



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**TÜRKİYE'DE YAYILIŞ GÖSTEREN 5 FARKLI BİTKİ
TÜRÜNDEN (*FESTUCA VALESİACA* L., *STIPA PULCHERRIMA*
SUBSP. *EPILOSA* (MARTINOVSKY) TZVELEV, *ASPHODELINE*
TAURICA (PALL. EX M. BIEB) ENDL., *JUNCUS COMPRESSUS*
JACQ. VE *VERBASCUM HELIANTHEMOIDES* HUB-MOR.)
SELÜLOZ İZOLASYONU VE KARAKTERİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Harun METİN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Seher KARAMAN

İKİNCİ DANIŞMAN

Prof. Dr. Murat KAYA

AKSARAY, 2023

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192325001 numaralı Doktora öğrencisi Harun METİN tarafından hazırlanan “**TÜRKİYE’DE YAYILIŞ GÖSTEREN 5 FARKLI BİTKİ TÜRÜNDEN (*FESTUCA VALESII* L., *STIPA PULCHERRIMA* SUBSP. *EPILOSA* (MARTINOVSKY) TZVELEV, *ASPHODELINE TAURICA* (PALL. EX M. BIEB) ENDL., *JUNCUS COMPRESSUS* JACQ. VE *VERBASCUM HELIANTHEMOIDES* HUB-MOR.) SELÜLOZ İZOLASYONU VE KARAKTERİZASYONU**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OYBİRLİĞİ ile Biyoloji Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Seher KARAMAN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. Yavuz Selim ÇAKMAK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. Bengü TÜRKİYILMAZ ÜNAL

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Doç. Dr. Mehtap GÜRSOY

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Doç. Dr. Metin ARMAĞAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 07/12/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduđum bu çalıřmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı dűşecek bir yol ve yardıma bařvurmaksızın yazdıđımı, yararlandıđım eserlerin kaynakçada gűsterilenlerden olduđuđunu, çalıřmamda kullandıđım verilerin orijinalliđini ve her tűrlű intihalden uzak olduđuđunu beyan ederim.

Enstitű tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tűm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Harun METİN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana her türlü araştırma olanağını, desteğini ve her aşamada bilgi ve emeğini esirgemeyen tecrübeleri ile bana yol gösteren değerli tez danışmanlarım Prof. Dr. Seher KARAMAN ve Prof. Dr. Murat KAYA'ya, laboratuvar çalışmalarımda desteklerinden dolayı Bahar AKYÜZ YILMAZ'a ve Behlül KOÇ BİLİCAN'a, analizler için Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi yönetim ve uzmanlarına teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bugüne kadar maddi, manevi desteklerini ve emeklerini hiç esirgemeyen ve her daim yanımda olduklarını hissettiren haklarını hiç ödeyemeyeceğim eşim Tuğçe METİN'e, babam Mustafa METİN'e, annem Ayşe METİN'e, ve sevgili oğlum Mustafa Alp METİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Harun METİN
AKSARAY, 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Selülozun Yapısı ve Kimyası	4
1.2 Selüloz Uygulamaları	6
1.2.1 Yenilenebilir enerjide selüloz kullanımı.....	6
1.2.2 Sarf malzemelerinde selüloz kullanımı	7
1.2.3 Selülozun biyomedikal ve farmasötik uygulamaları	8
1.3 Lignoselülozik Materyallerden Selüloz İzolasyon Yöntemleri.....	11
1.4 Bitki Lifleri.....	12
1.4.1 Bitkisel liflerin sınıflandırılması.....	13
1.5 Bitki Liflerinin Avantajları.....	15
1.6 Bitki Liflerinin Dezavantajları	16
1.7 Lif Elde Edilecek Bitkiler ve Genel Özellikleri	16
1.7.1 <i>Festuca valesiaca</i> L.	16
1.7.2 <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> (Martinovsky) Tzvelev.....	17
1.7.3 <i>Asphodeline taurica</i> (Pall. Ex M. Bieb) Endl.	18
1.7.4 <i>Juncus compressus</i> Jacq.	19
1.7.5 <i>Verbascum helianthemoides</i> Hub-Mor.	20
2. KAYNAK ÖZETLERİ	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1 Selüloz İzolasyonu Yapılan Bitkilerin Doğadan Toplanması ve Teşhis Edilmesi	29
3.2 Asit/Alkali Uygulaması.....	32
3.2.2 <i>Festuca valesiaca</i> sap (gövde) selüloz izolasyonu	33
3.2.3 <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> selüloz izolasyonu	34
3.2.4 <i>Asphodeline taurica</i> gövde (Pall. Ex M. Bieb) selüloz izolasyonu	35
3.2.5 <i>Juncus compressus</i> sap (gövde) selüloz izolasyonu	37
3.3 Selüloz Oranın Belirlenmesi	40
3.4 Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektrometre (FTIR).....	40
3.5 Termogravimetrik Analiz (TGA)	40
3.6 X-ışını Kırınımı (XRD) Analizi	41
3.7 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	41
3.8 Elemental Analiz (EA)	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	43
4.1 Asit/Alkali Uygulaması Görmüş Bitki Liflerine Ait Selüloz Oranları.....	43
4.2 Türlerle Ait Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektrometre (FTIR) Sonuçları.....	45
4.2.1 <i>Festuca valesiaca</i> kök FTIR sonuçları	45
4.2.2 <i>Festuca valesiaca</i> sap (gövde) FTIR sonuçları	47
4.2.3 <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> FTIR sonuçları	49
4.2.4 <i>Asphodeline taurica</i> FTIR sonuçları.....	51
4.2.5 <i>Juncus compressus</i> FTIR sonuçları	53
4.2.6 <i>Verbascum helianthemoides</i> FTIR sonuçları.....	55

