda belirtildiği üzere tekstilin kimyasal endüstrisi çevreyi en çok kirleten sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda, tekstil endüstrisi doğal ve organik kaynaklara dayalı alternatiflere yönelmektedir. Bu alternatiflerden biri de doğal boyama olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğal boyalar, bitki, hayvan, mineral ve mikrobiyal kökenli doğal kaynaklardan elde edilen renklendirici maddelerdir [55, 56].

Doğal boyamanın kökleri binlerce yıl öncesine dayanır. Antik çağlardan itibaren insanlar doğadan elde ettikleri malzemelerle kumaşları renklendirmişlerdir. 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sentetik boyaların ortaya çıkması ile doğal boyamalardaki renk tonlarının tekrarlanamaması ve kalıcılığının olmaması sebebiyle doğal boyama işlemlerine olan ilgi azalmış ve zamanla ortadan kalkma noktasına kadar gelmiştir. Ancak artan çevresel sorunlar ile özellikle son 30 yılda tekstil sektöründe çevre dostu doğal boyamanın kullanımına yönelik talep artmıştır. Üreticiler tarafından petrokimyadan türetilen boyalara alternatif oluşturma amacıyla doğal boyalara olan ilgi yeniden canlanmıştır [13, 57, 58, 59]. Doğal boyama yeniden popülerlik kazanmış ve sürdürülebilir moda hareketinin bir parçası haline gelmiştir [56]. Doğal boyama, birçok avantaja sahiptir. Öncelikle, doğal boyaların elde edilmesi için bitkiler, böcekler, mineraller ve topraklar gibi doğal kaynaklar kullanılır. Bu kaynaklar sürdürülebilir tarım ve yerel ekonomiyi desteklemektedir. Ayrıca, doğal boyaların çevreye olan etkisi de oldukça düşüktür. Aynı zamanda estetik açıdan da birçok fırsat sunmaktadır. Bitkisel ve hayvansal kaynaklı boyalar geniş bir renk yelpazesine sahiptir ve doğal olarak zengin tonlar ve nüanslar üretebilir. Bu da tasarımcılara ve sanatçılara daha yaratıcı ve özgün çalışmalar yapma imkânı vermektedir. [60, 61]. Doğal boyaların avantajları ve dezavantajları bazıları aşağıdaki gibidir [62, 63, 64, 65].

Doğal boyaların avantajları

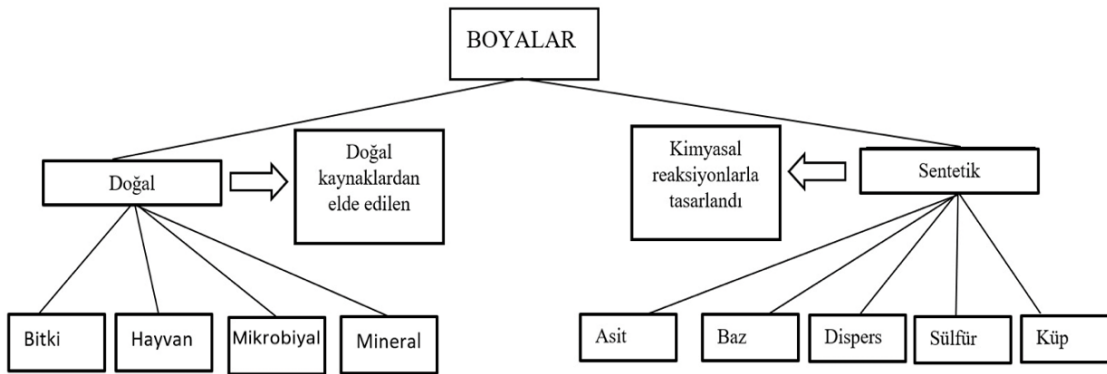
- Doğal boyalar yenilenebilir, biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre için zararsızdır.
- Sentetik esaslı boyarmaddelerin kullanımı azaltabilir
- Doğal boyaların elde edilmesi için, bitkilerin yetiştirilmesi, ekstraksiyon ve uygulanma süreçleri için istihdam olanağı sağlanabilir.
- Tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılabilir. Atık bertaraf sorunu oluşturmaz.
- Doğal boyaların yapısal özellikleri sayesinde aynı zamanda tekstilde bitim işlemi etkileri sağlanması; koku güzelleştirici/önleyici, anti bakteriyel, güve/böcek/haşere kovucu, UV ışınlarından koruyuculuk gibi işlevsel (fonksiyonel) ve çok işlevli özellikler kazandırılmaktadır.
- Bitkileri, meyveleri, yaprakları, kabukları veya çiçekleri suda kaynatarak renklerin kolayca çıkarılabilir.

Doğal boyaların dezavantajları

- Bitkilerden boya ekstraksiyonu durumunda aynı tonların sentezi zordur. Bitkinin elde edildiği yer ve zaman boya tonunu etkiler.
- Tüm doğal boyaların tekstil yüzeyine tutunması ve boyanın kalıcılığı için mordan kullanımı gerekmektedir.
- Pahalı ve zaman alıcı bir süreçtir.
- Yıkamaya ve ışığa karşı renk haslıkları düşüktür.

1.2.1. Doğal Boyaların Sınıflandırılması

Tekstil boyalarının sınıflandırılması kimyasal yapılarına göre belirlenmektedir. Temel olarak boyalar, doğal ve sentetik boyalar olmak üzere 2' ye ayrılır (Şekil 1.5) [62]. Doğal boyalar, bitki, hayvan, mineral ve mikrobiyal kökenli doğal kaynaklardan elde edilen renklendirici maddelerdir [57]. Tarım, gıda, ilaç, orman yiyecek işletmelerinden çıkan atıklarda doğal boya olarak değerlendirilebilmektedir [66].



Şekil 1. 5 Tekstil boyalarının sınıflandırılması [62]

Doğal boyalar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [67].

1. Doğal boyanın elde edildiği kaynağa göre (Hayvanlar, bitkiler, mikroorganizmalar, mineraller).
2. Kimyasal yapısına göre (Antrakinin, indigoid, karoteoidler vb.)
3. Renklere göre (kırmızı, yeşil, sarı, mavi, turuncu, siyah vb.)
4. Uygulama yöntemlerine göre (Asit boyama, reaktif boyama, dispers boyama vb.)

1.2.1.1. Doğal Boyaların Elde Edildiği Kaynağa Göre Sınıflandırılması

1.2.1.1.1. Hayvansal Kökenli Doğal Boyalar

Hayvansal esaslı doğal renklendiriciler özellikle tekstillerde olmak üzere farklı alanlarda değerlerini artırıyor. Tekstillerin renklendirilmesinde genellikle lak, koşinil ve kermes böceği kullanılmaktadır. Çeşitli araştırmacılar, doğal ve sentetik tekstilleri renklendirmek için böcek bazlı renklendiriciler kullanmaktadır [67]. Boyama için kullanılan deniz kabukluları Marmara Denizi, Ege Denizi, Akdeniz ve Karadeniz'de bulunmaktadır [66].

1.2.1.1.2. Bitkisel Kökenli Doğal Boyalar

Bitkisel boyalar, gövde, ağaç, kökler, kabuk, yapraklar, çiçekler, meyveler ve bitkilerin kabukları dahil olmak üzere bitki ve otların çeşitli kısımlarından elde edilir Bitkilerden elde edilen boyarmaddeler diğerlerine göre daha bol renk seçeneği sunmaktadır. Bitkilerin kökleri, yaprakları, kabuğu, gövdesi veya meyvesi gibi bitkisel kaynaklardan 500'den fazla renklendirici elde edilmektedir [68, 67]. Türkiye’de ise bitkilerden elde edilen boya sayısının yaklaşık 250 olduğu bilinmektedir [66]. Bitkilerden elde edilen bazı önemli doğal boyalar Tablo 1. 8’ de gösterilmektedir.

Tablo 1. 8 Bitkilerden elde edilen doğal maddeler [59, 68]

Bitki parçaları	Boya
Kökler	Pancar, zerdeçal, soğan, kökboya, adikaramuk, efelek, havaciva otu, iç Anadolu karamuğu, yabani kökboya, yoğurt otu,
Kabuk ve dallar	Bakam odunu, adi kızılbaş,
Yapraklar	Yasemin, okaliptüs, kına, indigo, limon, çay, asma, boyacı sumağı, ceviz, çivit otu, defne, gümüşü ıhlamur, hayıt, Hindistan çividi, ısırgan, katron, kekik, melisa, melengiç, muhabbet çiçeği, mürver, pamuk otu, sığır kuyruğu, sumak, sütleğen,
Çiçekler,	Kadife çiçeği, adaçayı, Akdeniz defnesi, aspir, bit otu, boyacı katırtırnağı, civanperçemi, ebe gümeci, gümüşü ıhlamur, hayıt, katron, katırtırnağı, kekik, muhabbet çiçeği, ölmez çiçek, pamuk otu, papatya, sığır kuyruğu, sütleğen,
Meyve/tohum	Nar, cehri, ceviz, dağlama,

1.2.1.2. Doğal Boyarmaddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Doğal organik boyalar ve pigmentler, indigoid, antrakinonoidler, naftakinonlar, polimetinler, ketonlar, iminler, kinonlar, flavonlar, flavanoller, flavanoidler ve klorofil gibi çok çeşitli kimyasal sınıflara aittir. Doğal boyaların kimyasal yapısında tek ve çift bağ grupları bulunmaktadır. Bu boyaların çoğu uzun zincirli kininler, antrakinonlar, naftakinonlar, indigoitler bazlı kromoforlar içermektedir [68, 58] Bazı önemli kimyasal yapılar Tablo 1.9’ da gösterilmiştir.

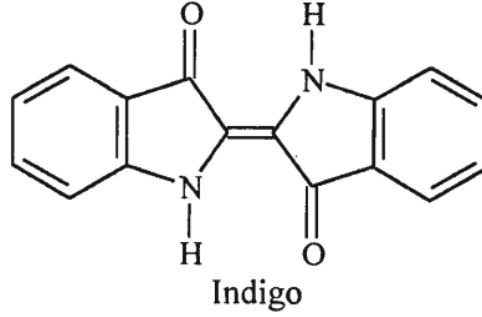
Tablo 1. 9 Doğal Boyarmaddelerin Önemli Kimyasal Sınıfları [67, 69]

Kimyasal sınıfı	Doğal boya kaynağı	Uygulanacak kumaş	Üretilen renk
İndigoidler	İndigo	Pamuk, ipek ve yün	Mavi
	Çiviotu	Pamuk, ipek ve yün	Mavi
Antrakinonlar	Kökboya bitkisi (<i>Rubia tinctorium</i> L.)	Pamuk ve yün	Kahverengi, Koyu kırmızı, Bordo, turuncu, pembe ve kırmızı
	Kök boya bitkisi (<i>Rubia cordifolia</i>)	Pamuk ve yün	Kahverengi, koyu kırmızı, Turuncu, pembe ve kırmızı
	Lak Böceği (<i>Laccifer lacca</i>)	Naylon, ipek ve yün	Kahverengi ve kırmızı
	Kermes Böceği (<i>Kermes vermilio</i>)	Yün	Mor ve kırmızı
	Koşinil Böceği (<i>Coccus cacti</i>)	Pamuk, ipek ve yün	Koyu kırmızı, pembe
Naftakinonlar	Kına ağacı	İpek ve yün	Sarı ve kahverengi
	Ceviz kabuğu	İpek ve yün	Kahverengi
Flovanlar	Muhabbet çiçeği	Pamuk, ipek ve yün	Turuncu ve sarı
Antosiyaninler	Mahonya çiçeği	Pamuk ve ipek	Turuncu ve sarı
	Kamelya çiçeği	İpek	Mavi
Karotenoidler	Safran bitkisi	İpek ve yün	Sarı
Tanenler	Mazı meşesi (<i>Quercus infectoria</i> Oliver)	Pamuk ve yün	Siyah

1.2.1.2.1. İndigoit Boyalar (Mavi Pigmentler)

İndigoid boyalar, indigotin adı verilen organik bir bileşiğin türetilmiş hali olan kimyasal bileşikleridir. İndigotin, $C_{16}H_{10}N_2O_2$ kimyasal formülüne sahip bir pigmenttir. Bu bileşiğin yapısı, indolin grubunu ve benzopyrrole türevidir. İndigotin, moleküler düzeyde karmaşık bir halka yapısına sahiptir. Moleküler yapısı Şekil 1.6' da gösterilmiştir. İndigotin pigmenti doğal olarak bitkilerin yapraklarında bulunur. Indigofera cinsine ait bitkiler, özellikle indigotin pigmenti açısından zengindir. Ancak indigotin doğal haliyle suda çözünmez. Bu nedenle, indigotin'i tekstil ürünleri gibi yüzeylere taşıyabilmek için çeşitli kimyasal işlemlere tabi tutmak gereklidir. Fermantasyon ve oksidasyon süreçleri, indigotin'i çözelti haline getirerek boyama işleminin gerçekleşmesini sağlar. İndigoid boyaların kendine has özelliği, ilk başta soluk bir renk sunmasıdır. Ancak oksidasyon süreci sonucunda renk derinleşir ve

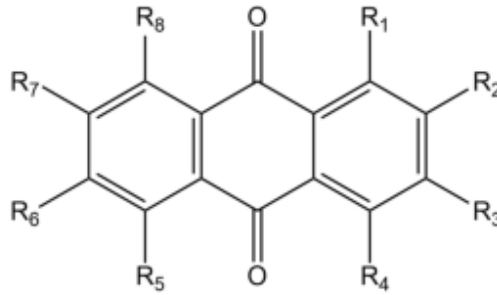
karakteristik zengin mavi tonunu elde eder. Kimyasal olarak karmaşık olan bu boyaların üretimi, geleneksel yöntemlerle gerçekleştirildiğinde oldukça işçilik yoğundur. [69, 70].



Şekil 1. 6 İndigonin Kimyasal Yapısı [71]

1.2.1.2.2. Antrakinon Boyalar

Doğal antrakinon boyaları, bitkilerden (kök boya vb.) ve böceklerden (koşinil, kermes, lak böceği vb.) edilen organik pigmentlerdir. Bu boyaların temel kimyasal bileşiği "antrakinon"dur. Antrakinon, bitkilerin yaprakları, kabukları veya kökleri gibi farklı bölgelerinde bulunabilir. Antrakinon bir benzen halkasının her iki tarafında iki karbonil grubu içermektedir (Şekil 1.7). Antrakinon bazlı boyalar farklı lif türleri üzerinde kırmızı tonları elde edilebilir. Paletin rengi, mordan için kullanılan metalik tuza bağlıdır ve mor, kahverengi ve turuncu renk aralığına sahiptir [72].

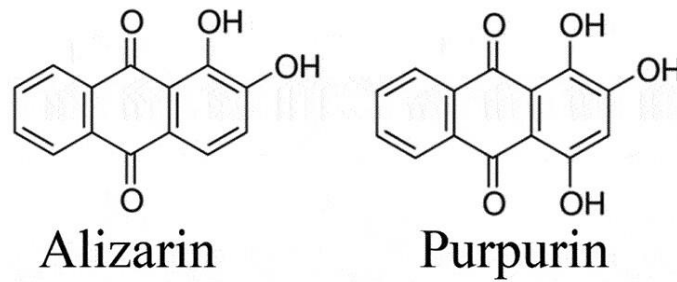


Şekil 1. 7 Antrakinonun Kimyasal Yapısı [73]

1.2.1.2.2. 1. Kökboya (*Rubia tinctorum* L.)

Rubiaceae familyasına ait kökboya (*Rubia tinctorum* L.) çok yıllık bir bitkidir. Kök boya M.Ö. 2000 yılından beri tekstil boyamada kullanılmaktadır. *Rubia Tinctorum* L. kökünde ana renklendirici bileşen olarak Alizarin (1,2 dihidroksi antrakinon) içeren farklı antrakinon bazlı doğal renklendiriciler içerir (Şekil 1.8). Ana boya bileşenleri, ruberitrik asidin hidroliz ürünü olan alizarinli (1,2 dihidroksi antrakinon) antrakinonlardır. Bu pigmentlerle, ısıya ve ışığa dayanıklılık özelliklerine sahip kullanışlı renkler üretilmektedir. Ayrıca *Rubia Tinctorum*' un bazı Gram (+) ve Gram (-) bakterilere, mayalara ve mantarlara karşı antimikrobiyal aktivitesi vardır [74, 75].

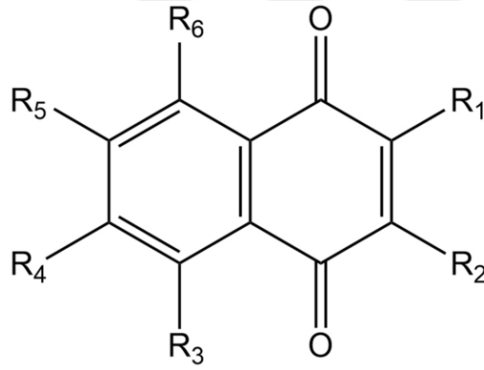
Hem uzak hem de yakın geçmişe bakıldığında kök boya, üretim süreçlerinin önemli unsurlarından biri olan tekstil (halı, kumaş, kilim vb.) gibi ürünlerin renklendirilmesinde kullanılmaktadır. Bitkisel kökenli olması nedeniyle tarıma uygun coğrafyaların gelişmesine dolaylı olarak katkı sağlamıştır. Kök boyanın Osmanlı Dönemi ve Türkiye Cumhuriyeti'ndeki yolculuğunu tarihsel açıdan incelediğimizde ikliminin uygun olması nedeniyle kök boya üretimi ve kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır. Kök boya, deri ve diğer sanayi kollarının vazgeçilmez hammaddelerinden biri olmuştur. 1700'lü yıllarda dünyadaki kök boya ihtiyacının üçte ikisini karşılayan Osmanlı İmparatorluğu, 1875 yılına kadar sadece İzmir'de kök boya geliri 500.000 altın lirayı aşıyordu. Ancak dünya ekonomisinde sanayileşmeye doğru yaşanan büyük dönüşümü ile doğal ürünlerin yerine kimyasal ürünlerin yer almıştır. Anadolu'nun pek çok yerinde kök boya elde edilen bitkilere rastlanmaktadır. Çok ıslak ya da kuru olmadığı sürece kök boyayı sağlayabilecek bitkiler hemen her toprakta yetişebilir [76].



Şekil 1. 8 *Rubia tinctorum* L. kökünde bulunan bazı ana antrakinon bazlı renklendiricilerin kimyasal yapıları [75]

1.2.1.2.3. Naftakinonlar

Naftakinon türleri, bitkisel kaynaklardan elde edilir ve genellikle doğal boyaların temel bileşenlerinden biridir. Bu tür boyaların kimyasal yapıları bitki türüne, coğrafi bölgeye ve diğer faktörlere bağlı olarak değişebilir. Ancak temel yapı, naftakinonun halka yapısına dayanır. Moleküler formülü $C_{10}H_6O_2$ olan naftokinon, iki aromatik halka yapısına sahiptir ve birbirine benzer iki karbonil grubu ($C=O$) içerir (Şekil 1.9). Bu yapı, renk oluşturuıcı özellikleri ile ilgilidir. Naftakinon doğal boyalarının renk tonları, yan zincirlerin veya bağlanmış grupların türüne bağlı olarak değişebilir. Bu tür boyalar, tekstil boyamacılığında, geleneksel el sanatlarında ve diğer renklendirme alanlarında kullanılır. Bitkilerin yaprakları, kökleri veya diğer kısımlarından çıkarılan naftakinon pigmentleri, farklı renk tonlarını sağlamak için işlenir ve kullanılır [73].

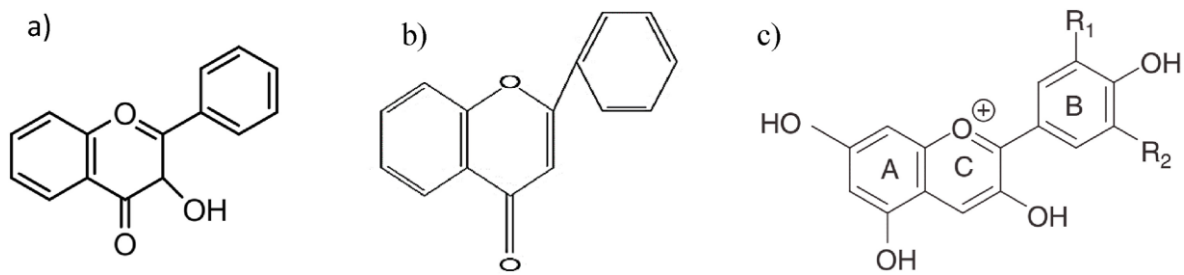


Şekil 1. 9 Naftakinonun Kimyasal Yapısı [73]

Antrakinin boyaları gibi naftokinonlar da turuncu, kırmızı veya kırmızımsı kahverenginin farklı tonlarını verir. Bangladeş, Hindistan, Kuzey ve Doğu Afrika ve Avustralya'da yetiştirilen ve kullanılan yaygın olarak bilinen kınanın (*Lawsonia inermis* L.) yün ve ipeğinin doğrudan veya farklı mordanlarla kombinasyon halinde boyanması ile turuncu ila kahverengi elde etmek mümkündür. Naftokinonlar fındık ağaçlarının (*Juglandaceae*) farklı kısımlarında bol miktarda bulunur [77].

1.2.1.2.4. Flavonoid Boyalar

Flavonoid boyalar bitki kaynakları aracılığıyla açık sarıdan koyu sarıya, turuncudan kırmızı ve maviye kadar uzanan en geniş renk paletini içermektedir. Flavonoidler genellikle bitkilerin çiçekleri, meyveleri, yaprakları, gövdeleri ve kökleri gibi farklı bölümlerinde bulunurlar. Bu boyalar, C6-C3-C6 yapısına sahip olan fenilalanin ve asetat koenzim A esterlerinin türevleridir. Flavonoidlerin çeşitli alt grupları vardır, örneğin flavonoller, flavonlar, antosiyaninler gibi. Bu alt gruplar farklı kimyasal yapı ve biyolojik aktivitelere sahip olabilirler. Kimyasal yapıları Şekil 1.10' da gösterilmiştir [77]. Flavonoller ağırlıklı olarak soğan, lâhana, brokoli, elma, kiraz, dut, çay ve kırmızı şarapta bulunur [78].