4.3 Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları.....	58
4.3.1 <i>Festuca valesiaca</i> kök selülozunun TGA sonuçları	58
4.3.4 <i>Asphodeline taurica</i> selülozunun TGA sonuçları.....	61
4.3.6 <i>Verbascum helianthemoides</i> selülozunun TGA sonuçları.....	63
4.4 X-ışını Kırınımı (XRD) Analiz Sonuçları	65
4.4.1 <i>Festuca valesiaca</i> kökXRD analiz sonuçları.....	65
4.4.2 <i>Festuca valesiaca</i> sapXRD analiz sonuçları.....	66
4.4.3 <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> XRD analiz sonuçları	67
4.4.4 <i>Asphodeline taurica</i> XRD analiz sonuçları	68
4.4.5 <i>Juncus compressus</i> XRD analiz sonuçları.....	69
4.4.6 <i>Verbascum helianthemoides</i> XRD analiz sonuçları	70
4.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları	72
4.5.1 <i>Festuca valesiaca</i> kök liflerinin yüzey morfolojisi.....	72
4.5.2 <i>Festuca valesiaca</i> sap liflerinin yüzey morfolojisi.....	73
4.5.3 <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> liflerinin yüzey morfolojisi	75
4.5.4 <i>Asphodeline taurica</i> liflerinin yüzey morfolojisi.....	76
4.5.5 <i>Juncus compressus</i> liflerinin yüzey morfolojisi	77
4.5.6 <i>Verbascum helianthemoides</i> liflerinin yüzey morfolojisini.....	79
4.6 Elemental Analiz Sonuçları.....	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ.....	92

DOKTORA TEZİ

TÜRKİYE’DE YAYILIŞ GÖSTEREN 5 FARKLI BİTKİ TÜRÜNDEN (*FESTUCA VALESIIACA* L., *STIPA PULCHERRIMA* SUBSP. *EPILOSA* (MARTINOVSKY) TZVELEV, *ASPHODELINE TAURICA* (PALL. EX M. BIEB) ENDL., *JUNCUS COMPRESSUS* JACQ. VE *VERBASCUM* *HELIANTHEMOIDES* HUB-MOR.) SELÜLOZ İZOLASYONU VE KARAKTERİZASYONU

Harun METİN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Seher KARAMAN
İkinci Danışman: Prof. Dr. Murat KAYA

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye’de geniş yayılış gösteren ve doğal olarak yetişen dört bitki türü olan *Festuca valesiaca*, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, *Asphodeline taurica*, *Juncus compressus* türleri ve endemik *Verbascum helianthemoides* türünden selülozik lif izolasyonu gerçekleştirilmiştir. İzole edilen selüloz liflerinin kimyasal, fiziksel ve morfolojik özellikleri FT-IR, TGA, XRD, SEM, elemental analiz yapılarak belirlenmiştir. Bitki türlerinin selüloz oranları *Festuca valesiaca* kök %57.7, *Festuca valesiaca* sap %44.49, *Asphodeline taurica* %73.91, *Juncus compressus* %43.51, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* %59.36 ve *Verbascum helianthemoides* %78.34 olarak bulunmuştur. Termogravimetrik analiz selülozik liflerinin bozunmasının üç aşamada gerçekleştiğini ortaya koymuş, maximum bozunma sıcaklıklarının 316.1 °C ile 337 °C arasında gerçekleştiği belirlenmiştir. XRD sonuçlarına göre kristallik indeksleri *Festuca valesiaca* kök %28.3, *Festuca valesiacasap* %30.7, *Asphodeline taurica* %27.2, *Juncus compressus* %27.2, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* %26.7 ve *Verbascum helianthemoides* %25.5 olarak hesaplanmıştır. Lif yüzeylerinin pürüzlü yapıya sahip olduğu görülmüştür. Elemental analiz sonuçlarına göre liflerde sıra ile en fazla oksijen, karbon ve hidrojen elementlerinin varlığı saptanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları tez konusu bitki türlerinden elde edilen selüloz liflerinin kimyasal, fiziksel ve morfolojik olarak benzer özelliklerde olduğunu göstermiş ve selüloz kaynaklı potansiyel uygulamalar için ve biyokompozit malzemelerin geliştirilmesi için uygun olduklarını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Selüloz, Lignoselüloz, Karakterizasyon, FTIR

Aralık, 2023; 92 sayfa

Ph.D. THESIS

FROM 5 DIFFERENT PLANT SPECIES DISTRIBUTED IN TURKEY (*FESTUCA VALESIACA* L., *STIPA PULCHERRIMA* SUBSP. *EPILOSA* (MARTINOVSKY) TZVELEV, *ASPHODELINE TAURICA* (PALL. EX M. BIEB) ENDL., *JUNCUS COMPRESSUS* JACQ. AND *VERBASCUM* *HELIANTHEMOIDES* HUB-MOR.) CELLULOSE ISOLATION AND CHARACTERIZATION

Harun METİN

Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Seher KARAMAN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Murat KAYA

ABSTRACT

In this study, cellulosic fiber isolation was performed from four plant species (*Festuca valesiaca*, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, *Asphodeline taurica*, *Juncus compressus*) and endemic *Verbascum helianthemoides* species that are widely distributed and grow naturally in Turkey. The chemical, physical and morphological properties of the isolated cellulose fibers were determined by FT-IR, TGA, XRD, SEM, elemental analysis. Cellulose ratios of plant species are *Festuca valesiaca* root 57.7%, *Festuca valesiaca* stem 44.49%, *Asphodeline taurica* 73.91%, *Juncus compressus* 43.51%, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* was found to be 59.36% and *Verbascum helianthemoides* was found to be 78.34%. Thermogravimetric analysis revealed that the degradation of cellulosic fibers obtained from all five plant species occurred in three stages, and it was determined that the maximum decaying temperatures occurred between 316.1 °C and 337 °C. The XRD results showed crystallinity indices of *Festuca valesiaca* stem 28.3%, *Festuca valesiaca* stem 30.7%, *Asphodeline taurica* 27.2%, *Juncus compressus* 27.2%, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* was calculated as 26.7% and *Verbascum helianthemoides* as 25.5. It has been observed that the fiber surfaces have a rough structure. According to the results of elemental analysis, the presence of the most oxygen, carbon and hydrogen elements in the fibers was determined sequentially. The results of this study have shown that cellulose fibers obtained from the plant species subject to the thesis have chemically, physically and morphologically similar properties and are suitable for potential cellulose-derived applications and the development of biocomposite materials.