Şekil 1. 10 Şekil 1.10. a) Flavonol (soluk sarı) b) flavon ve c) antosiyanidin (turuncu) [77]

1.2.1.2.5. Tanen Esaslı Boyalar

Tanenler, molekül ağırlıkları 500 ila 3000 arasında olan bitkilerde doğal olarak bulunan organik bileşiklerdir ve genellikle bitkilerin sert dokularında, kabukları, yaprakları, meyveleri ve kökleri gibi bölgelerinde bulunurlar. Bu bileşikler, polifenol adı verilen bir grup içinde yer alırlar. Tanenler, özellikle deri tabaklama, tekstil boyama ve ahşap koruma gibi alanlarda kullanılan doğal boyarmaddelerdir. Tanenlerin en dikkate değer özelliklerinden biri, proteinlerle etkileşime girerek malzemelere dayanıklı bir tabaka oluşturabilme yetenekleridir. Bu özellikleri sayesinde deri endüstrisinde deri tabaklama ajanları olarak kullanılarak deriye renk verme sağlarlar. Tanenler, liflerin farklı boyalara karşı afinitesini artırarak doğal boyalarla boyamada çok önemli rol oynarlar. Farklı doğal boyalarla karıştırılarak sarı, kahverengi, gri, siyah gibi farklı tonlar elde edilir. *Mazı meşesi* (*Quercus infectoria*) tanen esaslı boyarmaddedir [79, 77]

1.2.1.2.5.1. Mazı Meşesi (*Quercus infectoria* Oliver)

Mazı Meşesi (*Quercus infectoria* Oliver), Fagaceae ailesine ait bir ağaç türüdür ve genellikle Akdeniz bölgesi ve Orta Doğu'da bulunur. Bu bitkinin meşesi özellikle meyveleri ve yaprakları flavonoidler, tanenler ve diğer biyoaktif bileşikler açısından zengindir. Mazı meşesi meyveleri, özellikle gal adı verilen yapılar içerir ve bunlar bitkinin kimyasal savunma mekanizmasının bir parçası olarak böcek saldırılarına karşı oluşur. Bu gallar, tannik asit gibi bileşikler açısından zengin olup, geleneksel olarak boyar madde olarak kullanılır. Gallar 0,8-2,5 cm çapında, sert kıvamda, pürüzlü yüzeyle ve grimsi-kahverengi ile kahverengimsi-siyah renktedir (Şekil 1.11) Gallardan elde edilen mazı meşesi boyası, tekstil boyama kullanılan doğal boyarmaddelerden biridir. Galların içerdikleri tanenler ve diğer bileşenler, özellikle kumaşlara renk ve dayanıklılık sağlama konusunda etkilidir. Bu doğal boyama maddesi genellikle kahverengi veya siyah renkte olup, tarihsel olarak da tekstil boyama işlemlerinde kullanılmıştır [80].



Şekil 1. 11 Mazı Meşesi Galları [81]

1.2.1.3. Doğal Boyarmaddelerin Renk Bazlı Sınıflandırılması

1.2.1.3.1. Kırmızı

Renk İndeksinde toplam 32 doğal kırmızı boya listelenmektedir. Kırmızı renklendiricilerin çoğu, bitkinin kabuklarında veya köklerinde bulunur veya gri böceklerin gövdelerinden elde edilir [67].

1.2.1.3.2. Sarı

Sarı, doğal boya sınıfında en yaygın ve bol bulunan renktir. Renk indeksinde toplam 28 doğal sarı boya listelenmiştir. Doğal sarı rengin kaynakları arasında zerdeçal, muhabbet çiçeği (*Reseda luteola* L.), boyacı sumağı (*Cotinus coggyria* Scop.), boyacı katırtırnağı (*Genista tinctoria* L.), *Serratula tinctoria* L. Gaud ve bazı cehri (*Rhamnus*) bulunmaktadır [67].

1.2.1.3.3. Yeşil

Yeşil boya veren bitkiler nadirdir. Çivit otu (*Isatis tinctoria*) ve indigo, yeşil tonları üretmek için eski zamanlardan beri sarı boylarla birlikte kullanılmıştır. Sarıya boyanmış tekstiller demir mordanla işlendiğinde zeytin yeşilleri de elde edilebilmektedir [67].

1.2.1.3.4. Siyah ve Kahverengi

Siyah renk, doğal boyalar kullanılarak elde edilebilen en temel renklerden biridir. Doğal siyah boyaların kaynağı ise bazı bitkilerin özleri olabilir. Yaban mersini veya siyah ceviz kabukları gibi bitkiler kaynatılarak veya suyla karıştırılarak siyah renkli boyalar elde edilebilir. Kahverengi renk, doğal boyalar kullanılarak çeşitli bitkisel ve mineral kaynaklardan elde edilebilir. Zerdeçal tozu ve kına ağacı yaprakları, doğal yollarla kahverengi renk tonları üretmek için kullanılan bitkisel kaynaklardır. Zerdeçal tozu özellikle sarıdan kahverengiye doğru geniş bir renk yelpazesine sahiptir. Kına ağacı yaprakları da kahverengi tonlarına sahip doğal bir renklendirici kaynağıdır. Bitkisel kaynaklardan elde edilen siyah ve kahverengi renkler aynı zamanda iyi haslık özelliklerine sahiptir [82, 67].

1.2.1.3.5. Turuncu

Turuncu rengin elde edilmesi için genellikle önce sarı renk boyama yapılır. Daha sonra aynı boya banyosunun içersine bir miktar kök boya ilave edilerek rengin turuncuya dönüşmesi sağlanır. Yapılan birçok tarihi tekstilin turuncu renk boyarmadde analizlerinde sarı renk için kullanılan boyarmaddelerin yanında kırmızı renk için kullanılan boyarmaddelere de rastlanmıştır. Bu durum turuncu rengin boyanmasında sarı renk boyamalarda kullanılan bitkilerle birlikte kırmızı renk boyamalarda kullanılan bitkilerin birlikte kullanılmış olduğunu göstermektedir [67].

1.2.1.3.6. Mavi

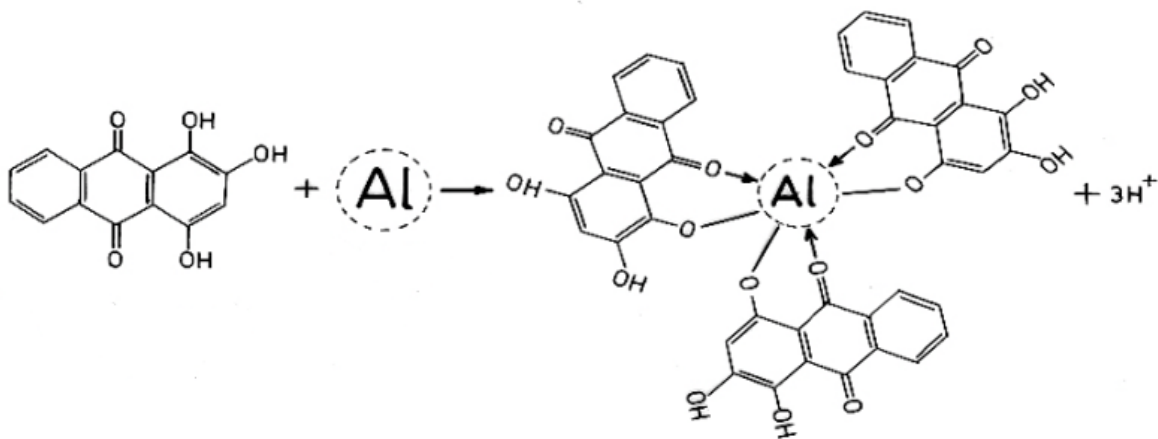
Renk indeksinde yalnızca 3 doğal mavi boya listelenmektedir. Tüm elyaflarda en parlak ve en hızlı mavi tonları indigodan elde edilir. Başlıca renklendirici madde, ana kaynakları İndigo (*Indigofera tinctoria*) ve çivit otu (*Isatis tinctoria*) olan indigotindir [68].

1.2.1.4. Doğal Boyaların Uygulama Yöntemleri

Doğal boyalar ayrıca uygulama yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar; mordan ile boyama, direkt boyama, küp boyama, asidik boyama, bazik boyama ve disper boyama [67].

1.2.1.4.1. Mordan ile Boyama

Bazı doğal boyalar her ne kadar kalıcılık özelliklerine sahip oldukları için mordan gerektirmese de doğal boyaların çoğu iyi kalıcılığa sahip değildir; çoğu durumda, doğal boyanın tekstil malzemesi üzerine uygulanmasından önce ön mordanlama gereklidir. Mordan, doğal bir boya ile kumaş arasında bağ oluşturmaya yardımcı olan ve daha iyi haslık özellikleri sağlayan metalik bir bileşiktir. Genellikle farklı doğal boyalarla tekstil malzemelerin renklendirilmesinde mordan olarak araştırmacılar bakır, krom ve demir tuzlarını mordan malzemesi olarak kullanılmaktadır. Geleneksel olarak kullanılan mordanlar Tablo 1.15’ de gösterilmiştir. Bu mordanlama malzemeleri kimyasal köprü oluşturarak, boyanın kumaşa tutunmasını sağlamaktadır [58, 83]. Alüminyum sülfat veya diğer metalik mordanlar herhangi bir lifte bağlandığında, doğal boyalarda bulunan işlevsel gruplar ile kimyasal olarak birleşir. Kovalent bağlar veya hidrojen bağları ile aşağıda Şekil 1.12’ de gösterildiği gibi birbirilerine bağlanırlar [84].



Şekil 1. 12 Mordan ile doğal boyarmaddenin kimyasal bağı [84]

Doğal boya sektöründe renk tonlarının sınırlandırılması sebebi ile sadece sarı, mavi, kahverengi, turuncu ve mavi renkler elde edilebilmektedir. Mordanın metali (demir, bakır, krom, alüminyum vb.) değiştirilerek boyanan malzemenin rengi de değiştirilebilir. Bunun nedeni, mordanda bulunan metalin doğal boyanın kromofor grubuyla reaksiyona girmesi ve elektron stabilitesini değiştirmesidir. Boyanan kumaşların açıklık (L^*), kırmızılık-sarıklık (a^*), mavilik-yeşillik (b^*), renk parlaklığı (c^*), renk tonu (h^0) ve renk kuvveti (K/S) büyük ölçüde mordanların ve liflerin kimyasal yapısına ve boya ile lifin metal iyon kompleksi oluşturma yeteneğine bağlıdır [58, 85].

Araştırmacılar doğal boyanın yün ve jüt liflerinde etkinliğinin daha iyi olduğunu görmüşlerdir. Bunun sebebinin de kimyasal yapılarındaki amorf bölge, lignin ve karboksil grubu varlığından dolayı olduğunu gözlemleyip bildirmişlerdir. Yünün amfoterik yapısı ve jüt lifinin yapısındaki lignin varlığı ile nötr pH koşulunda daha fazla miktarda doğal boya almalarını sağlamaktadır [58].

Tablo 1. 10 Geleneksel Mordanlar [84]

Mordan Maddesi	Kimyasal Formülü
Şap	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$
Demir Sülfat	$FeSO_4 \cdot 7 H_2O$
Kalay Klorür	$SnCl_2 \cdot 2 H_2O$
Bakır Sülfat	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
Potasyum Dikromat	$K_2Cr_2O_7$

Krom, çevre düzenlemeleri kapsamında kırmızı listeye alınmıştır ve bu nedenle, boşaltılan atık suyun yanı sıra boyalı tekstil malzemesinin çevre dostu doğasını korumak için kullanılmamalıdır. Bakır da kısıtlı kategoridedir ancak boyalı tekstilde izin verilen sınırı aşmayarak küçük miktarlarda kullanılabilir. Kalay pek çok eko-etiketle sınırlandırılmamıştır ancak atık sudaki varlığı çevresel açıdan arzu edilen bir durum değildir. Şap ve demir, çevrede doğal olarak büyük miktarlarda mevcut oldukları için ekolojik açıdan güvenli mordanlar olarak kabul edilebilir [86]. Geleneksel olarak kullanılan mordan maddeleri Tablo 1.10’ da gösterilmiştir.

1.2.1.4.1.1. Mordanlama Yöntemleri

Mordanların kullanım zamanlarına göre üç çeşit uygulama yöntemi vardır. Bunlar:

1. Ön mordanlama
2. Son mordanlama
3. Eşzamanlı mordanlama.

Ön mordanlamada mordanlar boyama öncesinde tekstil materyaline uygulanır. Mordansız haldeyken pek çok doğal boyaya afinitesi olmadığından pamuk ve selülozikler için en yaygın olanıdır. Bu yöntemin avantajı, banyo mordanlarla doldurulduktan sonra birçok kez yeniden kullanılabilir. Bu, prosesi ekonomik hale getirmenin yanı sıra kirlilik yükünü de azaltır, dolayısıyla büyük ölçekli uygulamalar için faydalıdır. Sonradan mordanlama yönteminde tekstil materyali boyama sonrasında ayrı bir banyoda mordanlama işlemine tabi tutulur. Son renk son aşamada geliştirilir. Gri ve siyah renklerin üretilmesi için demir tuzları sıklıkla bu şekilde uygulanır. Eş zamanlı mordanlama yönteminde hem boyama hem de mordanlama işlemleri aynı banyo içerisinde gerçekleştirilir. Genellikle pamuk ve selülozikler için boyamanın başlangıcında boya banyosuna mordan da eklenir, böylece hem boyama hem de mordanlama işlemleri aynı banyoda aynı anda gerçekleşir. Yün gibi hayvansal lifler için tekstil üzerine çok fazla boyanın çekilmesi durumunda boyama işleminin sonuna doğru da mordan maddesi boya banyosuna eklenebilir. Bu yöntemde adım sayısının azalması nedeniyle boyama süresi kısalmaktadır [86].

1.2.1.4.2. Direkt Boyalar

Direkt boyalar, afiniteye sahip olmaları ve doğrudan lif bünyesine alınabilmeleri nedeniyle pamuk gibi selülozik elyaflara doğrudan uygulanabilen, suda çözünebilen organik moleküllerdir. Direkt boyalar kolaylıkla uygulanır ve parlak renkler verir. Direkt doğal boyaların öne çıkan bazı örnekleri zerdeçal, annatto, nar ve aspirdir [87].

1.2.1.4.3. Asidik Boyalar

Asidik boyalar yün, ipek ve naylon gibi poliamid elyaflar için doğrudan boya türüdür. Bu boyalar asidik ortamda uygulanır ve boya moleküllerinde ya sülfonik asit ya da karboksilik asit grupları bulunur. Safran, doğal asit boyası olarak sınıflandırılmıştır. Bu boyanın iki karboksilik asit grubu vardır [87].

1.2.1.4.4. Bazik Boyalar

Bazik boyalara katyonik boyalar da denir. Bu boyalar iyonizasyonla yün ve ipek liflerinin karboksil grubuyla iyonik bir bağ oluşturur. Bu boyalar nötrden hafif asidik duruma kadar uygulanır. Berberin bitkisi doğal bazik boyaya örnek verilebilir. Yapısal olarak bu boya, boyanın yapısında rezonansa giren bir pozitif yük taşır ve bu da zayıf ışık haslığına neden olur [87].

1.2.1.4.5. Dispers Boyalar

Dispers boyalar, polyester ve asetat elyaflarını boyayan, suda çözünmeyen boyalardır. Dispers boyama prensibi, doğal boyamaya göre çok yeni bir prensiptir. Ancak yapısal benzerlikleri ve çözünürlük özellikleri göz önüne alındığında, ceviz ağacı (*Juglans regia* L.)' nın yaprakları ve meyvesinin kabuğundan juglon, lawson ve shikonin gibi bazı doğal boyaların dispers boyalar olarak sınıflandırılabilceği düşünülmektedir [87].

1.2.1.4.6. Küp Boyalar

Küp boyama, renkli formlarında çözünmezler, ancak boyanacak elyaf veya tekstile afinitesi olan çözünür renksiz forma indirgenebilirler. Küp boyalarının yeniden oksidasyonu, onları orijinal rengi koruyarak tekrar çözünmez forma dönüştürür. Küp boyalara, deniz kabuklarından elde edilen tyrian moru, çivit otundan elde edilen mavi boya örnek verilebilir. [87].

1.3. Tekstilde Antibakteriyellik Aktivite

Tekstil malzemeleri, bakteriler için yüksek yüzey temas alanı nedeniyle özellikle hastanelerde, bebek kıyafetlerinde, iç çamaşırlarında ve spor kıyafetlerinde olmak üzere bakterilerin büyümesi için ortam sağlamaktadır. Covid- 19 ile kişisel sağlık ve hijyene olan ilginin artması, tekstillerde antibakteriyellik özelliklerinin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır [88].

Tekstil kumaşlarındaki bakterilerin büyüme mekanizmasının bilinmesi, büyümelerinin etkili bir şekilde engellenmesi açısından önemlidir. Genel olarak tekstil yüzeyleri sentetik ve doğal liflerden oluşur. Bu polimerler, liflerin türüne bağlı olarak kimyasal veya doğal monomerlerden oluşur. Ayrıca havadaki bakterilerin bağlanması için potansiyel bir substrat ve bakterilerin koloniler halinde büyümesi ve gelişmesi için bir besin ortamı sağlamaktadır. Terin ve atmosferik nemin lif tarafından emilmesi, bakterilerin üremesi için gerekli olan nemi destekler. Daha sonra, polimerlerin besin olarak kullanılmasıyla oluşan bakteriyel büyüme, kumaşta polimerin monomere daha yavaş dönüşümüne ve bakterilerden metabolitlerin salınmasına yol açacaktır. Ayrıca bakteriyel metabolitler, elyaftaki polimerin parçalanmasında

da sebep olmaktadır. Dolayısıyla bakteri ve metabolitlerinin kumaş polimerini parçalamadaki sinerjistik etkisi, kumaşta hasara ve çok sayıda bakteri kolonisinin oluşmasına yol açacaktır. Patojenik bakteriler böyle bir mekanizmaya maruz kaldığında insanlarda cilt tahrişine veya enfeksiyona yol açabilir. Doğal liflerin polimerleri, büyümeleri için önemli bir karbonhidrat kaynağı görevi gördüğünden, doğal liflerin sentetik liflere göre bakteriyel saldırıya daha yatkın olduğu, kimyasal bazlı polimerlerin ise bakteri hücreleri için toksik olduğu belirtilebilir. Bu nedenle, kumaş polimerinin bakteriyel hücre yapışmasından korunması, büyümelerinin önlenmesinde çok önemlidir ve bu polimerlerde antibakteriyel maddenin varlığı, büyümelerini engelleyecektir [89].

Triklosan, metal ve bunların tuzları, organometalikler, fenoller vb. gibi sentetik antibakteriyel ajanlar bakterilere karşı iyi toksisite gösterse de kitosan ve doğal boyalar gibi doğal çevre dostu ajanların kullanılması çevresel riskleri ortadan kaldırabilir. Doğadan elde edilen renklendiricilerin, sentetik boyalardan farklı olarak toksik, kanserojen olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilen doğalarından dolayı güvenli olduğu düşünülmektedir. Doğal boyaların birçoğu antioksidan aktiviteye sahiptir ve ayrıca antibakteriyel bileşikler olarak kabul edilir [90].

1.3.1 Tekstilde Antibakteriyellik Özelliğin Doğal Boyalar ile Kazandırılması

Bu başlık altında çalışma kapsamında kullanılan mazı meşesi ve kök boyalar ile antibakteriyellik özelliğin kazandırılmasına yönelik yapılan literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

Güzel ve diğerleri ipek kumaşını kök boya (*Rubia tinctorium* L.) ve mazı meşesi (*Quercus infectoria* Oliver) ile boyamışlar ve Gram-pozitif bakteri olarak *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) ve *Escherichia coli* kullanılarak gram-pozitif ve gram-negatiflere karşı antimikrobiyal aktivite testi yapmışlardır. Mazı meşesi içeren boyamalar antimikrobiyal aktivite testlerinde daha iyi performans göstermiştir. İpek kumaşlar *S.aureus* ve *E.coli*'ye karşı beş yıkamaya kadar neredeyse %100 aktiviteyi korumuştur [91].

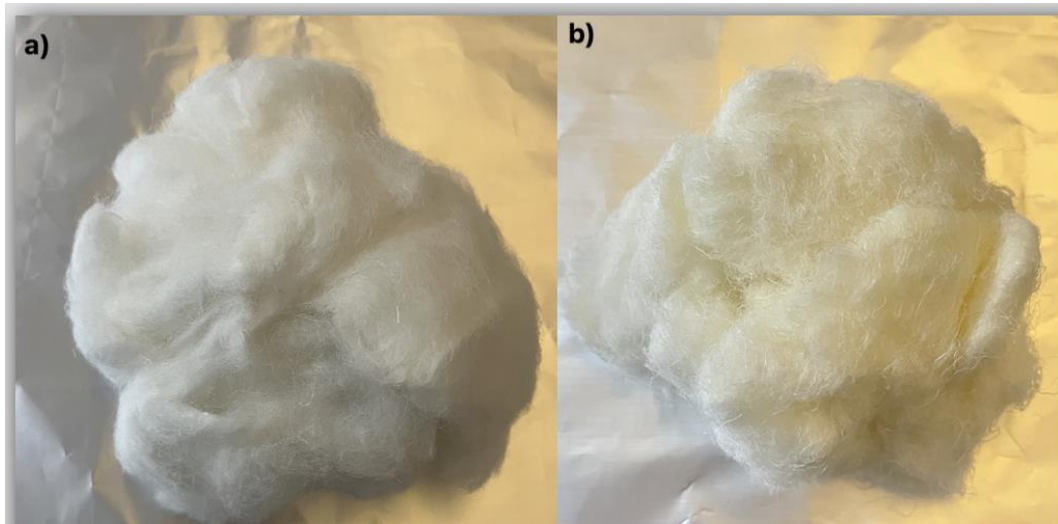
Alkan ve diğerleri ipek kumaş doğal indigo ile boyanmıştır. Bir kumaşı hariç, tüm kumaşlar aynı oranda şap ile mordanlanmıştır. Ardından, yeşil renkli boyama için ipek kumaşlar muhabbet çiçeği (*Reseda luteola*) ve mazı meşesi (*Quercus infectoria* Olivier) ile boyama yapılmıştır. 27 tane ipek kumaşın antimikrobiyal işlevi belirlenmiştir. ATCC Test Method 100-1999 kullanılarak gerçekleştirilmiş. Kumaşların *Staphylococcus aureus* ATCC 6538'e karşı antimikrobiyal aktivitesi, hastanelerdeki enfeksiyonların ana nedeni olarak kabul edilen patojen bir gram-pozitif bakteri olan *Staphylococcus aureus*'a karşı test edildi. Testler *Staphylococcus aureus* ATCC 6538'e karşı gerçekleştirilmiştir. Mazı gomalağı içermeyen numunelerde antibakteriyel aktivite tespit edilememiş. Mazı gomalağı boyası içeren numuneler ise antibakteriyel özellik göstermiştir [92].