Keywords: Characterization, Cellulose, Lignocellulose, FTIR

December, 2023; 92 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye selüloz ve türevleri imalatı sektör verileri.....	3
Şekil 1.2. Türkiye selüloz ve türevleri imalatı ithalat miktarı ve değeri.....	3
Şekil 1.3. Selülozun kimyasal yapısı.	4
Şekil 1.4. Yüksek bitkilerin hücre duvarlarını oluşturan selülozun hiyerarşik yapısı .	5
Şekil 1.5. Doğal bitki liflerinin sınıflandırılması	13
Şekil 1.6. <i>Festuca valesiaca</i> türünün Türkiye’deki yayılış alanı	17
Şekil 1.7. <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> türünün Türkiye’deki yayılış alanları...	18
Şekil 1.8. <i>Asphodeline taurica</i> türünün Türkiye’deki yayılış alanı	19
Şekil 1.9. <i>Juncus compressus</i> Jacq. türünün Türkiye’deki yayılış alanı	20
Şekil 1.10. <i>Verbascum helianthemoides</i> türünün Türkiye’deki yayılış alanı	21
Şekil 3.1. Tez konusu bitkilerin fotoğrafları.....	29
Şekil 3.2. Bitkilerin selüloz ekstrasyonu yapılan kısımları	31
Şekil 3.3. <i>Festuca valesiaca</i> türünün köklerinden selüloz izolasyon süreci.....	33
Şekil 3.4. <i>Festuca valesiaca</i> saplarından selüloz izolasyon süreci.....	34
Şekil 3.5. <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> türünden selüloz izolasyon süreci.	35
Şekil 3.6. <i>Asphodeline taurica</i> türünün gövdesinden selüloz izolasyonu.....	37
Şekil 3.7. <i>Juncus compressus</i> sapı selüloz izolasyon süreci.	38
Şekil 3.8. <i>Verbascum helianthemoides</i> gövdesinden selüloz izolasyon süreci.....	39
Şekil 4.1. <i>Festuca valesiaca</i> kök FTIR spektrumu.	45
Şekil 4.2. <i>Festuca valesiaca</i> sap FTIR spektrumu.....	47
Şekil 4.3. <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> FTIR spektrumu.....	49
Şekil 4.4. <i>Asphodeline taurica</i> FTIR spektrumu.	51
Şekil 4.5. <i>Juncus compressus</i> FTIR spektrumu.....	53
Şekil 4.6. <i>Verbascum helianthemoides</i> FTIR spektrumu.....	55
Şekil 4.7. Tez konusu tüm türlere ait liflerin FTIR spektrumu.....	57
Şekil 4.8. <i>Festuca valesiaca</i> kök selülozunun TGA grafiği.	58
Şekil 4.9. <i>Festuca valesiaca</i> sap selülozunun TGA grafiği.	59
Şekil 4.10. <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> selülozunun TGA grafiği.	60
Şekil 4.11. <i>Asphodeline taurica</i> selülozunun TGA grafiği.....	61
Şekil 4.12. <i>Juncus compressus</i> selülozunun TGA grafiği.	62
Şekil 4.13. <i>Verbascum helianthemoides</i> selülozunun TGA grafiği.....	63
Şekil 4.14. <i>Festuca valesiaca</i> kök selüloz lifleri XRD grafiği.	65
Şekil 4.15. <i>Festuca valesiaca</i> türüne ait sap selüloz liflerinin XRD grafiği.....	66
Şekil 4.16. <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> selüloz liflerinin XRD grafiği.	67
Şekil 4.17. <i>Asphodeline taurica</i> türüne ait selüloz liflerinin XRD grafiği.	68
Şekil 4.18. <i>Juncus compressus</i> sap selüloz lifinin XRD grafiği.	69
Şekil 4.19. <i>Verbascum helianthemoides</i> selüloz lifinin XRD grafiği.....	70
Şekil 4.20. <i>Festuca valesiaca</i> kök selüloz liflerinin SEM görüntüleri.	72
Şekil 4.21. <i>Festuca valesiaca</i> sap selüloz liflerinin SEM görüntüleri.	73
Şekil 4.22. <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> selüloz liflerinin SEM görüntüleri.	75
Şekil 4.23. <i>Asphodeline taurica</i> selüloz liflerinin SEM görüntüleri.....	76
Şekil 4.24. <i>Juncus compressus</i> sap selüloz liflerinin SEM görüntüleri.....	78
Şekil 4.25. <i>Verbascum helianthemoides</i> liflerinin SEM görüntüleri.	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Asit/Alkali uygulaması görmüş bitki liflerine ait selüloz oranları	43
Çizelge 4.2. <i>Festuca valesiaca</i> kök FTIR spektrumu verileri	46
Çizelge 4.3. <i>Festuca valesiaca</i> sap FTIR spektrumu verileri	48
Çizelge 4.4. <i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> FTIR spektrumu verileri	50
Çizelge 4.5. <i>Asphodeline taurica</i> FTIR spektrumu verileri	52
Çizelge 4.6. <i>Juncus compressus</i> FTIR spektrumu verileri	54
Çizelge 4.7. <i>Verbascum helianthemoides</i> FTIR spektrumu verileri	56
Çizelge 4.8. Lif örneklerinin DTG verileri	64
Çizelge 4.9. Bitki türlerine ait selüloz liflerinin kristallik indeksi değerleri	71
Çizelge 4.10. Asit/Alkali uygulaması görmüş liflerde bulunan elementler.....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AKSU	Aksaray Üniversitesi Herbariumu
BC	Bakteriyel Selüloz
CNC	Selüloz Nano Kristal
CrI	Kristallik İndeksi
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTG	% Kütlenin Zamana ya da Sıcaklığa Karşı Grafiği
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GPa	Gigapascal
HAp	Hidroksiapatit
HCL	Hidroklorik Asit
MPa	Megapascal
NaClO₂	Sodyum Klorit
NaOH	Sodyum Hidroksit
nm	Nanometre
OH	Hidroksil Grubu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
subsp.	Alt Tür
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
TG	Termal Gravimetri
TGA	Termogravimetrik Analiz
XRD	X Işınları Difraktometresi
°C	Santigrat
%	Yüzde
µm	Mikrometre
α	Alfa
β	Beta
\$	Dolar

1. GİRİŞ

Selüloz yeryüzünde en çok bulunan doğal polimerdir ve çeşitli bitkilerin hücre duvarının önemli bir yapısal bileşenidir. Selüloz bitkilerin yanı sıra algler, mantarlar, bakteriler gibi çok çeşitli canlı türlerinde ve hatta tunikatlar gibi bazı deniz hayvanlarında da mevcuttur (Klemm vd., 2005). Doğanın endüstriyel amaçlarla hizmetimize sunduğu çeşitli hammaddeler arasında selüloz, çok eski zamanlardan beri önemli bir konuma sahip olmuştur. Bolluğu, bitkilerde sürekli meydana gelen fotosentez olayından kaynaklanmaktadır ve bitkiler fotosentez sonucu saf bir biçimde yaklaşık yıllık 1.5×10^{12} ton selüloz sentezleyebilir. Bu nedenle selüloz, artan talebi karşılayabilecek olan ve neredeyse tükenmez bir hammadde kaynağı olarak kabul edilmektedir (Serra vd., 2013).

Bitkiler, selülozun potansiyel ana kaynaklarıdır. Çünkü bol ve nispeten ucuzdurlar. Selülozun ana kaynağı odun özü ve pamuk lifleridir. Büyük ölçekli endüstriyel altyapılar için halihazırda bunların hasat edilmesi, işlenmesi ve çıkarılması devam etmektedir. Jüt, rami, sisal, keten, kenevir vb. gibi çok çeşitli diğer bitki materyalleri de selüloz üretimi için iyi bilinen kaynaklardır (Eichhorn vd., 2001). Bitkilerdeki hücre duvarlarının yapısını selüloz, hemiselüloz ve lignin oluşturur. Lignin kuru ağırlıkça yaklaşık %10-25 oranında bulunur ve selüloz ve hemiselüloz bileşenleri arasında bir bağlayıcı görevi görür. Bitki hücre duvarının diğer iki önemli bileşeni ise selüloz ve hemiselülozdur. Selüloz odunsu biyokütlenin kuru ağırlığının yaklaşık %35-50'sini, hemiselüloz ise %20-35'ini temsil eder (Malucelli vd., 2017).