Alkan ve diğerleri beş ipek kumaşını ayrı ayrı kökboya (*Rubia tinctorium* L.) ve mazı gomalağı (*Quercus infectoria* Oliver) ile farklı yüzdelerde boyanarak *Candida albicans* DSMZ 1386'ya karşı antifungal aktivite açısından test etmişlerdir. *Candida albicans*'a karşı antifungal aktivite 5 beş yıkama işlemine kadar neredeyse %99,98'lik aktivite göstermiştir [93].

2. MATERYAL YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında yabancı ve yerli tohumdan (Narlı) elde edilen 5 farklı kenevir elyafı numunesinin karakterizasyonu yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı farklı bölgelerden elde edilen yerli tohum esaslı liflerin özelliklerinin yabancı lifler (Çin ve Belçika) ile kıyaslanmasıdır. Tescilli yapılan tohumların elyaf üzerine etkisi bölgesel olarak analiz edilmiştir. Samsun lifleri (Numune 1) On Dokuz Mayıs Üniversitesi ve Karadeniz Bölgesi Tarım Araştırma Enstitüsü tarafından, Burdur lifleri (Numune 2) İnsitu Yeşil Teknolojiler A.Ş. (Burdur), Kastamonu lifleri (Numune 3) Anadolu Kenevir A.Ş' den (İstanbul), Belçika lifleri (Numune 4) N.V. Jos Vanneste S.A' dan (Harelbeke) ve Çin lifleri (Numune 5) Kingdom' dan tedarik edilmiştir. Yerli ağartılmış olarak tedarik edilen kenevir elyafına ve Kingdom' dan ağartılmış olarak tedarik edilen kenevir elyafına doğal boyama uygulanmıştır. Doğal boyamada kullanılan mazı meşesi (*Quercus infectoria* Oliver), kökboya (*Rubia tinctorium* L.) ve ön mordanlamada kullanılan demir sülfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ve şap ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) DATU Boyama Merkezinden (İstanbul) sağlanmıştır. Kullanılan materyaller Şekil 2.1 ve Şekil 2.2' de gösterilmiştir. Boyama işlemine tabi tutulan yabancı ve yerli kenevir elyafının tamamı ağartılmış olarak tedarik edilmiştir.



Şekil 2. 1 a) Yabancı ağartılmış kenevir elyafı b) Yerli ağartılmış kenevir elyafı



Şekil 2. 2 a) Demir sülfat b) şap c) kök boya d) mazı meşesi

2.2. Yöntem

2.2.1.Tarama

Kaba elyaf elde edilmesi manuel (el ile) sıyırma yöntemi ile yapılmıştır. Kaba liflerin taranması Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölüm laboratuvarlarında Mesdan-Lab tarak makinesinde (Şekil 2.4) gerçekleştirilmiştir. Bu aşamanın temel amacı uzun ve kısa lifleri ayırmak, lif topaklanmalarını çözmek, lifleri açmak ve liflerdeki kirli yabancı maddelerin ve kenevir kırıtlarının uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Liflerin sıyırma işleminden sonra kısmen de olsa yumuşaklık ve tek liflik kazandırılmasını sağlayan mekanik işlemdir. Bu işlemde sonra lifler birbirine paralel ve daha ince forma gelecektir [94]. Diğer kenevir numuneleri elyaf formunda hazır olarak tedarik edilmiştir. Tarak makinesi ile %100 liflerinden tülbent formu elde edilmiştir. Ham kenevir lifleri (Şekil 2.3) tarak makinesinden geçirilmeden önce liflerinin içinde kalan gövde kalıntıları (kıtık), çöp, toz vb. yabancı materyaller el ile açılarak ön temizleme yapılmıştır.



Şekil 2. 3 Ham kenevir lifleri



Şekil 2. 4 %100 Kenevir elyafı tarama

2.2.2. Yerli ve Yabancı Tohumla Elde Edilen Liflerin Karakterizasyonu

Yerli ve yabancı tohumların yarı çap tayini, mukavemet ve uzama özelliklerinin belirlenmesi Marmara Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği, Fiziksel Testler Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin morfolojik yapısı ve analizi SEM-Carl Zeiss Evo MA10 ve FTIR analizi Perkinelmer Spectrum cihazında 4500-400 cm^{-1} spektrum aralığında ve 4 cm^{-1} çözünürlükte gerçekleştirilmiştir.

2.2.2.1. Numunelerin Çaplarının Belirlenmesi

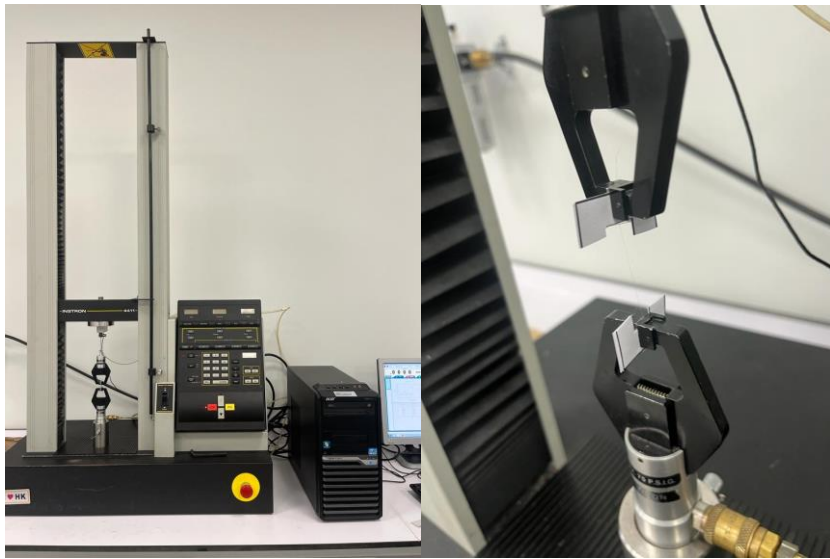
Lif çapının belirlenmesi Olympus CH2 optik mikroskobu kullanıldı (Şekil 2.5) Lif çapları cm olarak ölçülüp mikroner birimi olarak hesaplanmıştır. Elyaf demetinden seçilen rastgele 15 lif mikroskop altında incelenerek lifin farklı noktalarından 5 ölçüm olmak üzere toplam 75 ölçüm yapılmıştır.



Şekil 2. 5 Olympus CH2 optik mikroskop

2.2.2.2. Liflerin Mukavemet Özelliklerinin Belirlenmesi

Lifin tek lif mukavemet testi ASTM 3822-1 standartlarına göre Instron 4411 cihazında yapıldı. Bu test yöntemi ile kenevir liflerinin gerilme (stress) karşısında gerinimi (strain) ve elastikiyet modülü belirlendi. Liflerin hassas ölçümü ve lifleri mümkün olduğu kadar düz bir şekilde sabitlemek için çekme testinin başlamasından hemen önce kesilmiş 1 cm'lik kağıt çerçeveye lifler çift taraflı bant ile yapıştırıldı (Şekil 2.6) [95]. Çeneler arası 10 mm ve çekme hızı 2 mm/dakika olarak ayarlanmıştır. Numunelerin elastikiyet modülü (E- modül) belirlenmiştir.



Şekil 2. 6 Instron 4411 Tek Lif Çekme Cihazı

Gerilme (stress) aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplandı [95]:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$$

Bu denklemde “ σ ” gerilmeyi, “F” lif üzerindeki kuvveti, “A” ise numunenin kesit alanını ifade etmektedir.

Elyafın kesit alanını aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplandı [95]:

$$A = \pi(r)^2$$

Bu denklemde “r” elyafının yarı çapını ifade etmektedir.

2.2.3. Liflerin Beyazlık İndeksi Ölçümü

Liflerin beyazlık indeksi AATCC 110 (2005) standartına göre Datacolor Spectraflash SF 600 Plus reflektans spektrofotometresi ile 9 mm çapında ölçüm plakası (LAV) kullanılarak D₆₅ ışık kaynağı ve 10° standart gözlemciyle ölçüm yapıldı [96]

2.2.4. Liflerin Ön Mordanlanması ve Boyanması

Kenevir liflerinin boyamadan önce boya afinitesini arttırmak için 3 farklı reçete ile 60 dakika boyunca mordanlama işlemleri gerçekleştirildi. Aşağıdaki gibidir:

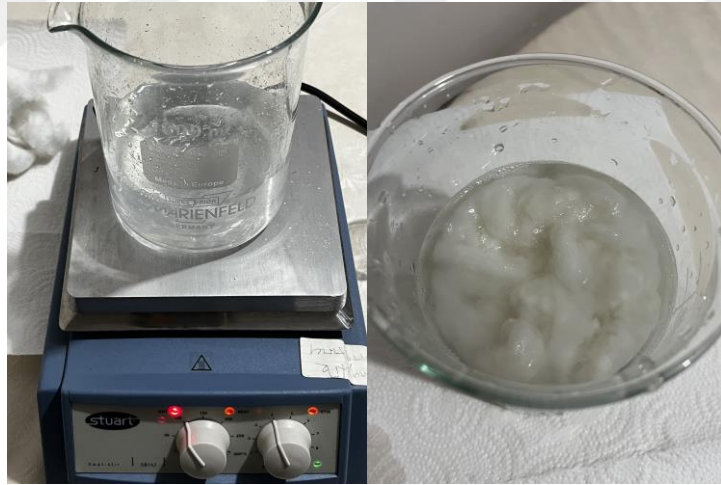
Tablo 2. 1 Mordanlama Parametreleri

Mordan Maddesi	Sıcaklık	Banyo Oranı
% 3 FeSO ₄ · 7H ₂ O	90-100 °C	1:10
% 6 KAl(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O		
% 3 FeSO ₄ · 7H ₂ O % 12 Kal (SO ₄) ₂ · 12H ₂ O		

Mordanlama maddelerinin suda homojen olarak dağılımını sağlamak için manyetik karıştırıcı kullanıldı. Demir sülfat ile hazırlanan çözeltinin rengi sarı-turuncu ve liflerin rengi de sarımtırak (Şekil 2.7) şap ile hazırlanan çözeltinin (Şekil 2.8) ve liflerinde beyaz renk gözlemlendi.



Şekil 2. 7 Demir Sülfat ile Mordanlanan Kenevir Elyafı



Şekil 2. 8 Şap ile Mordanlanan Kenevir Elyafı

Mordanlama işleminden sonra lifler oda sıcaklığında kurutulmaya bırakıldı. Boyar maddelerin suda homojen olarak dağılmasını sağlamak için elyaf banyoya ilave edilmeden önce 15 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. %20 kök boya ve %5 mazı meşesi kullanarak 1:10 banyo oranında boyamalar yapıldı. Boya maddeleri konsantrasyonları sabit, sıcaklık değişken tutularak 60 dakika boyunca 18 adet numunenin boyaması aşağıdaki (Tablo 2.2) gibi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. 2 Boyama Parametreleri

No.	Elyaf	Mordan Maddesi	Sıcaklık
1.	Yerli Kenevir	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	75-85 °C
2.	Yerli Kenevir	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	85-95 °C
3.	Yerli Kenevir	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	95-100 °C
4.	Yerli Kenevir	% 6 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	75-85 °C
5.	Yerli Kenevir	% 6 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	85-95 °C
6.	Yerli Kenevir	% 6 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	95-100 °C
7.	Yerli Kenevir	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ % 12 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	75-85 °C
8.	Yerli Kenevir	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ % 12 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	85-95 °C
9.	Yerli Kenevir	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ % 12 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	95-100 °C
10.	Çin Keneviri	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	75-85 °C
11.	Çin Keneviri	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	85-95 °C
12.	Çin Keneviri	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	95-100 °C
13.	Çin Keneviri	% 6 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	75-85 °C
14.	Çin Keneviri	% 6 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	85-95 °C
15.	Çin Keneviri	% 6 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	95-100 °C
16.	Çin Keneviri	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ % 12 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	75-85 °C
17.	Çin Keneviri	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ % 12 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	85-95 °C
18.	Çin Keneviri	% 3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ % 12 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	95-100 °C

2.2.3.1. Boyalı Kenevir Liflerinin Renk Analizleri

Boyalı kenevir liflerinin renk ölçümü Zorluteks Tekstil Laboratuvarında Konica Minolta CM-2300d Software Spectra Magic NX (D65 aydınlatıcı, 10° standart gözlemci) kullanılarak gerçekleştirildi. L^* , açıklık koyuluğu (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 = mat). Her boyama için görünür spektrumdaki yansıma değerlerinden (R) maksimum emilim dalga boyuna ($\lambda_{\max}$) karşılık gelen renk mukavemeti (K/S) değerleri, aşağıdaki Kubelka-Munk denklemi kullanarak hesaplandı [97, 90].

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

2.2.3.2. Boyalı Kenevir Liflerinin Haslık Analizleri

18 tane boyalı numunenin yıkama ve ışık haslıkları sırasıyla ISO 105-C06:2001 ve ISO 105-B02:2014 standartlarına göre belirlendi [97]. Yıkama haslığı, 40° sıcaklıkta 10 çelik bilya kullanarak 30 dakika süre ile gerçekleştirildi. 1 g/ L sodyum perborat ve banyo hacmi 150 ml olacak şekilde çözelti hazırlandı. Yıkama sonunda numune auderometre kabından çıkarılarak 40°C sıcaklıktaki 100'er ml su ile 1 dakika süresince iki defa durulandı. Durulanan numune kumaştan fazla su uzaklaştırıldıktan sonra 60°C'yi geçmeyen sıcaklıkta sadece dikişli kenardan temas edecek şekilde refakat kumaştan ayrıldı ve havada asılarak kurutuldu. Kurutma işleminden sonra numunedeki renk değişimi ve refakat kumaştaki lekeleme; ışık kabine 45°'lik açı ile yerleştirilmiş platform üzerinde gün ışığı (Daylight 65) altında ilgili gri skala ile değerlendirildi.

Işık haslığı referansı için mavi yün skala kumaşları kullanılarak değerlendirme yapıldı. Numuneler ve değerlendirme için kullanılacak yün kumaşlar beyaz karton üzerine zımbalandı. Mavi yün standartları 1-8 arasında değerlendirilmektedir. Mavi yün skalanın solma derecesi 1 iken en kötü, 8 iken kumaşın solma derecesi en iyidir. Boyalı kenevir lifleri numuneleri ve yün referansların üçte birlik orta kısımları ışık almayacak şekilde kapatıldı. Hazırlanan numune ve yün standartları numune tutuculara yerleştirdikten sonra, numune tutucular makina içine yerleştirildi. Bağıl nem %40 ortamdaki sıcaklık max 50° olacak şekilde cihaz ayarlandı. Birinci mavi yün standart kumaş ISO 105 A02 gri skalasında 4 derecesine kadar solduruldu. Numunedeki renk değişimi mavi yün standarttaki kadar (ya da gri skalaya göre 4 veya daha düşük değerde solmuşsa), olan numuneler ayrıldı ve bunlar 1 olarak derecelendirildi. 2,3,4,5,6,7 ve 8 nolu mavi yün standartları içinde bu işlem tekrarlandı ve en son numune solunca test bitirildi. Solma derecesi olarak numunenin solmasına karşılık gelen mavi yün standart kumaşın numarası verildi. Ara bir noktada solan numuneler 3-4 gibi, numunenin ışık haslığı değeri, iki mavi yün skalanın orta değeri olarak değerlendirildi.

2.2.3.3. Boyalı Kenevir Elyafının Antibakteriyellik Tayini

Demir sülfat ile ön mordanlama işlemine tabi tutulan ve ağırlıkça %20 kökboya ve %5 mazı meşesi ile renklendirilen yerli kenevir elyafının (Şekil 2.9) antibakteriyellik aktivitesini belirlemek için ASTM E 2149 standartına göre Gram-pozitif bir bakteri olan *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538P) ve Gram-negatif bir bakteri olan *Escherichia coli* (ATCC 8739) üzerinde değerlendirilme yapıldı [98]. Test Ekoteks Laboratuvar ve Gözetim Hizmetleri A.Ş tarafından gerçekleştirildi. Boyalı numunenin antibakteriyellik tayini 1 g elyaf için 1.88 x 105

(kob/ml) *S. Aureus* ve *E.coli* çözelti konstrasyonunda $35^{\circ} \pm 2$ sıcaklığında 24 saatlik temas süresi ile gerçekleştirildi. Bakteriyel azalmanın analizi aşağıdaki formül ile gerçekleştirildi.

$$R (\%) = \frac{(B - A)}{B} \times 100$$

R- Bakterilerde azalma yüzdesi

A- Temas süresinden sonra işlem görmüş örnekten geri kazanılan canlı bakteri sayısı

B- İşlem görmemiş örnekten geri kazanılan bakteri sayısı



Şekil 2. 9 Antibakteriyellik testi uygulanan numune

2.2.3.4. Boyalı Kenevir Liflerinin HPLC Analizi

Kromatografik ölçümler, Agilent 1200 serisi bir sistem (Agilent Technologies, Hewlett-Packard, Almanya) kullanılarak gerçekleştirildi. Bu sistem, G1322A Degasser, G1311A Quat pompası, G1329A otomatik numune alma cihazı, G13166 TCC ve G1315D diyot dedektörü içermektedir. 191 ila 799 nm arasında 2 nm çözünürlükte tarama yaparak gerçekleştirilmiş, Nova Pak C18 analitik kolon (39 × 150 mm, 4 µm, Parça No: WAT 086344, Waters) kullanılmıştır. Analitik ve koruma kolonları 30°C'de tutulmuş ve veri programı Agilent Chemstation kullanıldı. Hidrolize edilmiş örneklerin kromatografik ayırımları için iki çözücü kullanılmıştır. Çözücü A: H₂O- %0.1 TFA ve çözücü B: CH₃CN- %0.1 TFA [91].

Her bir örnek, boyar madde analizine tabi tutulmadan önce 7.5 mg olarak tartıldı. Örnekler, organik boyaları çıkarmak için 400 µL H₂O/MeOH/HCl %37 (1:1:2, hacim/hacim/hacim) karışımında 100°C'de 8 dakika boyunca hidrolize edildi. Ardından, örnekler azot akışı altında (65°C) buharlaştırıldı. Kuru kalıntı, 400 µL MeOH/H₂O (2:1, hacim/hacim) karışımında çözündü ve örnekler santrifüj edildi. Gerekirse, daha fazla seyreltme yapıldı (santrifüj-4000 rpm/25°C/10 dakika). HPLC analizi gerçekleştirildi ve her bir örnekten 100 µL enjekte edildi [91].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

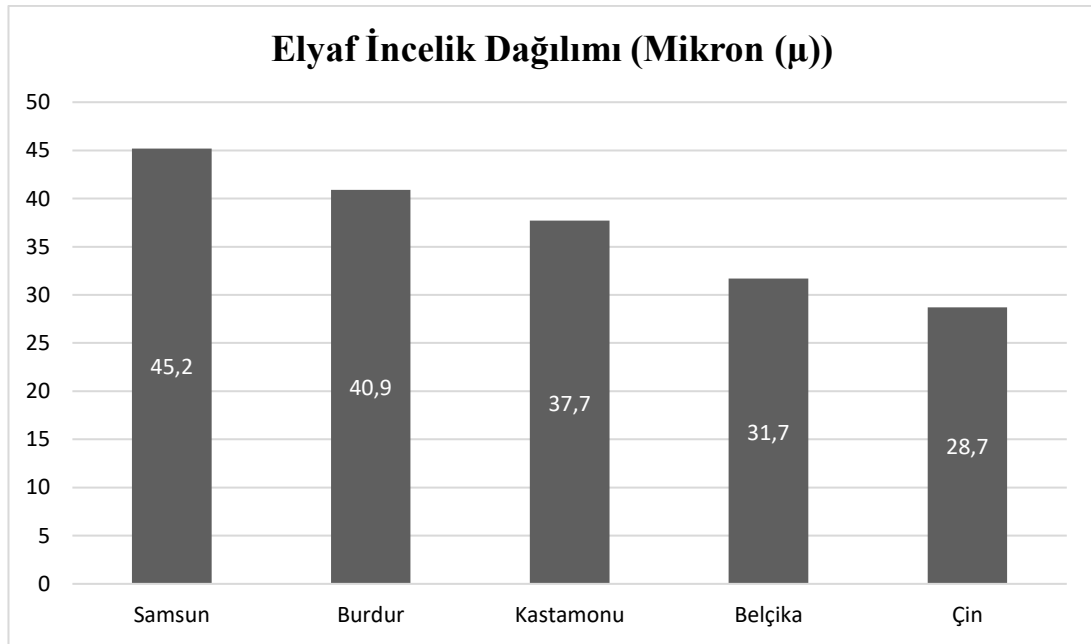
Bu bölümde, lif karakterizasyon sonuçları, boyalı liflerin renk analizleri, haslık ve antibakteriyel sonuçları aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

3.1. Kenevir Liflerinin Çap Ölçümleri

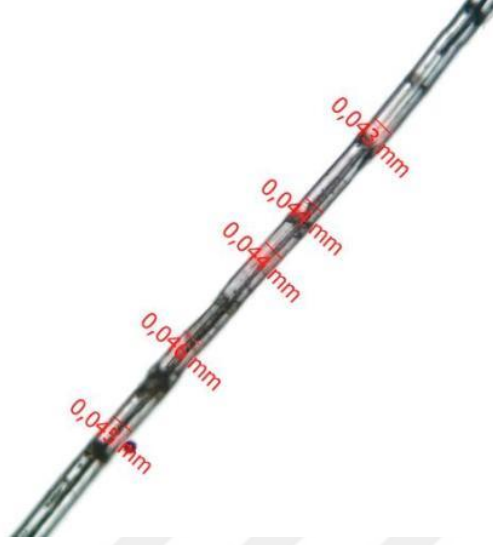
Yapılan analizler neticesinde yerli tohum ile elde edilen lif incelikleri yabancı tohum ile elde edilen lif inceliklerine kıyasla kısmen daha kalın bulunmuştur. Numunelerin Tablo 3.1 ve Şekil 3.1’de incelik dağılımları verilmektedir. Rastgele elyaf demetinden seçilen 15 liften en net mikroskop görüntüsüne sahip kenevir lif numunelerinin görüntüleri Şekil 3.2-Şekil 3.6’da görülmektedir. Kenevir bitkisinin tohum, hasat ve hasat sonrası bütün işlemler lif fibrilasyonunu doğrudan etkilemektedir. Yerli lifler ile elde edilen ilk denemeler ortalama % 20-50 arasında yabancı liflerden daha kalın olma durumunun hasat sonrası suda bekletme ya da enzimatik işlemler ile giderileceği düşünülmektedir. Kenevir elyafının incelik değerleri literatüre bakıldığında 15-50 mikron aralığındadır [99]. Yerli liflerin ilk denemeleri literatür ile kıyaslandığında elyaf inceliği ortalama içerisinde bulunmuştur. Özellikle sadece mekanik işlem ile bu inceliklere ulaşılabilmesi oldukça önemlidir. Sürdürülebilirliğin en önemli unsur olduğu günümüzde hiçbir ek su ve kimyasal işleme tabi tutulmadan kenevir lifinin bu değerlerde olması çalışmanın önemli bulgularındandır. Sadece tarama ile bu seviyelerde incelik elde edilmesi ek süreçlerin tartışılması ve gerekliliğinin sorgulanmasına yol açacaktır. Yerli tohumlarla elde edilen lifler bölgesel olarak farklı incelik değerlerine sahiptir. Kastamonu bölgesinden elde edilen lifler aynı parametreler de üretilen Samsun ve Burdur liflerinden daha ince olarak bulunmuştur. Yabancı kenevir lifleri arasında dikkate değer bir incelik farkı gözlenmemiştir. Bu sonuçların; tohum tipi, tarla yapısı, mevsimsel değişkenler, hasat yöntemi ve zamanı, hasat sonrası süreçler gibi nedenlerden değişkenlik gösterebileceği ve ortalama inceliklerin çok faktörlü bir olgu olduğu göz ardı edilmemelidir.