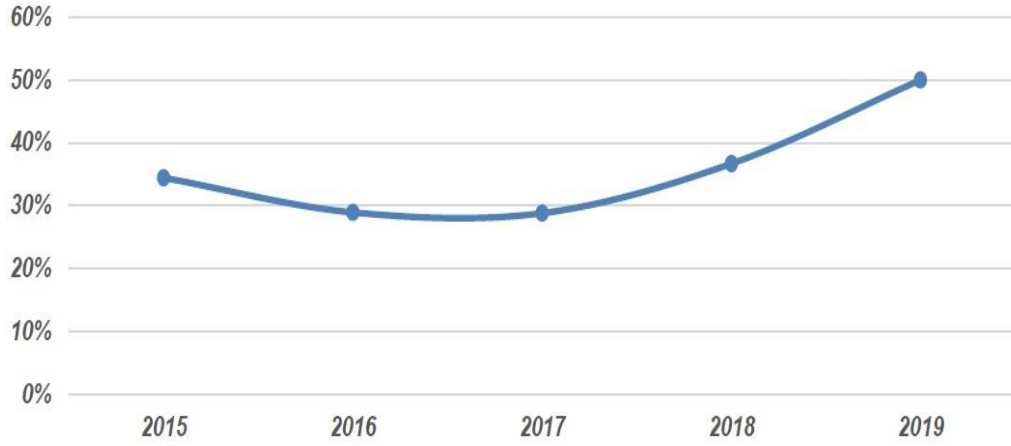
Son yıllarda, biyobozunur doğal polimerik malzemelerin yenilenebilir kaynaklara bağlı olarak tüketilmesine ilişkin araştırmalarda önemli artışlar gerçekleştirilmiştir. Bunun başlıca nedenleri petrol kaynaklarındaki azalma, ham petrole dayalı malzemelerin artan fiyatları ve en önemlisi petrol ürünlerinin yarattığı olumsuz çevresel etkiler olarak sayılabilir (Nechyporchuk vd., 2016). Bu nedenle farklı alanlarda kullanılmak üzere biyolojik olarak parçalanabilir, biyolojik olarak uyumlu, toksik olmayan selüloz ve selüloz türevlerinin alternatif hammadde kaynaklarından elde edilmesi artan bir şekilde önem kazanmıştır (Dufresne, 2013). Aslında selüloz sanayide binlerce yıldır hammadde ve ürün olarak kullanılmaktadır.

Ancak son zamanlarda, teknolojideki gelişmelerle birlikte farklı boyutlara (mikrodan nano ölçeğe) ve özelliklere sahip yeni selüloz fibrillerin üretimi ve geliştirilmesi dikkat çekici hale gelmiştir. Bu selüloz fibrillerin eczane Li vd. (2014), gıda ambalajı Jin vd. (2021), kozmetik Bianchet vd. (2020), yapıştırıcılar Tenorio-Alfonso vd. (2020), yalıtım malzemeleri Le Bras vd. (2015) ve su arıtması Klunklin vd. (2021) gibi çeşitli alanlarda kullanıldığı bildirilmiştir. Ayrıca selüloz kullanılarak geliştirilen çeşitli biyokompozit malzemeler, inşaat endüstrisi, merdiven imalatı, çatı ve taşıyıcı duvarlar ve zemin altı yapıları için önemli ölçüde iyi sonuçlarla değerlendirilmiştir (Dweib vd., 2006).

Elektronik sensörler, implantlar, hidrojeller, boyalar ve kaplamalar, kağıt ve kağıt hamuru gibi ürünler selülözün kullanıldığı diğer alanlardır (Sharma vd., 2019). Selüloz kullanılan alanlara ve ürünlere her geçen gün yenileri eklenmektedir. Bu gelişen selüloz teknolojisi ile birlikte selüloza ve selüloz kaynağına olan ilgi her geçen gün artmaktadır.

2018 yılı verilerine göre 219,53 milyar \$ değerinde olan selüloz ve selüloz türevleri selüloz pazarının 2026 yılına gelindiğinde %4.2 oranında büyüme sağlayarak 305.08 milyar \$ değerinde bir pazara ulaşması beklenmektedir (FBI, 2018). Selüloz ve türevleri 2018 yılında dünyada en çok ticareti yapılan 456'ncı ürün olarak kayıtlara geçmiştir (OEC, 2020).