Tablo 3. 1 Elyaf İncelik Dağılımı

Ölçüm	Numune 1 Mikron (μ)	Numune 2 Mikron (μ)	Numune 3 Mikron (μ)	Numune 4 Mikron (μ)	Numune 5 Mikron (μ)
1.	46	47	35	34	28
2.	54	47	38	34	32
3.	51	47	37	31	30
4.	44	48	42	32	29
5.	46	52	37	30	29
6.	42	33	43	35	25
7.	46	21	46	31	27
8.	43	40	41	29	34
9.	40	37	36	31	30
10.	44	37	38	31	25
11.	45	40	34	30	31
12.	46	41	38	33	31
13.	44	42	35	32	28
14.	44	41	34	33	30
15.	43	41	34	30	22
Ortalama	45,2	40,9	37,7	31,7	28,7



Şekil 3. 1 Liflerin elyaf incelik dağılımı (Mikron (μ))



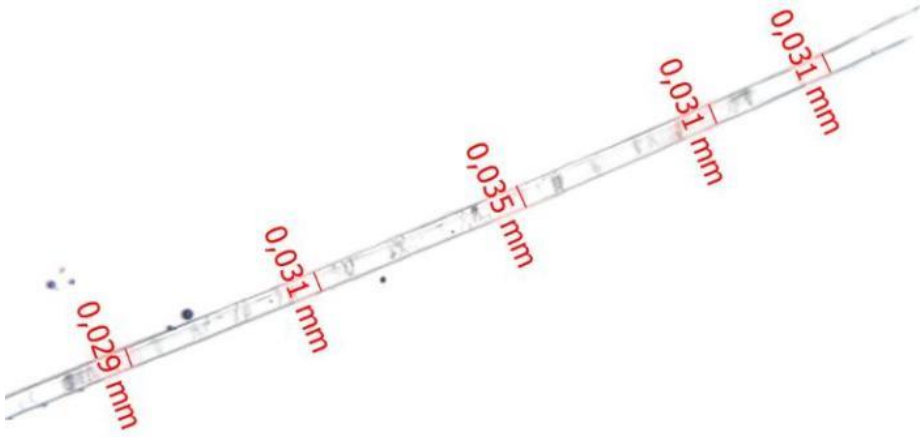
Şekil 3. 2 Numune 1 mikroskop görüntüleri



Şekil 3. 3 Numune 2 mikroskop görüntüleri



Şekil 3. 4 Numune 3 mikroskop görüntüleri



Şekil 3. 5 Numune 4 mikroskop görüntüleri



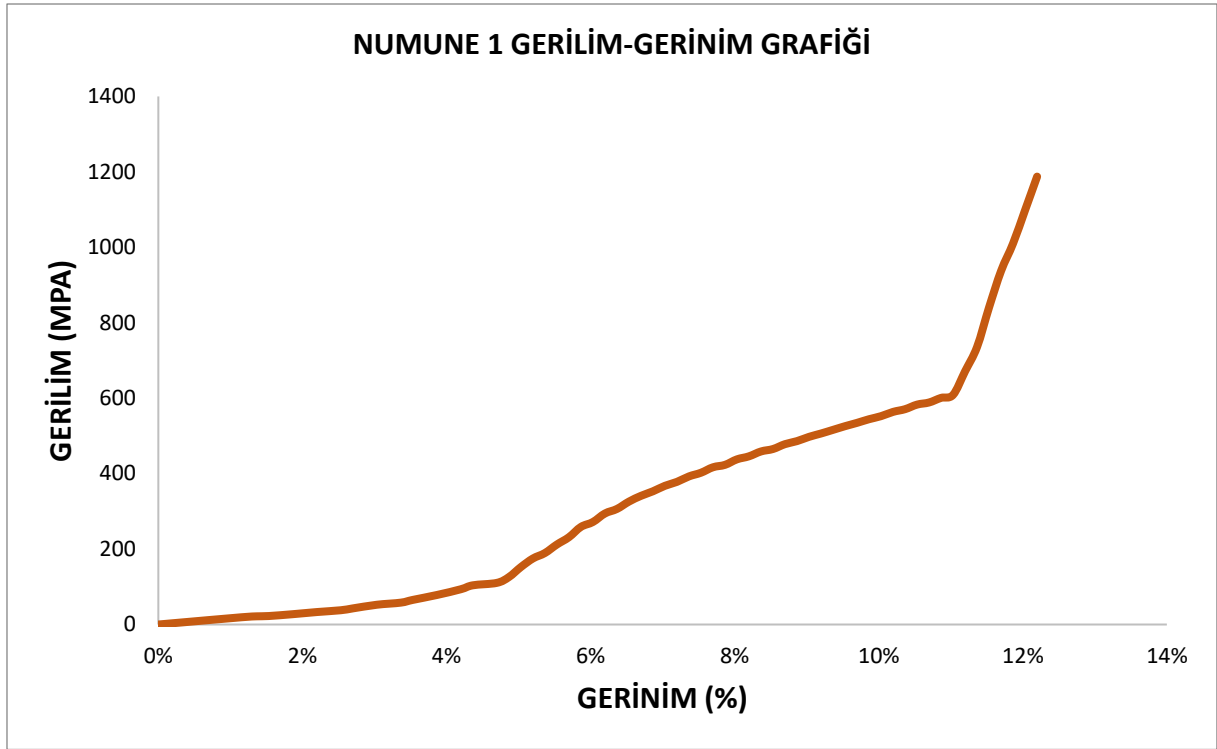
Şekil 3. 6 Numune 5 mikroskop görüntüleri

3.2. Liflerin Elastikiyet Modülü ve Gerilim- Gerinim Grafikleri

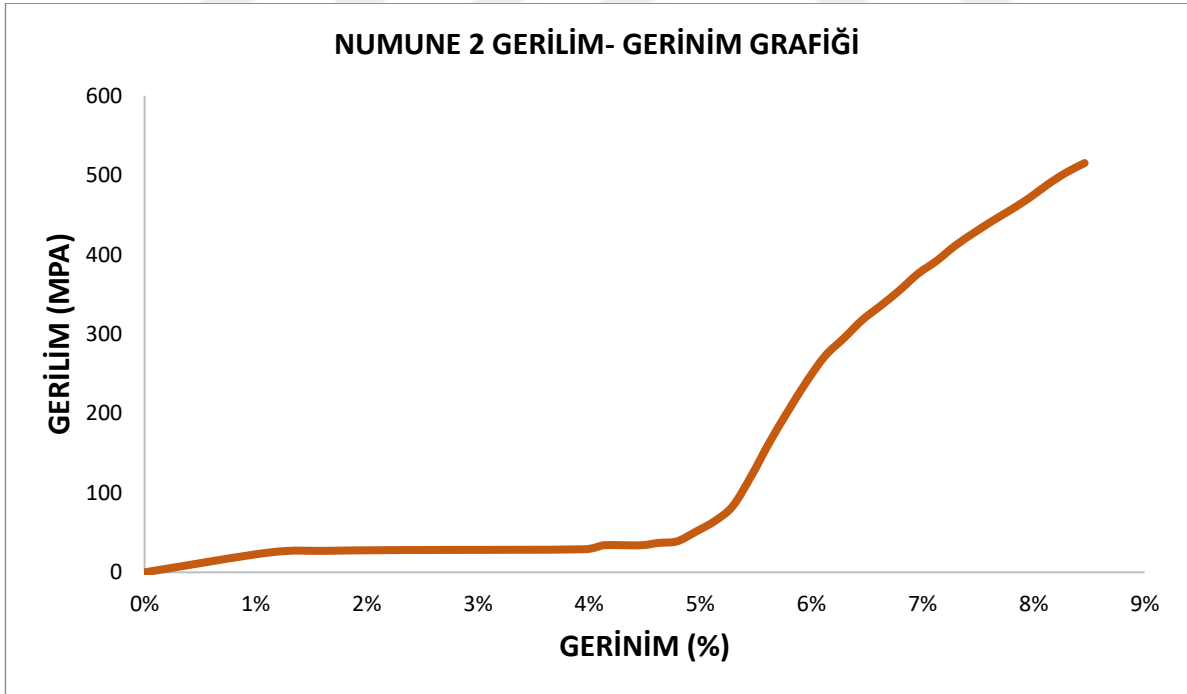
Numunelerin gerilim-gerinim grafikleri Şekil 3.7- Şekil 3.11 de gösterilmiştir. Yetiştirilme yerlerine göre sınıflandırılan yerli ve yabancı tohumlu kenevir liflerinin elastikiyet modülleri, çekme dayanımları ve % gerinimleri Tablo 3.2’ de gösterilmektedir. Genel olarak, bir lifin çekme davranışı öncelikle yapısal özelliklerinden kaynaklanır [100]. Numune 2’ nin elastikiyet modülü diğer numunelere göre daha yüksek olup çekme ve % gerinimleri daha düşük olduğu görülmektedir. Çekme dayanımı en yüksek numune 1’ de görülmektedir. Kenevir elyafının elastikiyet modülü, çekme dayanımı ve % gerinme için çeşitli araştırmalar incelendiğinde (bknz Tablo 1.1) bu sonuçlar bulgularımızı doğrulamaktadır. Elyaf yetiştirme koşullarındaki (sıcaklık, toprak kalitesi ve hasat süresi vb.) değişiklikler Young modülünü etkilemektedir. Bu yetiştirme koşulları, lif gelişimi sırasında birçok değişikliğe sebep olabilmektedir [101]. Gerilim- gerinim grafikleri incelendiğinde uygulanan kuvvetin erken aşamasında karakterize edilen davranış birçok çalışma tarafından genellikle doğal liflerin karakterizasyonu olarak tanımlanmaktadır [102, 101]. Bu davranış, mikrofibrillerin lif eksenine ile ilerleyen hizalanmalarıyla açıklanabilir. Başlangıçta, bu mikrofibriller yaklaşık olarak 10°'lik bir açı yaparlar çekme yönü ile lif eksenine ile. Muhtemeldir ki, mikrofibriller mümkün olduğunca lif eksenine ile paralel olacak şekilde kendilerini düzenlerler. Bu hizalama, çevresindeki amorf matrisin çekirdeğinde yeniden düzenlemelere neden olur. Bu yeniden düzenlemeler, elastoviskoplastik bir deformasyonu ifade etmektedir [103]. Lif incelikleri ile mekanik davranışları analiz edilerek sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 3. 2 Yetiştirilme yerine göre sınıflandırılmış kenevir numunelerinin mekanik özellikleri

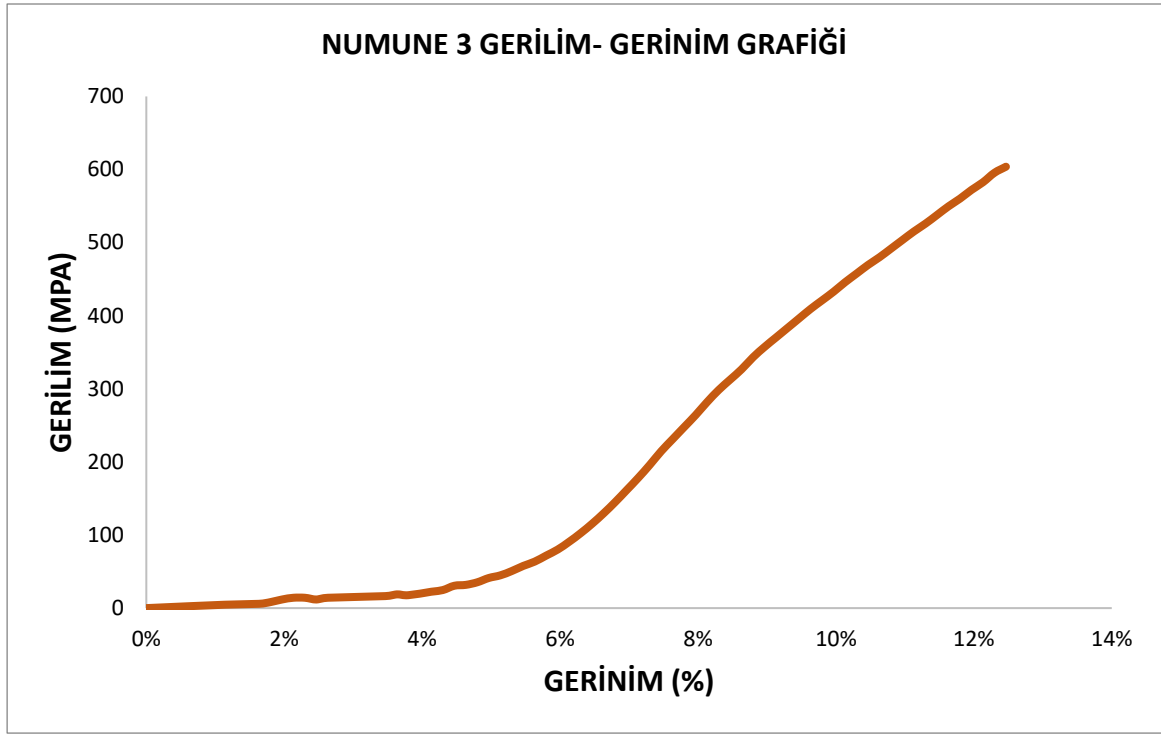
Numune	E (Gpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Gerinme (%)
1.	10.29	1187,47	12.20
2.	21.92	515.22	8.46
3.	9.50	603.86	12.47
4.	9.24	638.86	9.15
5.	16.33	947.63	9.40



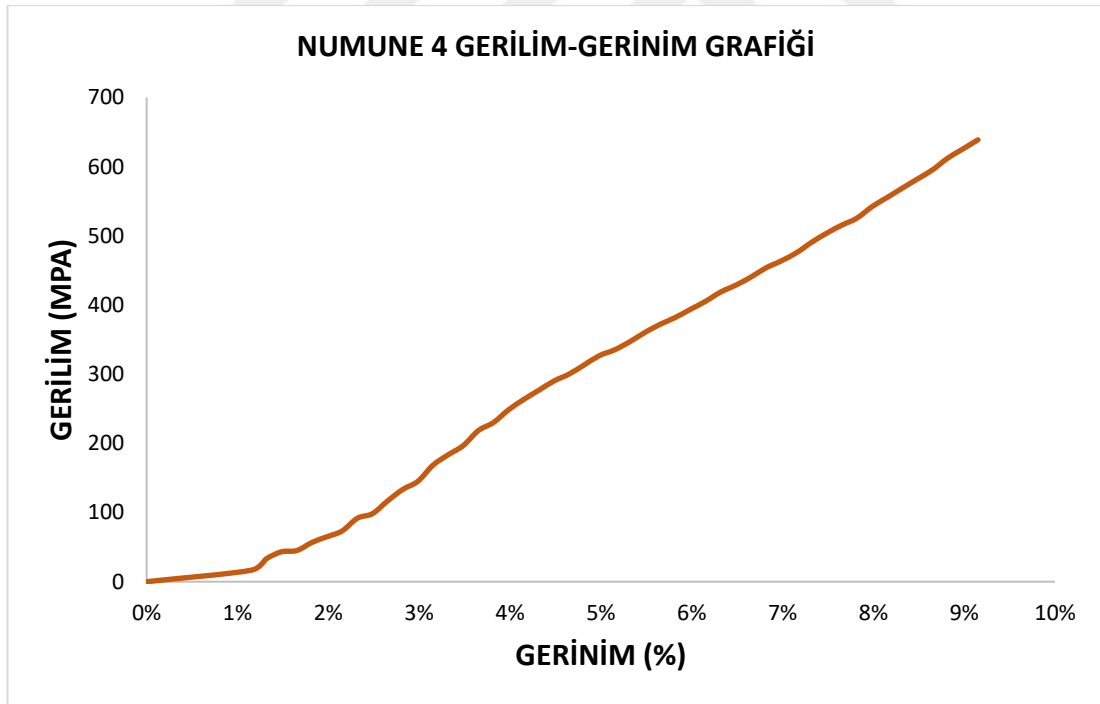
Şekil 3. 7 Samsun Kenevir Elyafının Gerilim- %Gerinim Grafiği



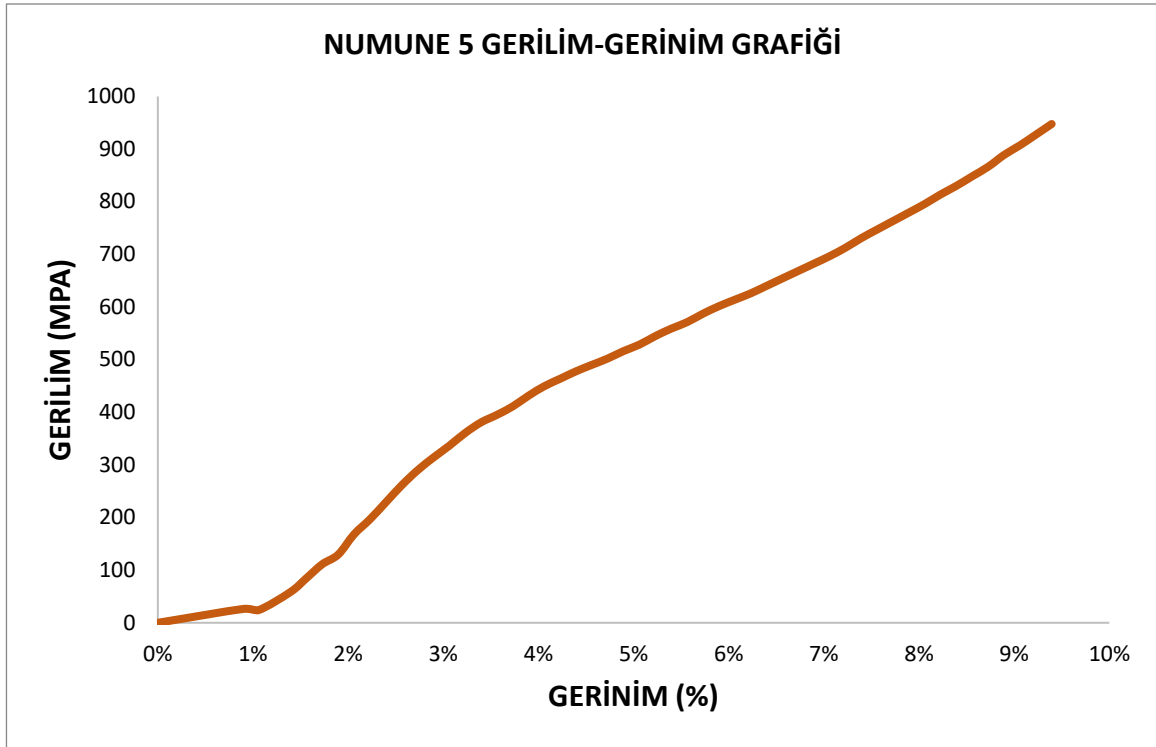
Şekil 3. 8 Burdur Kenevir Elyafının Gerilim- % Gerinim Grafiği



Şekil 3. 9 Kastamonu Kenevir Elyafının Gerilim- % Gerinim Grafiği



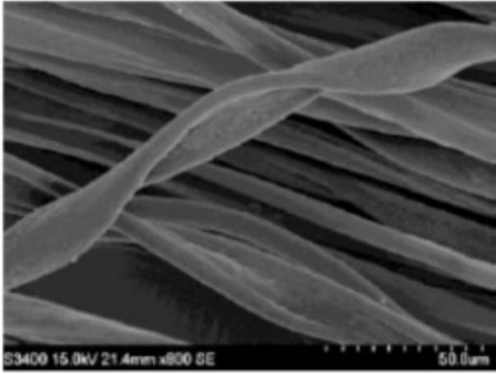
Şekil 3. 10 Belçika Kenevir Elyafının Gerilim- % Gerinim Grafiği



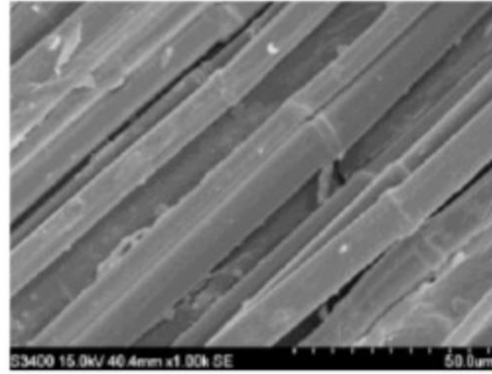
Şekil 3. 11 Çin Kenevir Elyafının Gerilim- % Gerinim Grafiği

3.3. SEM Analizi ve Diğer Lifler ile Karşılaştırılması

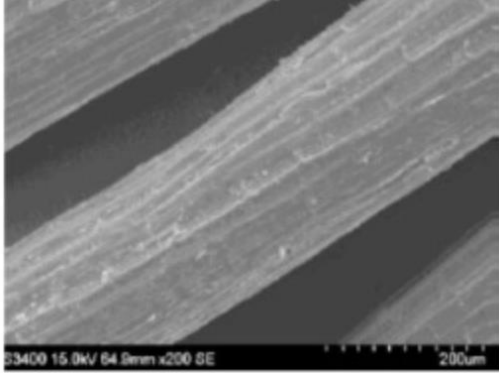
Bazı doğal liflerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüleri Şekil 3.12’ de verilmiş ve kenevir lifleri ile karşılaştırılmıştır. Pamuk lifi kendine has kıvrımlara sahipken, diğer lifler nispeten düz ve silindir şeklindedir. Jüt, sisal, kenevir ve rami liflerinin yüzeyinde bazı tırtıklar gözlenirken, keten ve jüt liflerinin yüzeyi nispeten pürüzlüdür. Kenevir liflerinin SEM görüntülerinde hemiselüloz, pektin ve lignin bileşenlerin liflerin yüzünde yapışkan formda lokalize olduğu görülmektedir (Şekil 3.13). Kenevir lif yapısının, mikrofibril yüzeylerinin hemiselüloz ve lignin bileşenleri ile kaplandığını ve selüloz mikrofibrillerinden oluştuğunu gösterilmektedir. Yani lif yüzeyi selülozik (selüloz mikrofibriller) ve selülozik olmayan bileşenlerden (hemiselüloz ve lignin) oluşmaktadır.



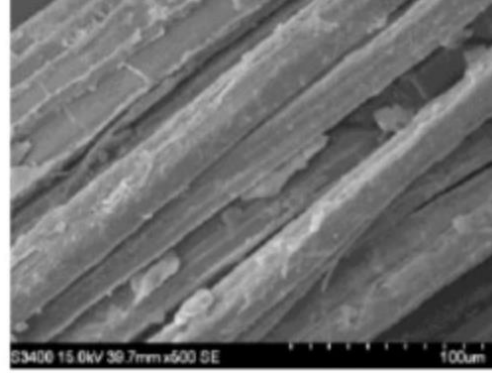
Pamuk



Keten

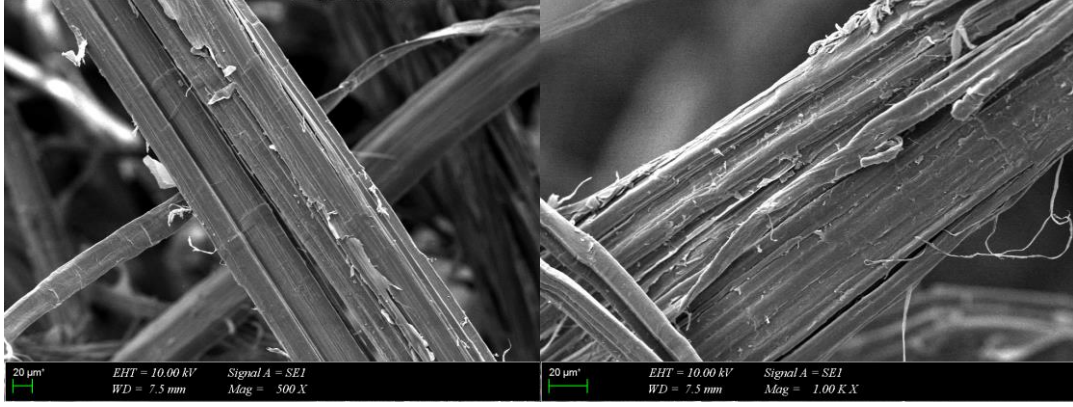


Sisal



Rami

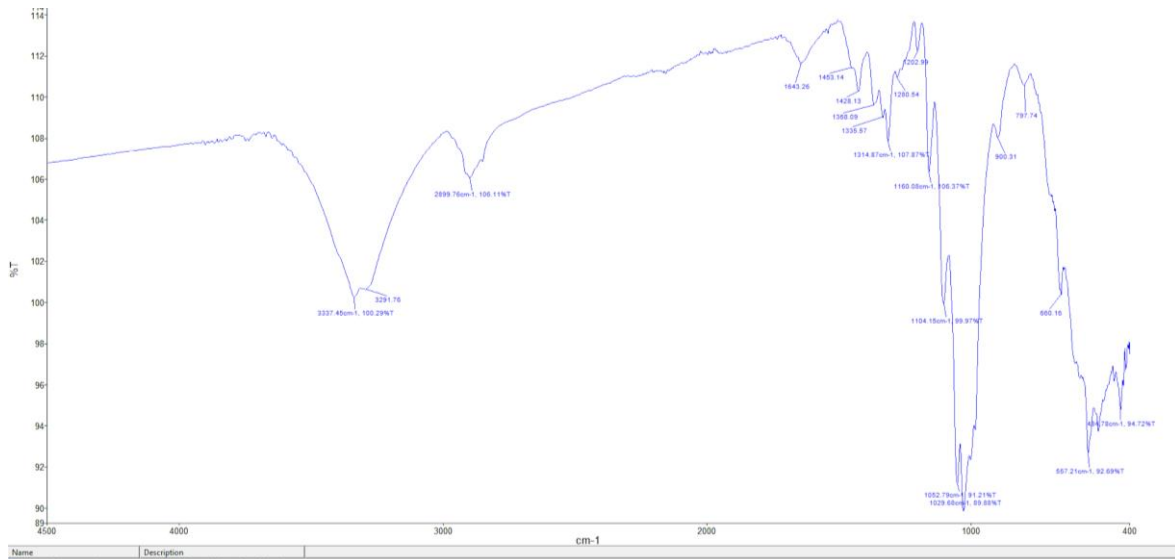
Şekil 3. 12 Bazı Doğal Liflerin SEM Görüntüleri [104]



Şekil 3. 13 İşlem Görmemiş Kenevir Liflerinin SEM Görüntüleri

3.4. Boyanmamış Liflerin FT-IR Analizi

Şekil 3.14’ de boyanmamış kenevir liflerinin FT-IR spektrumları gösterilmektedir. 3337.45 cm^{-1} absorpsiyon bandı kenevir elyafının hidroksil grupların ve hidrojen bağı gerilmesini göstermektedir. 2899.76 cm^{-1} deki tepe noktası, liflerin tüm hidrokarbon bileşenlerinin C–H bağlarındaki gerilmeden meydana gelmektedir [105]. 1643 cm^{-1} deki tepe noktası lignindeki aromatik halkalarda bulunan C=C bağlarındaki gerilme olarak tanımlanabilir. 1428.13 cm^{-1} , 1314.87 cm^{-1} ve 1202.99 cm^{-1} de oluşan küçük tepe noktaları selüloz, hemiselüloz ve lignin yapılarından kaynaklanan C-H bağlarından oluşmaktadır [106]. 700-900 cm^{-1} aralığı doğal liflerin CH_n fonksiyonel gruplarından kaynaklanmaktadır [107].



Şekil 3. 14 Boyanmamış Kenevir Elyafının FT-IR spektrumları

3.5. Numunelerin Beyazlık İndeksleri

Yabancı kenevir elyafının CIE beyazlık indeksi 50.1 ve yerli kenevir elyafının beyazlık indeksi 40.1 olarak ölçülmüştür. CIELAB (L^* , a^* , b^* , C^* , h°) değerleri de aşağıdaki gibidir (Tablo 3.3)

Tablo 3. 3 Boyama öncesi numunelerin renk ölçüm değerleri

Numune	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
Çin Kenevir Elyafı	84.77	-0.45	3.10	3.13	98.35
Yerli Kenevir Elyafı	87.08	-0.87	6.08	6.15	98.15

3.5. Boyalı Numunelerin Renk Ölçümleri

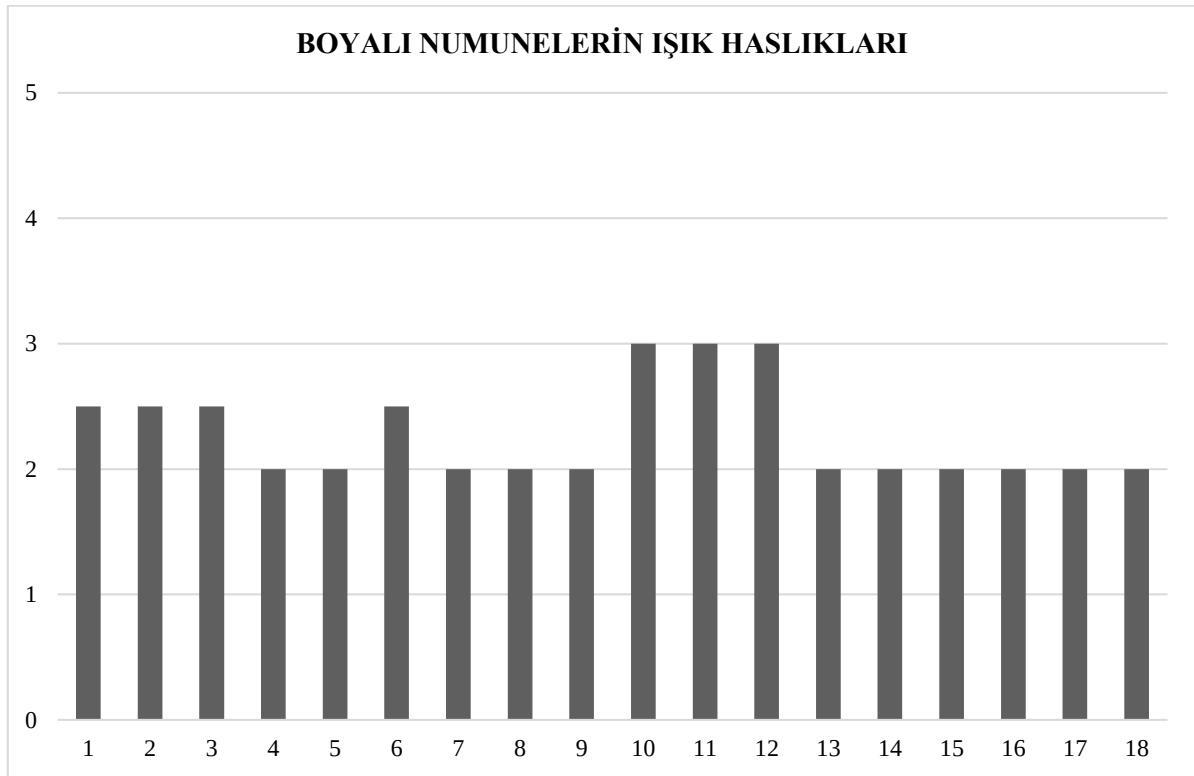
Boyanan numuneler için elde edilen CIELAB (L^* , a^* , b^* , C^* , h°) ve renk verimliliği (K/S) değerleri Tablo 3.4’ de verilmiştir. K/S değerleri maksimum absorpsiyonun dalga boyunda ölçülmüştür ($\lambda_{\max} = 750 \text{ nm}$). Demir sülfat ile ön mordanlama işlemine tabi tutulduktan sonra boyanan numunelerin banyo sıcaklığın artması ile renk verimliliği değerleri artış göstermiştir. Sıcaklığın artması ile boya alımındaki artış, elyafın şişmesi ve dolayısıyla artan boya difüzyonu ile açıklanabilir [108]. Şap ile ön mordanlama işlemine tabi tutulduktan sonra boyanan numunelerin banyo sıcaklığı $85-95^\circ$ de uygulanması ile renk verimliliği değerleri diğer sıcaklıklara göre optimum olarak belirlenmiştir. Renk verimliliği en yüksek yerli kenevirin %3 demir sülfat ve %12 şap ile ön mordanlanması ve banyo sıcaklığının $85-95^\circ$ (8. boyama) sıcaklığında görülmüştür. K/S’nin azalması renk verimliliğinin az olduğunu gösterir iken artması renk verimliliğinin fazla olduğunu göstermektedir. Demir sülfat ön mordanlanması ile gerçekleştirilen boyamalar renk verimliliğini arttırmıştır.

Tablo 3. 4 Boyalı numunelerin renk ölçüm değerleri

Boyama Kodu	L*	a*	b*	C*	h°	K/S ($\lambda_{maks} = 450 \text{ nm}$)
1.	51.80	9.32	4.81	10.49	27.33	1,60
2	46.31	9.73	5.21	28.17	11.04	1,86
3.	51.05	9.86	4.43	10.81	24.19	3,23
4.	63.80	20.46	15.06	25.41	36.35	0,99
5.	53.94	27.99	14.65	31.59	27.63	2,65
6.	56.92	24.84	14.56	28.79	30.38	2,21
7.	49.26	22.49	11.89	25.44	27.86	2,65
8.	49.98	24.23	14.73	28.36	31.29	4,05
9.	53.91	22.35	13.43	26.07	31.00	2,41
10.	46.89	6.13	1.55	6.32	14.15	2,65
11.	48.03	7.51	8.24	11.15	47.65	2,65
12.	49.01	4.88	3.05	5.75	32.02	3,60
13.	62.18	24.75	15.10	28.99	31.38	1,86
14.	62.99	25.59	13.36	28.87	27.58	2,21
15.	58.45	20.08	16.65	26.09	39.66	2,03
16.	52.95	20.53	12.58	24.08	31.50	2,21
17.	50.10	17.20	9.52	18.60	30.25	2,25
18.	51.13	14.31	8.47	16.63	30.62	2,21

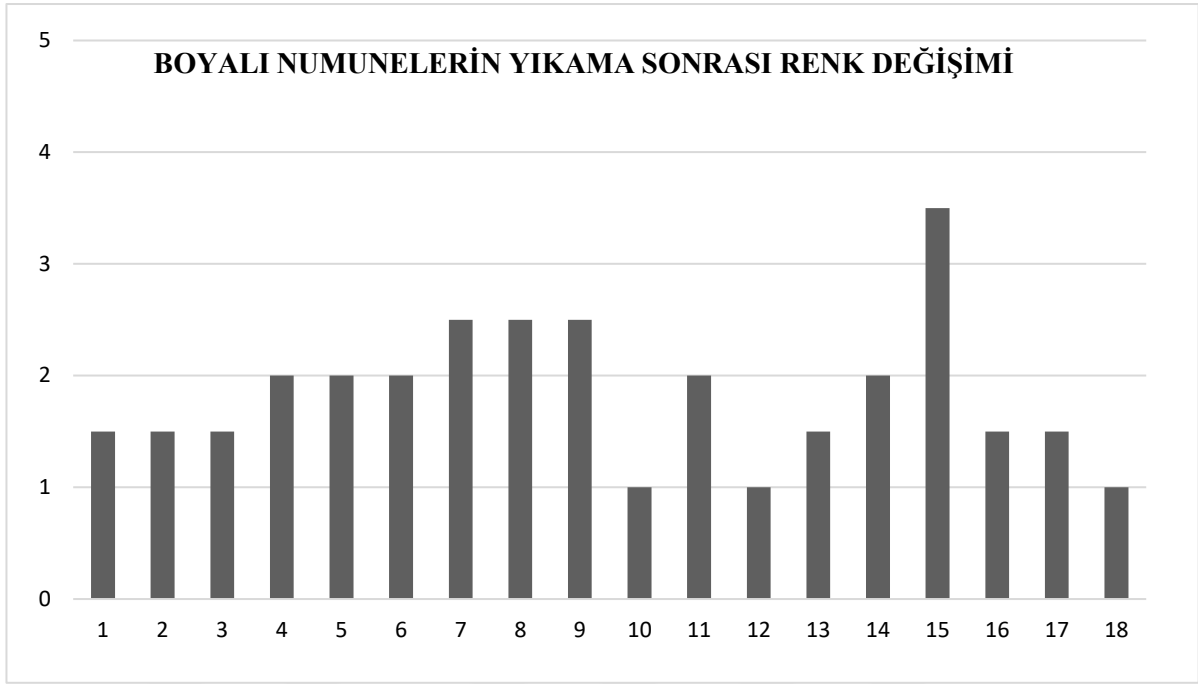
3.6. Boyalı Numunelerin Renk Haslığı Sonuçları

Boyalı kenevir elyafının ışık haslıkları Şekil 3.15’ de verilmiştir. Işık haslıkları 2-3 arasında görölmektedir. Boyalı kenevir liflerinde en yüksek ışık haslığı Çin kenevirin %3 demir sülfat ile ön mordanlanmış numunede görölürken, en düşük ışık haslığı %6 şap ve %3 demir sülfat/ %12 şap mordanlanmış numunelerde görölmüştür. Işık haslığı sonuçları, Fe-boyar madde kompleksinde orta iken (3) Al- boyarmadde kompleksinde iyi olmadığı (2-3) görölmektedir Sıcaklığın genel olarak ışık haslıkları üzerinde etkisi gözlemlenmemiştir.



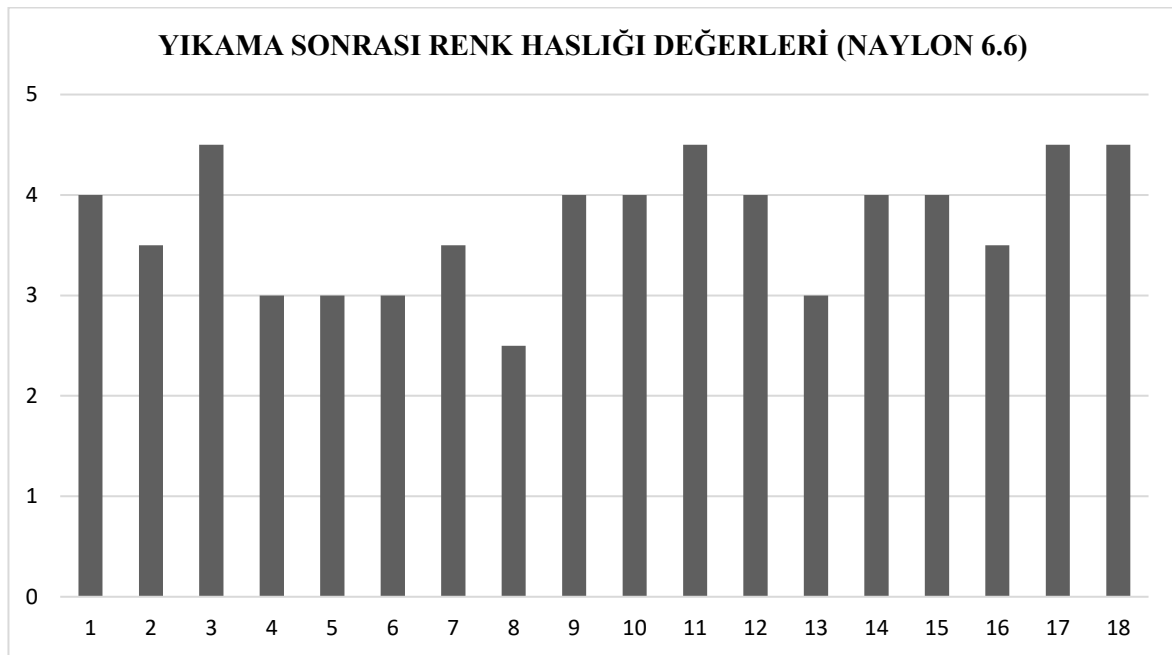
Şekil 3. 15 Boyalı kenevir liflerinin ışık haslıkları

Yıkama haslığı sonucunda renk değişimleri gri skalaya göre değerlendirildi. Renk değerişimleri 1 ile 3-4 aralığında görölmektedir. Değerler Şekil 3.16’ da verilmiştir. Boyalı numunelerin renk değerişimi kötü ve orta olarak değerlendirilebilir. 3-4 aralığında renk değerişimi 15. Boyamada görölmüştür. Bu boyama Çin elyafının şap ile ön mordanlanması ve banyo sıcaklığının 95-100° sıcaklığı aralığında gerçekleştirilmiştir.

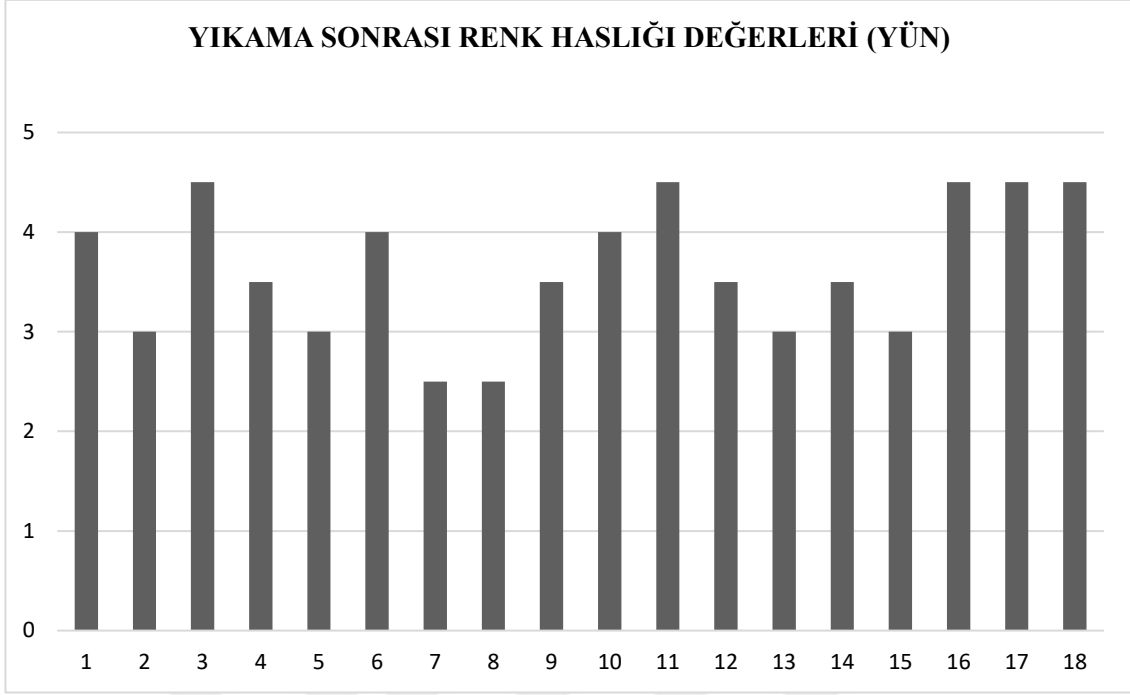


Şekil 3. 16 Boyanan kumaşların yıkama renk haslıkları değerleri (renk değişimi)

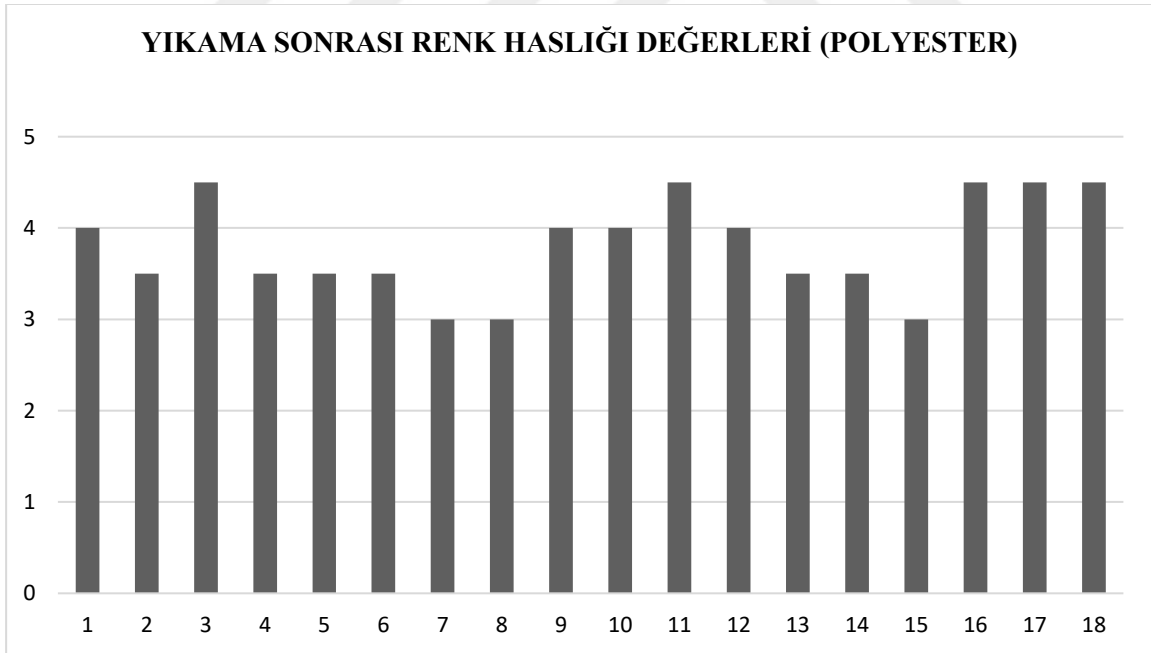
Boyalı kumaşların naylon 6.6 (Şekil 3.17), yün (Şekil 3.18) ve polyester (Şekil 3.19) elyafı üzerinde yıkanması sonucunda oluşan lekelenmeler 3-5 arasında değerlendirilmiştir. Boyama kodu 3, 11, 17 ve 18 olan numunelerin naylon 6.6, yün ve polyester üzerinde yıkamaları sonucunda lekelenmeleri oldukça iyi olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3. 17 Naylon 6.6 elyaf üzerine boyalı kumaşların yıkanması sonucu elde edilen renk haslığı değerleri



Şekil 3. 18 Boyalı kumaşların yün elyaf üzerine yıkanması sonucu oluşan renk haslığı değerleri



Şekil 3. 19 Boyalı kumaşların polyester elyaf üzerine yıkanması sonucu oluşan renk haslığı değerleri

3.7. Antibakteriyel Aktivite Sonuçları

Boyanmamış kenevir elyafının antibakteriyel özellik gösterilmediği belirlenmiştir. %20 kökboya ve %5 mazı meşesi ile boyanan kenevir elyafı *S.aureus* bakterisine karşı antibakteriyel aktivite gösterirken *E. Coli* bakterisine karşı antibakteriyel özellik göstermemiştir. Güzel ve diğerleri çalışmalarında [91] kökboya ile boyanan ipekli kumaşların *E. Coli* bakterisine karşı antibakteriyel özellik göstermediğini çalışmalarında bildirmişler ve mazı meşesi kullanım miktarının artırılması ile (%25-%75) her iki gram ve negatif bakterilerine karşı antibakteriyellik özellik kazandırmışlardır. Bu sonuçlar bulgularımızı doğrulamaktadır. *S.aureus* ile temas süresinden sonra işlem görmüş örnekten geri kazanılan bakteri sayısı 3.28×10^2 işlem uygulanmamış örnekten geri kazanılan bakteri sayısı 1.41×10^5 'dır. R' yi aşağıdaki gibi hesaplandığında *S.aureus* bakterisine karşı %99' un üzerinde inhibisyon oranı elde edilmiştir.

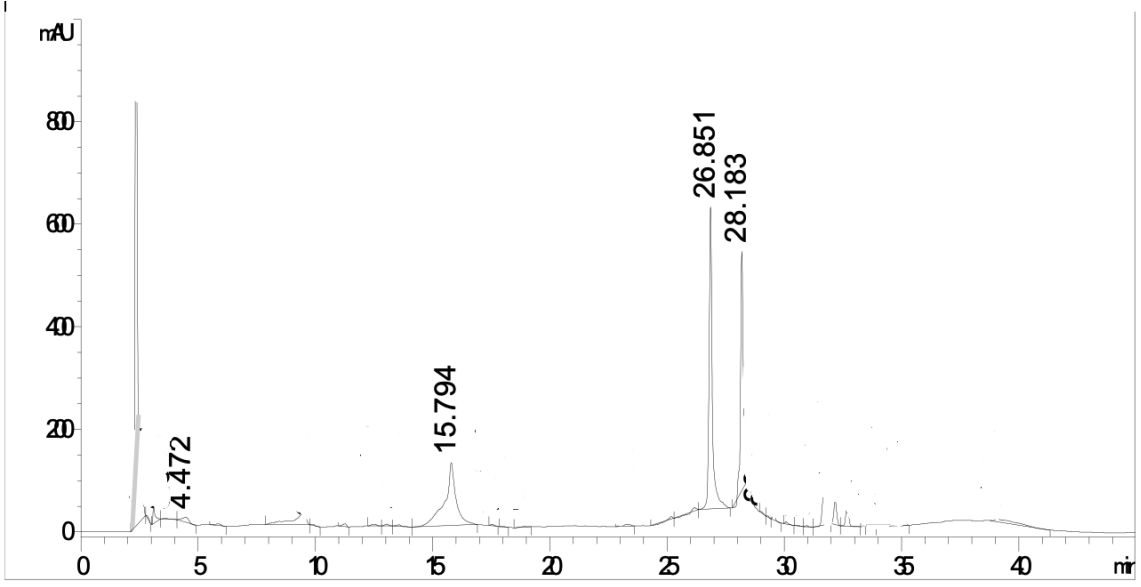
$$99.7 (\%) = \frac{141.000-328}{141.000} \times 100 (S. aureus)$$

E.coli ile temas süresinden sonra işlem görmüş örnekten geri kazanılan bakteri sayısı 6.07×10^5 işlem uygulanmamış örnekten geri kazanılan bakteri sayısı 9.15×10^5 'dır. R' yi aşağıdaki gibi hesaplandığında *E. coli* bakterisine karşı %33.70 inhibisyon oranı elde edilmiştir.

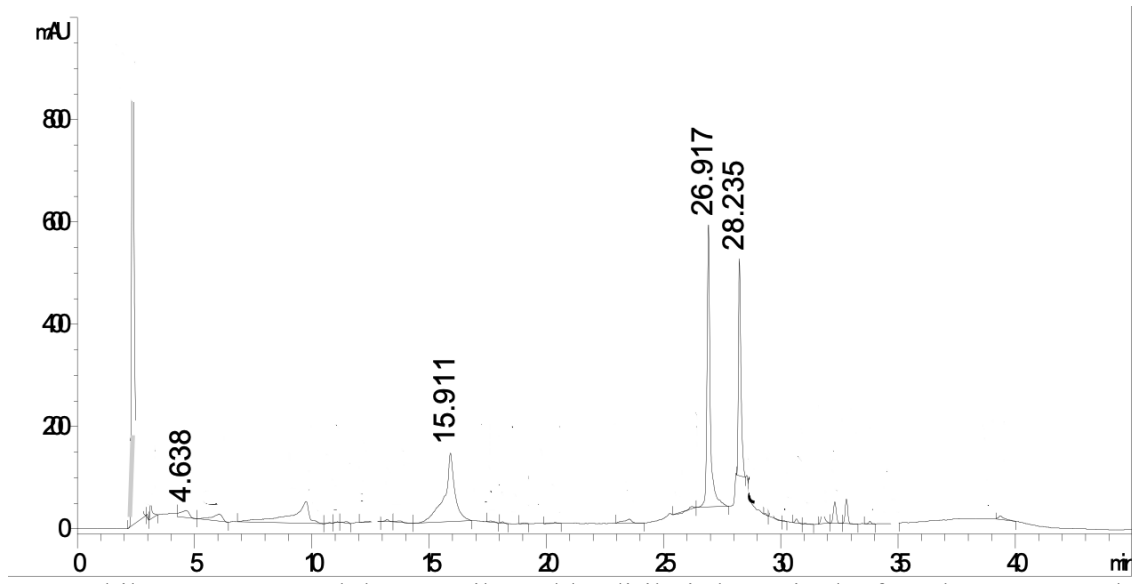
$$33.70 (\%) = \frac{915.000-607.000}{915.000} \times 100 (S. aureus)$$

3.8. Boyalı Numunelerin HPLC Analizi

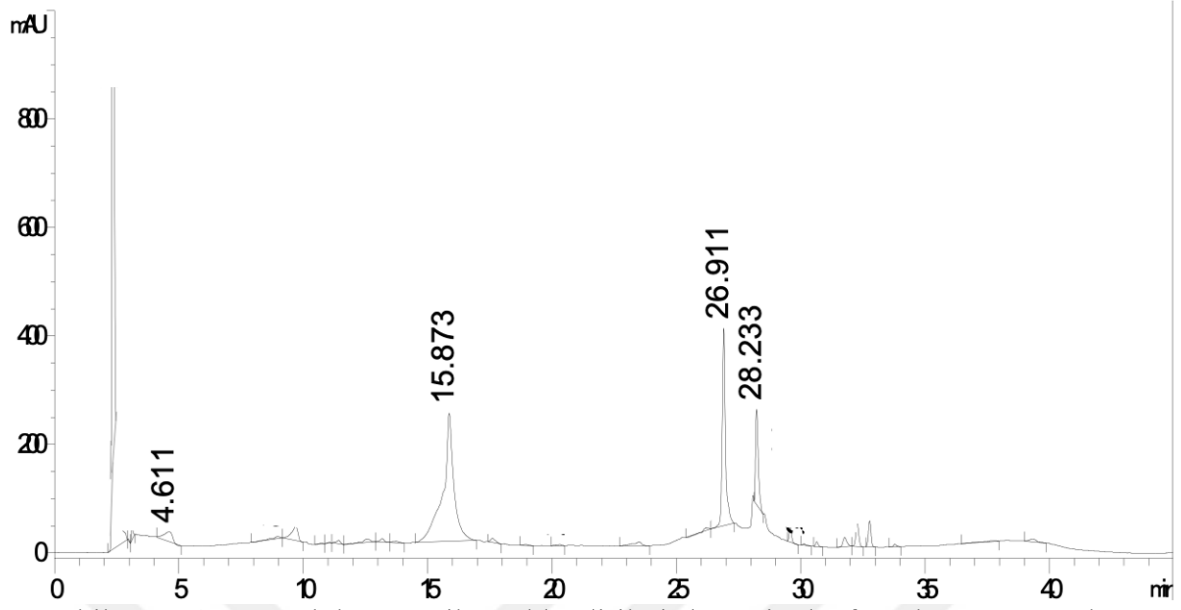
Boyanan 12 tane kenevir elyafı (orta sıcaklıklar elimine edilmiştir) için renklendirici bileşikler ve bunların tepe yükseklikleri verileri (Tablo 3.5) aşağıda özetlenmiştir. Boyanan kumaşların kromatogramları Şekil 3.20- Şekil 3.31'de gösterilmiştir. Belirlenen renklendirici bileşiklerin spektrumları Şekil 3.32-3.35'de gösterilmiştir. Boyalı numunelerinin tamamında gallik asit, ellagik asit, alizarin ve purpurin tespit edilmiştir. Güzel ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar [91] incelendiğinde alizarin ve purpurin renklendirici bileşikler kökboyadan ve gallik ve ellagik asitlerin mazı meşesinden sağlandığı da ifade edilebilir.



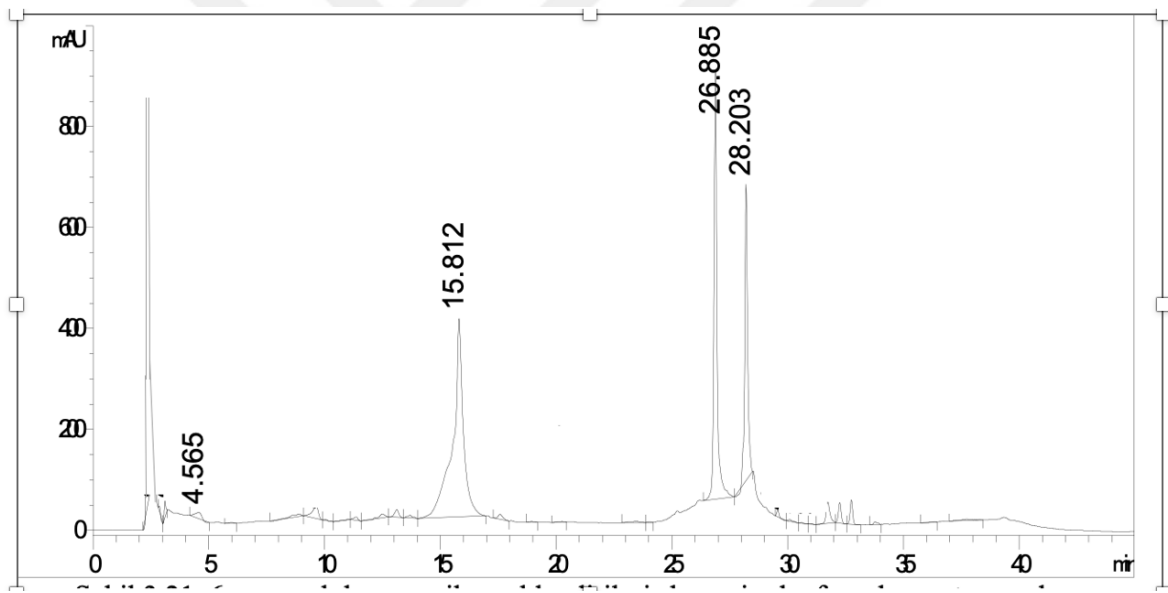
Şekil 3. 20 1 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



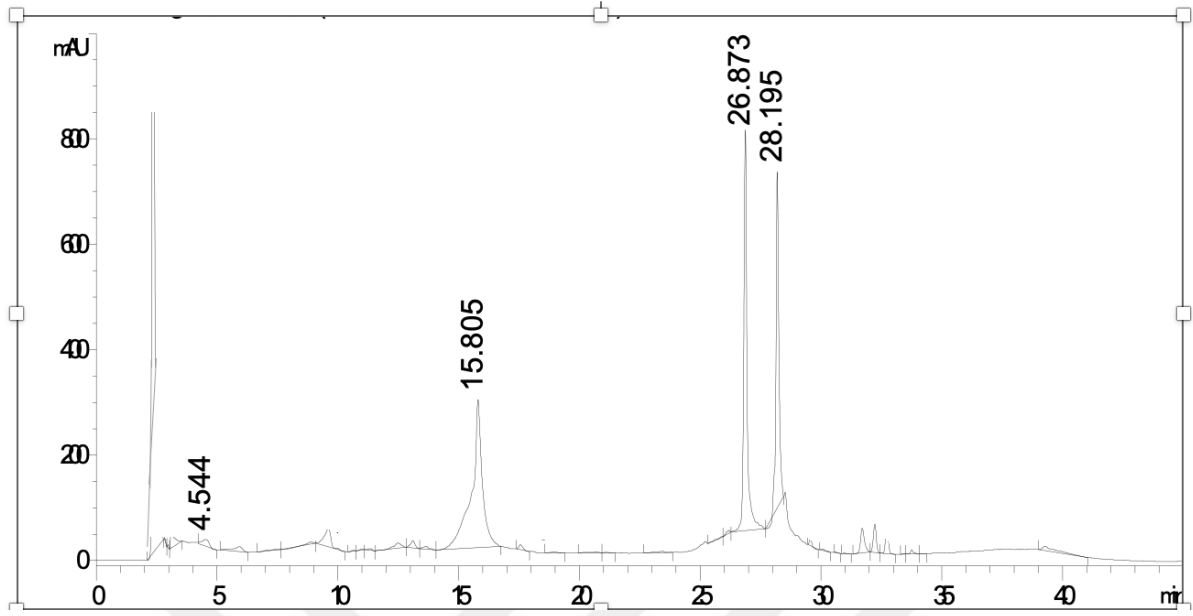
Şekil 3. 21 3 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



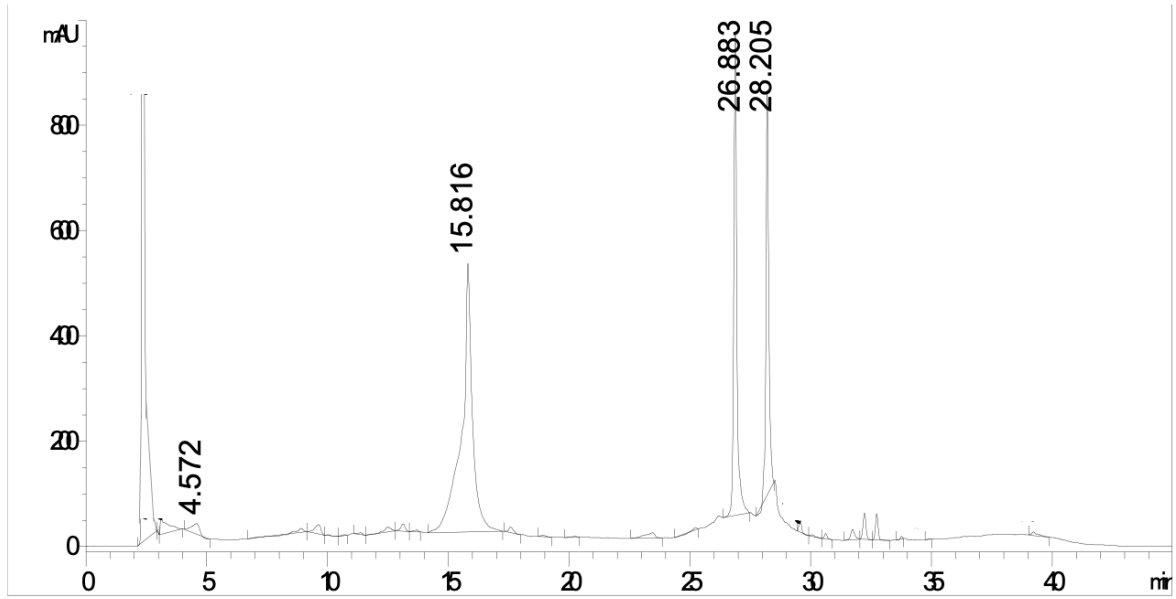
Şekil 3. 22 4 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



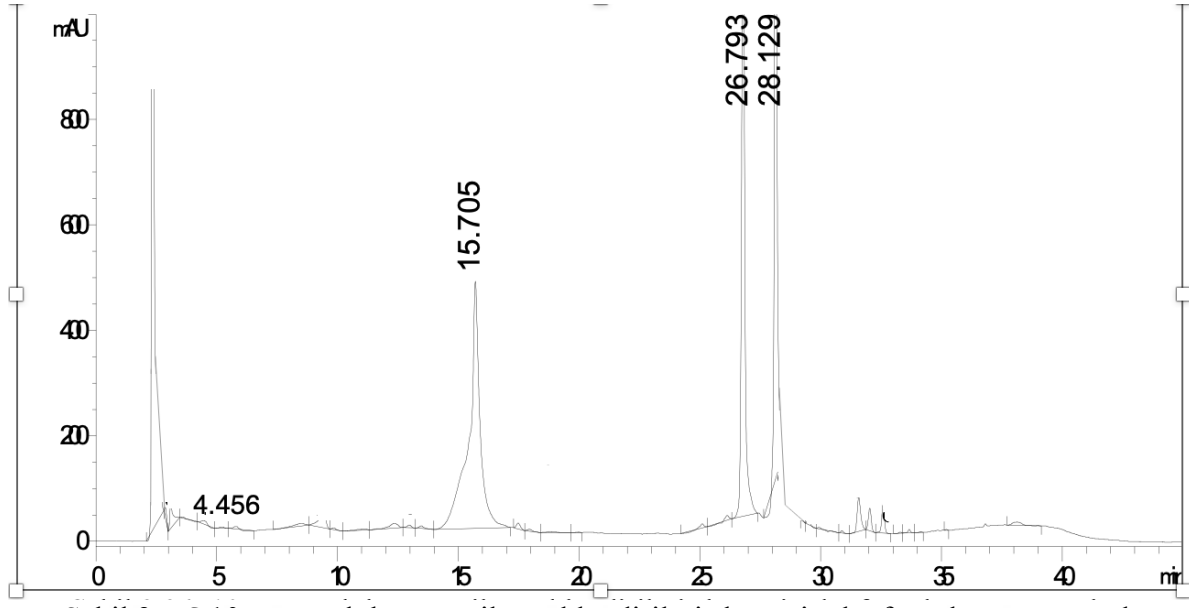
Şekil 3. 23 6 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



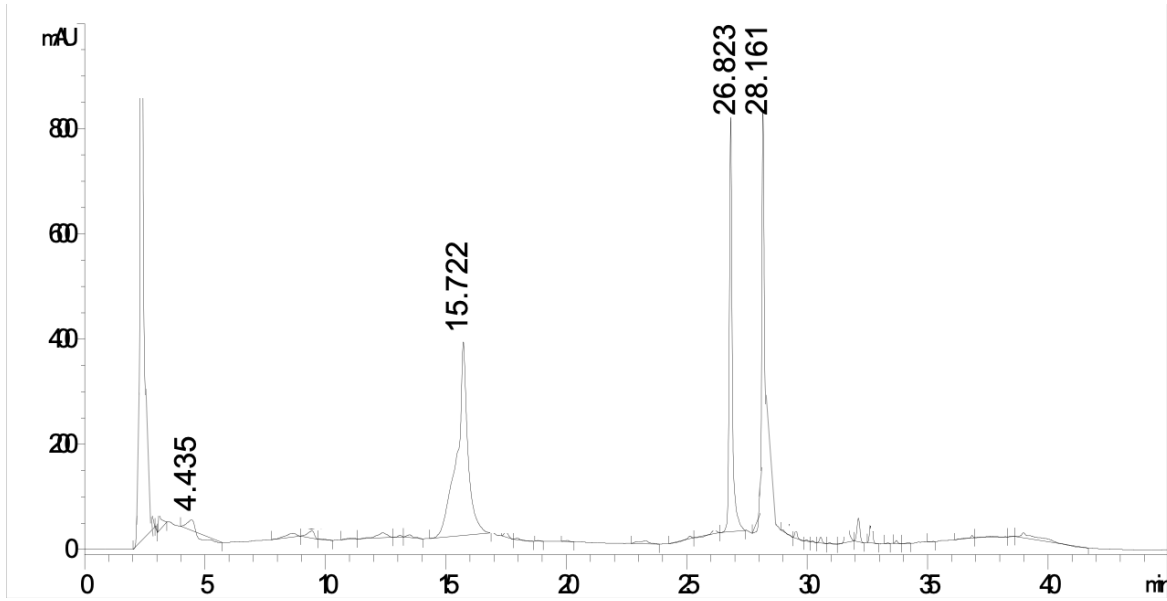
Şekil 3. 24 7 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



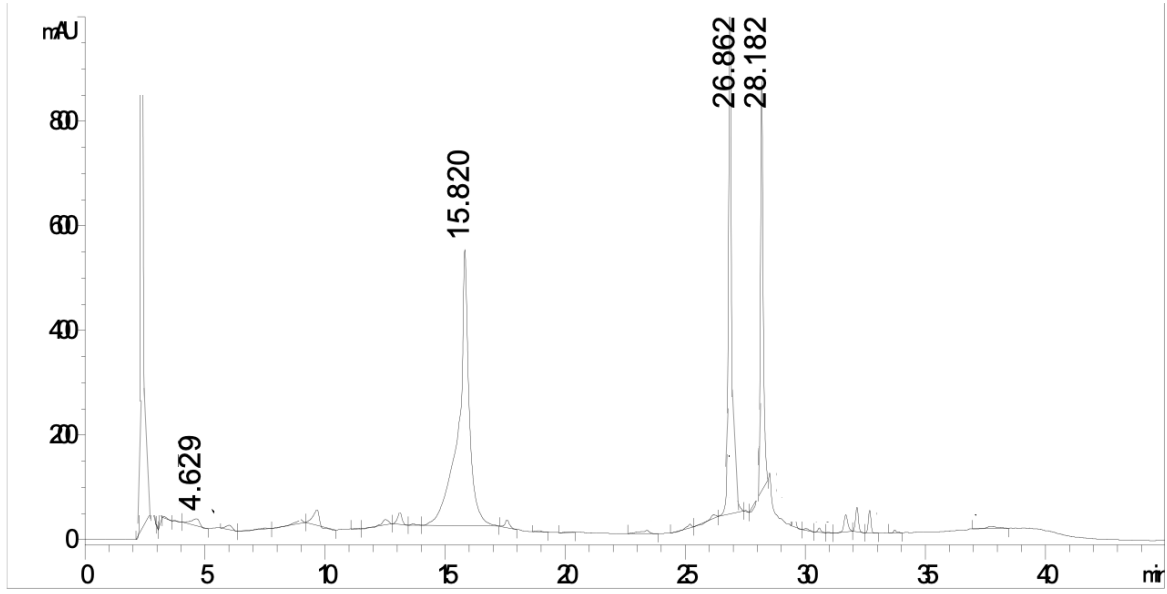
Şekil 3. 25 9 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



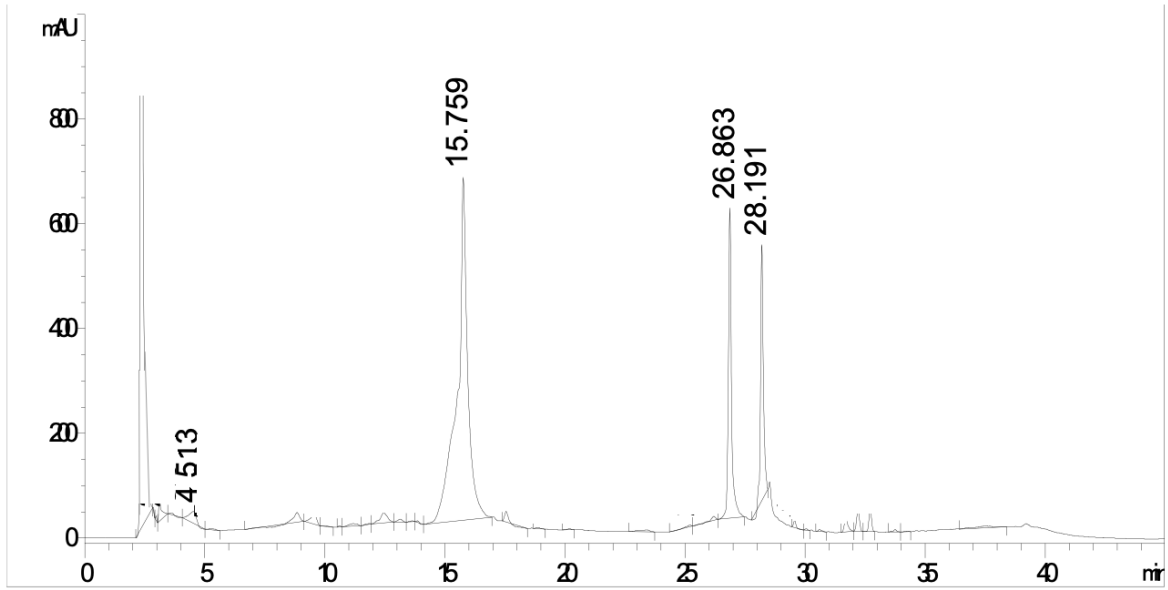
Şekil 3. 26 10 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



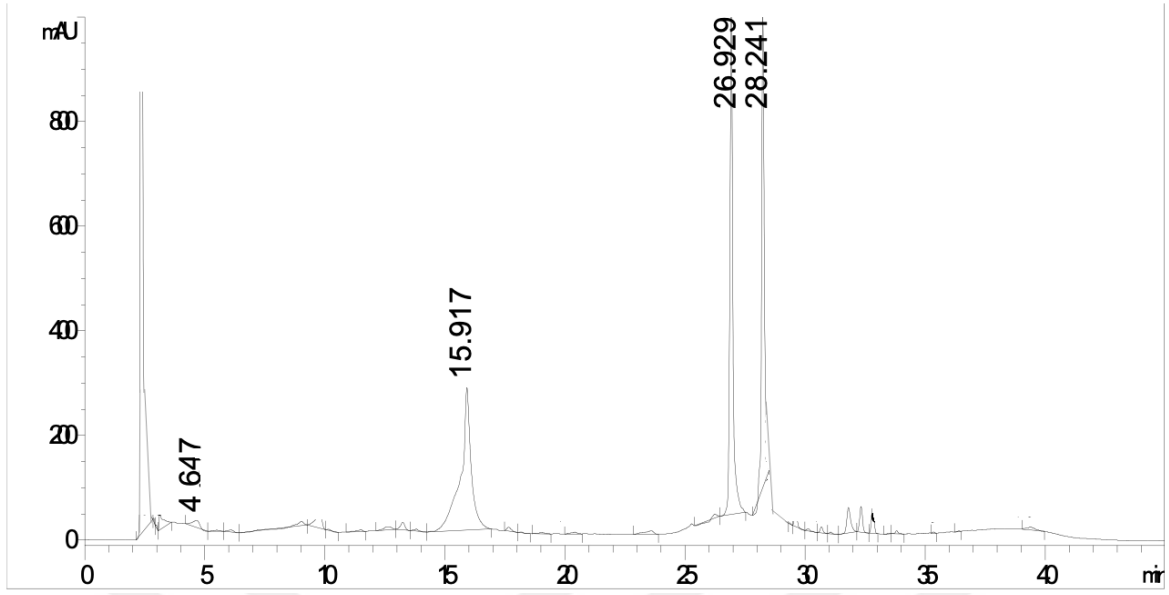
Şekil 3. 27 12 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



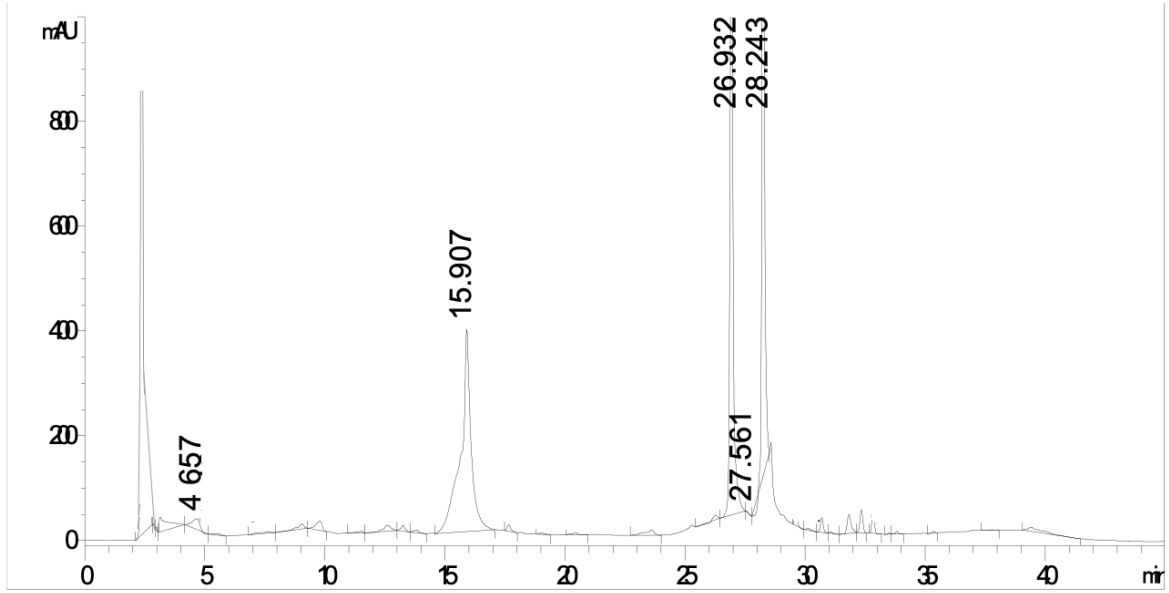
Şekil 3. 28 13 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



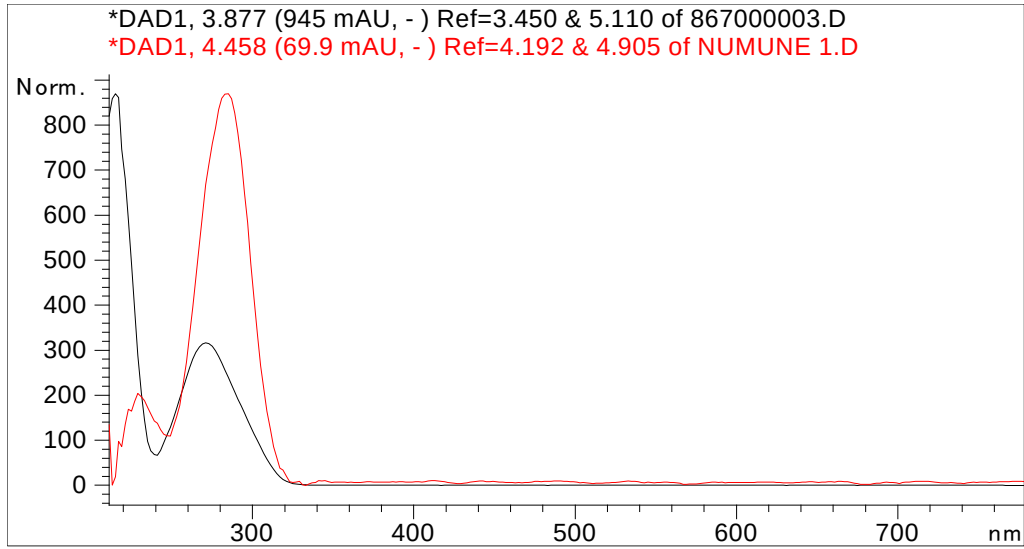
Şekil 3. 29 15 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



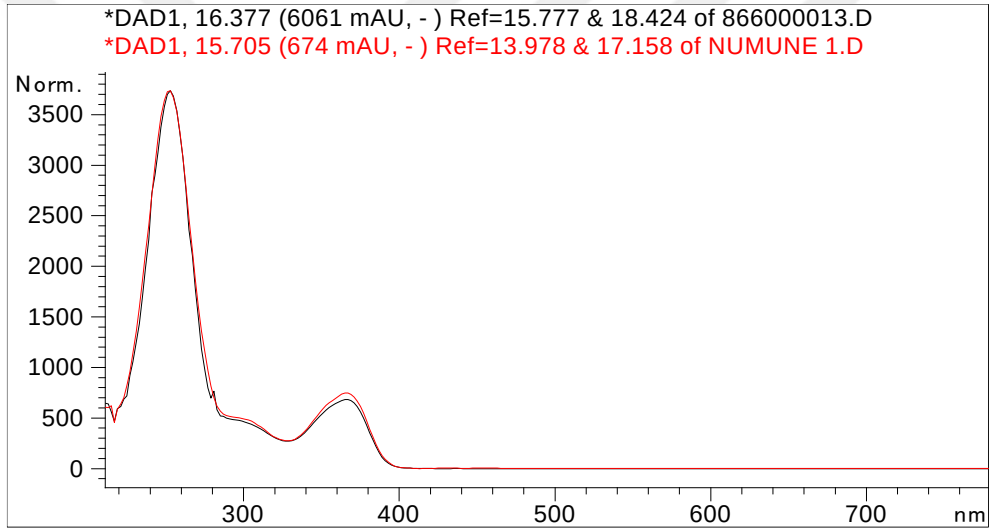
Şekil 3. 30 16 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



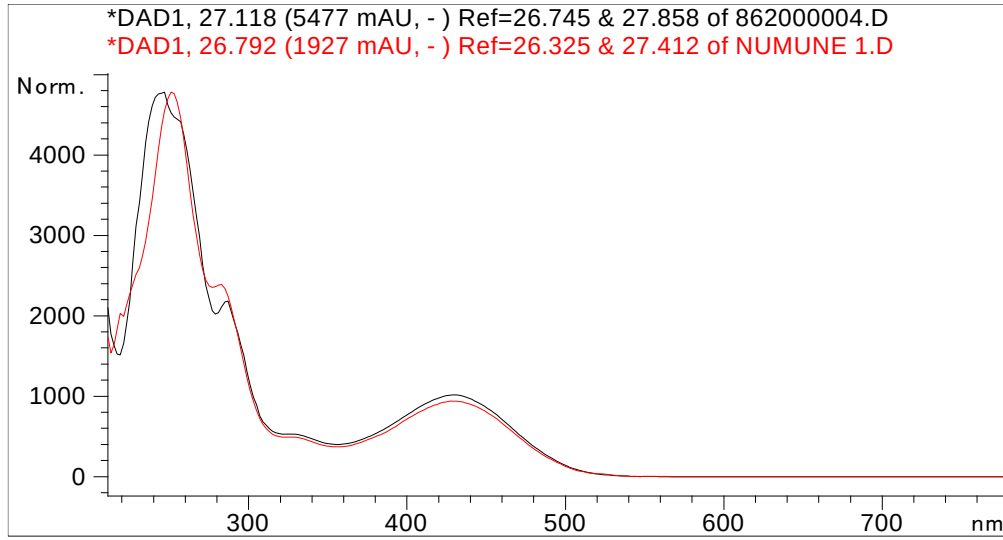
Şekil 3. 31 18 numaralı boyama ile renklendirilmiş kenevir elyafının kromatogramları



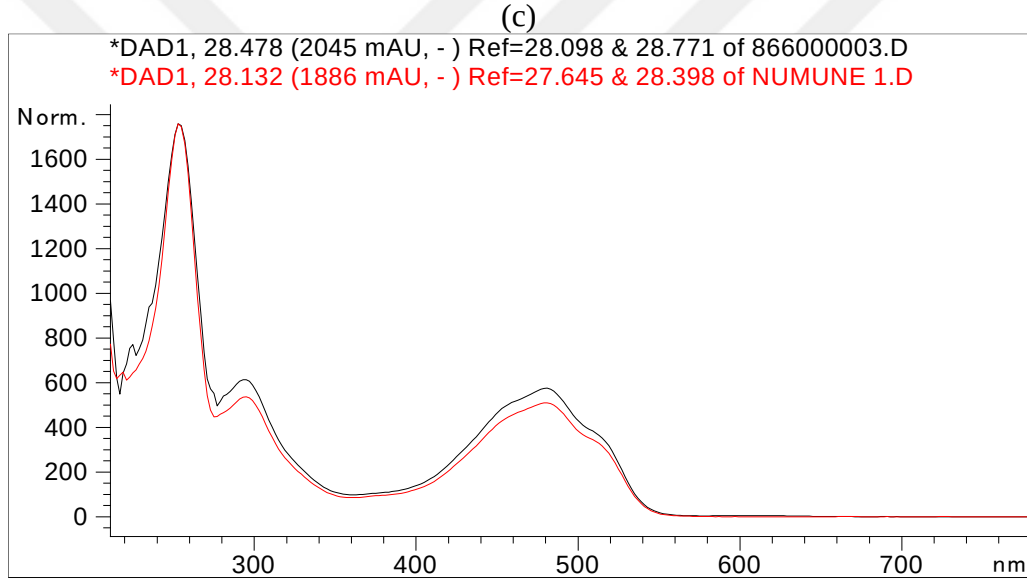
Şekil 3. 32 Gallik asit



Şekil 3. 33 Ellagik asit



Şekil 3. 34 Alizarin



Şekil 3. 35 Purpurin

Tablo 3. 5 Belirlenen boyarmaddelerin pik yüksekleri

Boyama Numarası	Gallik Asit	Ellagik Asit	Alizarin	Purpurin
1	9.6	122.4	589.4	467.6
3	18.1	236.3	363.7	176.3
4	13.7	133.8	552.2	424.6
6	12.6	392.3	850.3	587
7	13	281.4	761.8	638.8
9	19.5	510.3	917.6	769.2
10	6.3	468.7	1328.5	1437.1
12	20.2	367.9	788.7	754.7
13	13	527.9	1005.5	784.1
15	22	654.5	592	489.4
16	13.2	272.4	981	901.5
18	20.5	385.6	1372.6	1519.4

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında yabancı ve farklı bölgelerde (Akdeniz ve Karadeniz) yetiştirilen kenevir elyafının karakterizasyonu, doğal boyama ile boyanabilirliği ve boyama sonrası antibakteriyellik özellikleri incelenmiştir. Young modülü, gerilim karşında oluşan % gerinimlerin belirlenebilmesi için liflerin çapları belirlenmiştir. Optik mikroskop da yapılan analizler neticesinde yerli tohum ile elde edilen lif incelikleri yabancı tohum ile elde edilen lif inceliklerine kıyasla kısmen daha kalın bulunmuştur. Gerilim- gerinim grafikleri doğrusal ve doğrusal olmayan iki davranış tespit edildi. Elastikiyet modülleri sırasıyla 10.29, 21.92, 9.50, 9.24 ve 16.33' dir. Elastikiyet modülü en yüksek Burdur' da yetiştirilen kenevir elyafında görülmektedir. Çekme dayanımları sırasıyla 1187.47, 515.22, 603.86, 638.86 ve 947.63' tır. Burdur' da yetiştirilen elyafın çekme dayanımı diğer bölgeler ile karşılaştığında daha düşük olduğu görülmektedir. İkinci en yüksek elastikiyet modülü ve çekme dayanımı Çin' de yetiştirilen kenevir elyafına aittir. Sonuçlar incelendiğinde değerler birbirine yakın olmakla beraber elyaf yetiştirme koşullarındaki (sıcaklık, toprak kalitesi ve hasat süresi vb.) değişiklikler Young modülünü ve çekme dayanımını etkilemektedir.

Yerli ve yabancı kenevir lifleri %20 mazi meşesi ve %5 kök boya ile demir sülfat ile ön işleme tabi tutulduktan sonra kahverengi renk ve şap ile ön işleme tabi tutulduktan sonra pembe renk elde edilmiştir. Boyama sonrası numunelerdeki renklendirici bileşikler HPLC cihazı ile tespit edildi. Bunlar; alizarin, purpurin, gallik ve ellagik asittir. Boyalı kenevir liflerinde en yüksek ışık haslığı Çin kenevirin %3 demir sülfat ile ön mordanlanmış numunede görüldü. Işık haslığı sonuçları, Fe-boyar madde kompleksinde orta iken (3) Al- boyarmadde kompleksinde iyi olmadığı (2-3) görülmektedir. Boyalı numunelerin renk değişimi kötü ve orta olarak değerlendirilmiştir. 3-4 aralığında renk değişimi Çin elyafının şap ile ön mordanlanması ve banyo sıcaklığının 95-100° sıcaklığı aralığında gerçekleştirilmiştir. Demir sülfat ile ön mordanlama işlemine tabi tutulduktan sonra boyanan numunelerin banyo sıcaklığın artması ile renk verimliliği değerleri artış göstermiştir. Şap ile ön mordanlama işlemine tabi tutulduktan sonra boyanan numunelerin banyo sıcaklığı 85-95° de uygulanması ile renk verimliliği değerleri diğer sıcaklıklara göre optimum olarak belirlenmiştir. Demir sülfat ön mordanlanması ile gerçekleştirilen boyamalar renk verimliliğini arttırmıştır.

Boyalı kumaşların naylon 6.6, yün ve polyester elyafı üzerinde yıkanması sonucunda oluşan lekelenmeler 3-5 arasında belirlenmiştir. Lekelemelerin azalması sıcaklığın yüksek (95-100°) olduğu boyamalarda görülmektedir.

Mazı meşesi ve kökboya ile renklendirilen liflerinin antibakteriyelliği için *S.aureus* ve *E. Coli* bakterilerine karşı test edildi. Boyalı kenevir elyafı kenevir elyafı *S.aureus* bakterisine karşı antibakteriyel aktivite gösterirken *E. Coli* bakterisine karşı antibakteriyel özellik göstermemiştir. *E. Coli* bakterisine karşı antibakteriyellik özelliğinin elde edilememesi mazı meşesinin reçete de oldukça az (%5) kullanılmasından kaynaklıdır. *E.Coli* bakterisine karşı antibakteriyellik mazı meşesinden sağlanabilmektedir.



5. KAYNAKÇA

- [1] A. G. D. Schumacher, S. Pequito ve J. Pazour, Industrial hemp fiber: A sustainable and economical alternative to cotton,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 268, pp. 1-12, 2020.
- [2] Anonim, 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://textileexchange.org/2020-preferred-fiber-and-materials-market-report-pfmr-released>. [Erişildi: Mart 2020].
- [3] J. Milanovic, M. Kostic, P. Milanovic ve P. Skundric, Influence of TEMPO-Mediated Oxidation on Properties of Hemp Fibers,» *Industrial & Engineering Chemistry Research*, cilt 51, p. 9750–9759, 2012.
- [4] R. M. Kozlowski, ve M. Mackiewicz-Talarczyk, Handbook of Natural Fibres: Volume 2: Processing and Applications, Elsevier, 2020, pp. 147-166.
- [5] G. Crini ve E. Lichtfouse, Sustainable Agriculture Reviews 42: Hemp Production and Applications, Springer, 2020, pp. 48-49, 116.
- [6] R. Ahmad, Z. Tehsin, S. T. Malik, S. A. Asad, M. Shahzad, M. Bilal, M. M. Shah ve S. A. Khan , Phytoremediation Potential of Hemp (*Cannabis sativa* L.): Identification and Characterization of Heavy Metals Responsive Genes,» *Clean Soil Air Water*, cilt 44, no. 2, 2016.
- [7] S. Rana, S. Pichandi, S. Parveen ve R. Fanguero, Natural Plant Fibers: Production, Processing, Properties and Their Sustainability Parameters,» %1 içinde *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, Singapore, Springer, 2014, pp. 1-35.
- [8] M. Novakovic, D. M. Popovic, N. Mladenovic, G. B. Poparic ve S. B. Stankovic, Development of comfortable and eco-friendly cellulose based textiles with improved sustainability,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 67, no. 10, 2020.
- [9] D. Siva, *Pretreatment of Hemp Fibers to Enhance Enzymatic Accessibility for Hemp Fibers, Master' s Thesis, Technical University of Denmark (DTU)*, 2015.
- [10] M. Liu, *Pretreatment of hemp fibers for utilization in strong biocomposite materials*, Danmarks Tekniske Universitet (DTU), 2016.
- [11] M. Roy, P. Sen ve P. Pal , An integrated green management model to improve environmental performance of textile industry towards sustainability,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 271, 2020.

- [12] A. K. R. Choudhury, Environmental Impacts of the Textile Industry and Its Assessment Through Life Cycle Assessment ..,» *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing Environmental and Social Aspects of Textiles and Clothing Supply Chain*, Springer, 2014, pp. 1-40.
- [13] A. Arputharaj, A. Raja ve S. Saxena, Developments in Sustainable Chemical Processing of Textiles,» *Green Fashion*, Singapore, Springer, 2016, pp. 217-252.
- [14] M. Rahman, M. M. Billah, D. Hack-Polay ve A. Alam , The use of biotechnologies in textile processing and environmental sustainability: An emerging market context,» *Technological Forecasting and Social Change*, cilt 159, 2020.
- [15] S. Adeel, S. Kamal, T. Ahmad, I. Bibi, S. Rehman, A. Kamal ve A. Saleem , Biotechnology: An Eco-friendly Tool of Nature for Textile Industries,» *Advances in Functional Finishing of Textiles*, Springer, pp. 85-114.
- [16] R. Nayak, T. Panwar ve L. V. T. Nguye, Sustainability in fashion and textiles: A survey from developing country,» *Sustainable Technologies for Fashion and Textiles*, Woodhead Publishing, 2020, pp. 4-30.
- [17] Y. Karaduman, Bast fiber composites and their applications,» *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*, Elsevier, 2023, pp. 167-193.
- [18] Y. G. T. Girijappa, S. M. Rangappa, J. Parameswaranpillai ve S. Siengchin, Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review,» *Frontiers in Materials*, cilt 6, no. 226, 2019.
- [19] T.-D. Ngo, Natural Fibers for Sustainable Bio-Composites,» *Natural and Artificial Fiber-Reinforced Composites as Renewable Sources*, 2018, pp. 107-126.
- [20] M. Syduzzaman, M. A. A. Faruque, K. Bilisik ve M. Naebe, Plant-Based Natural Fibre Reinforced Composites: A Review on Fabrication, Properties and Applications,» cilt 10, no. 973.
- [21] M. Ramesh, K. Palanikumar ve K. H. Reddy, Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials».
- [22] R. Shetty, R. Pai, A. B. Barboza ve V. P. Gandhi, Processing, mechanical characterization and its tribological study of discontinuously reinforced Caryota Urens Fibre Polyester composites, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, cilt 13, no. 12, 2018.

- [23] P. Lyu, Z. Yu, X. Wang ve C. Hurren , Degumming methods for bast fibers—A mini review, *Industrial Crops & Products*, cilt 174, 2021.
- [24] J. P. Manaia, A. T. Manaia ve L. Rodrigues, Industrial Hemp Fibers: An Overview,» *Fibers*, cilt 7, no. 106, 2019.
- [25] M. A. Sawpan, K. L. Pickering ve A. Fernyhough, Effect of various chemical treatments on the fibre structure and tensile properties of industrial hemp fibres,» *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, cilt 42, no. 8, pp. 888-895, 2011.
- [26] M. Ansell ve L. Mwaikambo, The structure of cotton and other plant fibres, *Handbook of Textile Fibre Structure: Volume 2: Natural, Regenerated, Inorganic and Specialist Fibres*, Woodhead Publishing, 2009, pp. 62-90.
- [27] A. Duval, A. Bourmaud, L. Augier ve C. Baley, Baley C. Influence of the sampling area of the stem on the mechanical properties of hemp fibers,» *Materials Letters*, cilt 65, no. 4, pp. 797-800, 2011.
- [28] L. Marrot, A. Lefeuvre, B. Pontoire, A. Bourmaud ve C. Baley, Analysis of the hemp fiber mechanical properties and their scattering (Fedora 17),» *Industrial Crops and Products*, cilt 51, pp. 317-327, 2013.
- [29] K. Pickering, G. Beckermann, S. Alam ve N. Foreman, Optimising industrial hemp fibre for composites,» *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, cilt 38, no. 2, pp. 461- 468, 2007.
- [30] M. Fan, D. Dai ve A. Yang, High Strength Natural FiberComposite: Defibrillationand its Mechanismsof Nano CelluloseHemp Fibers,» *International Journal of Polymeric Materials*, cilt 60, pp. 1026–1040,, 2011.
- [31] V. Placet, F. Trivaudey,, O. Cisse, V. Gucheret-Retel ve M. L. Boubakar, Diameter dependence of the apparent tensile modulus of hemp fibres: A morphological, structural or ultrastructural effect?, *Composites: Part A*, cilt 43, pp. 275-287, 2012.
- [32] A. Thygesen, B. Madsen, A. B. Bjerre ve H. Lilholt, Cellulosic Fibers: Effect of Processing on FiberBundle Strength, *Journal of Natural Fibers*, cilt 8, pp. 161-175, 2011.
- [33] K. E. Lee, Environmental Sustainability in the Textile Industry., *Sustainability in the textile industry*, S. S. Muthu, Dü., Springer, 2017, pp. 25-32.

- [34] X. Zhao, X. We, Y. Guo, C. Qiu, S. Long, Y. Wang ve H. Qiu, Industrial Hemp—an Old but Versatile Bast Fiber Crop,» *Journal of Natural Fibers*, cilt 19, no. 13, p. 6269–6282, 2022.
- [35] Growing Hemp for the Future, *Textile Exchange*, 2023.
- [36] M. Muzyczek, The use of flax and hemp for textile applications, *Handbook of natural fibres*. Woodhead Publishing, Elsevier, 2020, pp. 147-167.
- [37] H. Singh, J. I. P. Singh, S. Singh, V. Dhawan ve S. K. Tiwar, A Brief Review of Jute Fibre and Its Composites, *Materials Today: Proceedings*, cilt 5, no. 14, pp. 28427-28437, 2018.
- [38] A. S. Ullah, S. Shahinur ve H. Haniu, On the Mechanical Properties and Uncertainties of Jute Yarns, *Materials*, cilt 10, no. 5, 2017.
- [39] M. A. Ashraf, M. Zwawi, M. T. Mehran, R. Kanthasamy ve A. Bahadar, Jute Based Bio and Hybrid Composites and Their Applications, *Fibers*, cilt 7, no. 9, 2019.
- [40] H. Chandekar, V. Chaudhari ve S. Waigaonkar, A review of jute fiber reinforced polymer composites, *Materials Today Proceeding*, cilt 26, no. 2, pp. 2079-2082, 2020.
- [41] M. Taşdemir, Ç. Gül ve K. Emine Dilara, Use of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in Composite Materials for Sustainability, *Sustainability in the Textile and Apparel Industries*, Springer, 2020, pp. 97-115.
- [42] M. Sood ve G. Dwivedi, Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review, *Egyptian Journal of Petroleum*, cilt 27, no. 4, pp. 775-783, 2018.
- [43] S. Pujari, A. Ramakrishna ve . M. S. KumaR, Comparison of Jute and Banana Fiber Composites: A Review, *International Journal of Current Engineering and Technology*, cilt 2, pp. 121-126, 2014.
- [44] M. Puttegowda, S. M. Rangappa, M. Jawaid, P. Shivanna, Y. Basavegowda ve N. Saba, Potential of natural/synthetic hybrid composites for aerospace applications, *Sustainable Composites for Aerospace Applications*, Woodhead Publishing, 2018, pp. 315-351.
- [45] D. B. Dittenber ve H. V. GangaRao, Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, cilt 43, no. 8, pp. 1419-1429, 2012.

- [46] S. N. Monteiro, F. P. D. Lopes, A. P. Barbosa, A. B. Bevitori, I. L. A. D. Silva ve L. L. D. Costa , Natural Lignocellulosic Fibers as Engineering Materials—An Overview, *Metallurgical and Materials Transactions A*, cilt 42, p. 2963–2974, 2011.
- [47] H.-y. Cheung, M.-p. Ho, K.-t. Lau, F. Cardona ve D. Hui, Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications, *Composites Part B: Engineering*, cilt 40, no. 7, pp. 655-663, 2007.
- [48] C. Hallett ve A. Johnston, *Fabric for Fashion: The Complete Guide: Natural and Man-made Fibres*, Laurence King Publishing, 2014.
- [49] S. Ahmad, T. Ullah ve Ziauddin, Fibers for Technical Textiles, *Fibers for Technical Textiles*, Springer, 2020, pp. 21-47.
- [50] A. Danny E. , Flax—structure, chemistry, retting, and processing, *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*, Bremen, Germany, Wiley, 2010, pp. 89-108.
- [51] E. Kalaycı, O. O. Avinc, A. Bozkurt ve A. Yavaş, Tarımsal atıklardan elde edilen sürdürülebilir tekstil lifleri: Ananas yaprağı lifleri, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 20, no. 2, pp. 203-221, 2016.
- [52] H. Mohit ve V. A. M. Selvan, A comprehensive review on surface modification, structure interface and bonding mechanism of plant cellulose fiber reinforced polymer based composites, *Composite Interfaces* , cilt 25, no. 5-7, pp. 629-667, 2018.
- [53] S. Gowthaman, K. Nakashima ve S. Kawasaki, A State-of-the-Art Review on Soil Reinforcement Technology Using Natural Plant Fiber Materials: Past Findings, Present Trends and Future Directions, *Materials*, cilt 11, no. 4, 2018.
- [54] S. Parveen, S. Rana ve R. Fanguero, Macro- and nanodimensional plant fiber reinforcements for cementitious composites, *Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites*, Woodhead Publishing, 2017, pp. 343-382.
- [55] A. Fröse, K. Schmidtke, T. Sukmann, I. J. Junger ve A. Ehrmann, Application of natural dyes on diverse textile materials, *Optik*, cilt 181, pp. 215-219, 2019.
- [56] M. S. Sk, R. Mia, M. A. Haque ve A. M. Shamim, Review on Extraction and Application of Natural Dyes, *Textile & Leather Review*, cilt 4, no. 4, 2021.
- [57] A. K. R. Choudhury, Sustainable chemical technologies for textile production, *Sustainable Fibres and Textiles*, Woodhead Publishing,, 2017, p. 297.

- [58] S. Basak, T. Senthilkumar, G. Krishnaprasad ve P. Jagajanantha, Sustainable Development in Textile Processing, *Sustainable Green Chemical Processes and their Allied Applications*, Springer, 2020, pp. 59-575.
- [59] R. Karadağ, Doğal Boyacılık, Ankara: Dösim, 2007, p. 11.
- [60] K. Elshahida, A. Fauzi, I. Sailah ve I. Siregar, Sustainability of the use of natural dyes in the textile industry, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, cilt 399, 2019.
- [61] A. Kamboj, S. Jose ve A. Singh, Antimicrobial Activity of Natural Dyes – A Comprehensive Review, *Journal of Natural Fibers*, 2021.
- [62] P. Kumar ve P. R. Yaashikaa, Sustainable Dyeing Techniques, *Sustainable Innovations in Textile Chemical Processes*, Singapore, Springer, 2018, pp. 1-31.
- [63] J. Arora, P. Agarwal ve G. Gupta, Rainbow of Natural Dyes on Textiles Using Plants Extracts: Sustainable and Eco-Friendly Processes, *Green and Sustainable Chemistry*, cilt 7, no. 1, 2017.
- [64] E. İ. Özlenen, Doğal Boya Uygulamalarının Değişen Yüzü ve Yenilikçi Yaklaşımlar, *Yedi: Sanat Bilim Dergisi*, cilt 22, 2019.
- [65] M. Özomay ve M. Akalın, Optimization of Fastness Properties with Gray Relational Analysis Method in Dyeing of Hemp Fabric with Natural and Classic Mordant, *Journal of Natural Fibers*, cilt 19, no. 8, p. 914–2928, 2022.
- [66] E. Sunerli ve M. Çakır Aydın, Doğal Boyamanın Farklı Tekstil Lifleri İle Oluşturulan Yüzeylere Etkisi, cilt 5, no. 1, 2019.
- [67] M. Yusuf, Handbook of Renewable Materials for Coloration and Finishing, Scrivener Publishing, 2018.
- [68] B. Patel, Natural Dyes, *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*, Woodhead Publishing, 2011, pp. 395-424.
- [69] L. Pattanaik, S. K. Padhi, S. N. Naik ve P. Hariprasad, Life cycle cost analysis of natural indigo dye production from *Indigofera tinctoria* L. plant biomass: a case study of India, *Clean Technologies and Environmental Policy*, cilt 22, pp. 1639-1654, 2020.
- [70] R. Renung , R. Edia, Y. Kusumastuti ve I. Kartini, Photofading of Natural Indigo Dye in Cotton Coated with Zinc Oxide Nanoparticles Synthesized by Precipitation Method, *International Journal of Technology*, cilt 13, no. 3, pp. 553-564, 2022.

- [71] V. Padma S., Chemistry of natural dyes, *Resonance*, cilt 5, no. 73-80, 2000.
- [72] S. Varjania, P. Rakholiya, H. Y. Ng, S. You ve J. A. Teixeira, Microbial degradation of dyes: An overview, *Bioresource Technology*, cilt 314, 2020.
- [73] B. Dulo, K. Phan, J. Githaiga, K. Raes ve S. D. Meester, Natural Quinone Dyes: A Review on Structure, Extraction Techniques, Analysis and Application Potential.
- [74] G. Mijas, M. Josa , D. Cayuela ve M. Riba-Moliner, Study of Dyeing Process of Hemp/Cotton Fabrics by Using Natural Dyes Obtained from *Rubia tinctorum* L. and *Calendula officinalis*, *Polymers*, cilt 14, 2022.
- [75] S. Safapour, M. Mazhar ve S. Abedinpour, Broadening Color Shade Range of *Rubia tinctorum* L. Natural Colorants on Wool Fibers via Combination of Metal Mordants: Color Characteristics and Fastness Studies, *Journal of Natural Fibers*, cilt 20, no. 1, 2023.
- [76] M. B. Ozdemir ve R. Karadag, Madder (*Rubia tinctorum* L.) as an Economic Factor Under Sustainability Goals in the Textile Dyeing, *Journal Of Natural Fibers*, cilt 20, no. 1, 2022.
- [77] M. A. Uddin, M. M. Rahman, A. N. M. A. Haque, S. A. Smriti , E. Datta, S. Chowdhury, J. Haider, A. S. M. Sayem ve N. Farzana, Textile colouration with natural colourants: A review, *Journal of Cleaner Production*, cilt 349, 2022.
- [78] O. Deveoğlu ve R. Karadağ, Genel Bir Bakış: Doğal Boyarmaddeler, *Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 23, no. 1, pp. 21-32, 2011.
- [79] M. Yusuf , M. Shabbir ve F. Mohammad, Natural Colorants: Historical, Processing and Sustainable Prospects, *Natural Products and Bioprospecting*, cilt 7, pp. 123-145, 2017.
- [80] W. A. W. W. N. Amilah, A. N. Mohamad ve M. F. Arizam, Antimicrobial activities of *Quercus infectoria* gall extracts: A scoping review, *Journal of Herbal Medicine*, cilt 32, 2022.
- [81] [Çevrimiçi]. Available: http://www.tcfdatu.org/?lang=tr&page=product-detail&id=39&page_no=1. [Erişildi: 23 Eylül 2023].
- [82] K. M. Zia ve M. Zuber, Environmentally Friendly Plant-Based Natural Dyes: Extraction Methodology and Applications, *Plant and Human Health*, Springer, 2019, p. 383–415.
- [83] S. S. Muthu ve M. A. Gardetti, Sustainability in the Textile and Apparel Industries, Springer, 2020, pp. 1-74.

- [84] E. P. A. Kumbasar, Natural Dyes, InTech, 2011, p. 44.
- [85] M. Shahid, . S.-u. Islam ve F. Mohammad, Recent advancements in natural dye applications: a review, *Journal of Cleaner Production*, cilt 53, pp. 310-331, 2013.
- [86] S. Saxena ve A. Raja, Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues, *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, Hong Kong: Springer, 2014.
- [87] M. Yusuf, M. Shabbir ve F. Mohammad, Natural Colorants: Historical, Processing and Sustainable Prospects, *Natural Products and Bioprospecting* , cilt 7, pp. 123-145, 2017.
- [88] J. Li, J. He ve Y. Huang, Role of alginate in antibacterial finishing of textiles, *International Journal of Biological Macromolecules*, cilt 94, pp. 466-473, 2017.
- [89] S. Andra, S. k. Balu, J. Jeevanandam ve M. Muthalagu, Emerging nanomaterials for antibacterial textile fabrication, cilt 394, p. 1355–1382, 2021.
- [90] F. S. Ghaheh, S. M. Mortazavi, F. Alihosseini, A. Fassihi, A. S. Nateri ve D. Abedi, Assessment of antibacterial activity of wool fabrics dyed with natural dyes, *Journal of Cleaner Production*, cilt 72, pp. 139-145, 2014.
- [91] E. Torgan Güzel, R. Karadağ ve R. Alkan, Durability, Antimicrobial Activity and HPLC Analysis of Dyed Silk Fabrics Using Madder and Gall Oak, *Journal of Natural Fibers*, pp. 1654-1667, 2019.
- [92] R. Alkan, E. Torgan, C. Aydın ve R. Karadağ, Determination of Antimicrobial Activity of the Dyed Silk Fabrics with Some Natural Dyes, *Tekstil ve Mühendis*, cilt 22, no. 97, 2015.
- [93] R. Alkan, E. Torgan ve R. Karadağ, The Investigation of Antifungal Activity and Durability of NaturalSilk Fabrics Dyed with Madder and Gallnut, *Journal of Natural Fibers*, cilt 14, no. 6, p. 769–780, 2017.
- [94] M. R. Horne, Bast fibres: hemp cultivation and production, *Handbook of Natural Fibres (Second Edition)*, Elsevier, 2020, pp. 163-169.
- [95] S. Biswas, Q. Ahsan, A. Cenna, M. Hasan ve A. Hassan, Physical and Mechanical Properties of Jute, Bamboo and Coir Natural Fiber, *Fibers and Polymers* , cilt 14, no. 10, pp. 1762-1767, 2013.
- [96] S. B. Vukušić, S. F. Grgac, A. Budimir ve S. Kalenić, Cotton textiles modified with citric acid as efficient antibacterial agent for prevention of nosocomial infections, *Croatian medical journal*, cilt 52, pp. 68-75, 2011.

- [97] E. Torgan ve R. Karadağ, Sustainability of Organic Cotton Fabric Dyeing with a Natural Dye (Gallnut) and Analysis by Multi-technique Approach, *Journal of Natural Fibers*, cilt 18, no. 8, 2021.
- [98] H. S. J. P. Hinestroza, C. A. Sierra, C. Ochoa-Puentes ve C. Y. Soto, Antibacterial Activity Against *Escherichia coli* of Cu-BTC (MOF-199) Metal-Organic Framework Immobilized onto Cellulosic Fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 131, no. 19, 2014.
- [99] M. Milosevic, D. Stoof ve K. L. Pickering, Characterizing the Mechanical Properties of Fused Deposition Modelling Natural Fiber Recycled Polypropylene Composites, *Journal of Composites Science*, cilt 1, no. 7, 2017.
- [100] Y. Elmogahzy ve R. Farag, Tensile properties of cotton fibers: importance, research, and limitations, *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*, Elsevier, 2018.
- [101] A. Bourmaud ve C. Baley, Rigidity analysis of polypropylene/vegetal fibre composites after recycling, *Polymer Degradation and Stability*, cilt 94, p. 297–305, 2009.
- [102] C. Baley, Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, cilt 33, no. 7, pp. 939–948, 2002.
- [103] K. Charlet, C. Baley, C. Morvan, J. Jernot, M. Gomina ve J. Bre´ard, Characteristics of Hermès flax fibres as a function of their location in the stem and properties of the derived unidirectional composites, *Composites: Part A*, cilt 38, p. 1912–1921, 2007.
- [104] K. Shaker, R. M. W. U. Khan, M. Jabbar, M. Umair, A. Tariq ve Y. Nawab, Extraction and characterization of novel fibers from *Vernonia elaeagnifolia* as a potential textile fiber, *Industrial Crops and Products*, cilt 152, no. 15, 2020.
- [105] T. Väisänen, P. Batello, R. Lappalainen ve L. Tomppo, Modification of hemp fibers (*Cannabis Sativa L.*) for composite applications, *Industrial Crops & Products*, cilt 111, pp. 422–429, 2018.
- [106] M. K. B. Bakri ve E. Jayamani, Comparative study of functional groups in natural fibers: Fourier transform infrared analysis (FTIR), *International Conference on Futuristic Trends in Engineering, Science, Humanities, and Technology (FTESHT-16)*, 2016.
- [107] H. Hajiha, M. Sain ve L. H. Mei, Modification and Characterization of Hemp and Sisal Fibers, *Journal of Natural Fibers*, cilt 11, pp. 144–168, 2014.

- [108] S. Ali, N. Nisar ve T. Hussain, Dyeing properties of natural dyes extracted from eucalyptus, *The Journal of The Textile Institute*, cilt 98, no. 6, p. 559–562, 2006.



ÖZGEÇMİŞ

Ezgi Dilek, Lisans öğretimini 2016-2020 yılları arasında Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliğinde tamamlamıştır. 2020 yılı ekim ayında Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği yüksek lisans eğitimine başladı. 2021 aralık ayından itibaren Zorluteks Tekstil Ticaret ve Sanayi A.Ş. firmasında stratejik tedarik uzman yardımcısı olarak görevini sürdürmüş ve son 4 aydır görevine stratejik tedarik uzmanı olarak devam etmektedir.