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de selüloz ve türevlerine olan talep her geçen gün artmaktadır ve talebin belli bir kısmı ihracat ile karşılanmaktadır. Türkiye'de selüloz ve türevlerinin imalat sektöründe ihracatın ithalatı karşılama oranı Şekil 1.1'de verilmiştir (Dış Ticaret İstatistikleri, TÜİK, 2020).



Şekil 1.1. Türkiye selüloz ve türevleri imalatı sektör verileri.

Şekil 1.1.' e bakıldığında 2015-2019 yılları arasında Türkiye'de selüloz ve selüloz türevlerine ait ihracatın ithalatı karşılama yüzdesi yıllar geçtikçe artarak devam etmesine rağmen oranın ancak %50 seviyesine kadar ulaştığı görülmüştür. Türkiye'nin selüloz ve türevleri sektöründe kendine yeten ve ihracat eden konuma geçmesi için yeni selüloz kaynaklarına ve bu kaynakların işlenmesine ihtiyaç duymaktadır. Türkiye'deki selüloz ve türevlerine ait son 5 yıldaki ithalat miktarı Çizelge 1.2'de verilmiştir (Dış Ticaret İstatistikleri, TÜİK, 2020).



Şekil 1.2. Türkiye selüloz ve türevleri imalatı ithalat miktarı ve değeri.

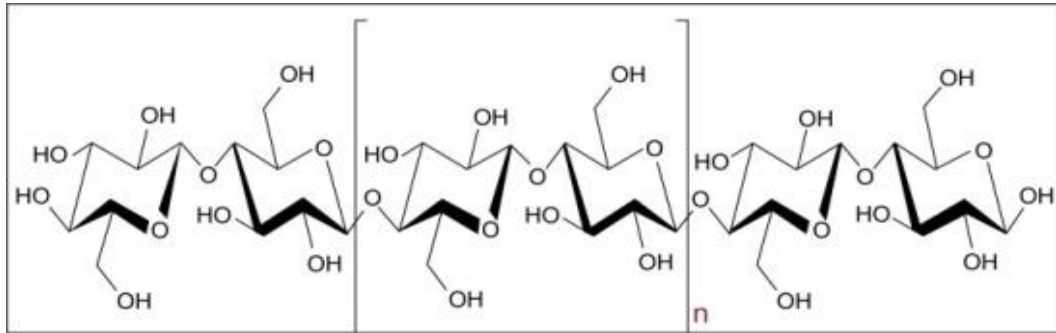
Şekil 1.2 incelendiğinde Türkiye selüloz ve türevleri imalatı sektörüne ait son 5 yıldaki ithalat miktarı ve değeri incelendiğinde 2015 yılında 150 milyon dolar değerinde yapılan ithalatın gitgide artarak 2018 yılında 178 milyon dolarlık değerinde 44.613 tonluk seviyeye çıktığı görülmektedir. Bu durum selüloz ve

türevleri bakımından hem Türkiye’ deki talebin arttığını göstermekte ayrıca var olan cari açığımızı olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymaktadır bu durum ülkemiz için kolay erişilebilir ve sürdürülebilir bir şekilde yeni lignoselülozik kaynakların araştırılmasını gerekliliğini ortaya koymaktadır.

1.1 Selülozun Yapısı ve Kimyası

Selüloz, bir uçta bir d-glukoz biriminden ve indirgeyici olmayan uç olan bir C₄-OH grubundan oluşurken, sonlandırma grubu aldehit yapılı indirgeyici uç olan C₁-OH' grubudur. Ağartılmış odun hamuru gibi bazı selülozlar ekstra karbonil ve karboksi grupları içerirler. Selülozun moleküler yapısındaki donör grup-OH'den gelen yüksek reaktivite nedeniyle kiralite, hidrofiliklik, bozunabilirlik ve kimyasal değişkenlik gibi önemli özelliklere sahiptir. Hidrojen bağları, selüloza kristal lif yapıları ekler.

Selüloz (C₆H₁₀O₅)_n gezegendeki en yaygın organik polimerlerden biridir. Yeşil bitkilerin, çeşitli alglerin ve oomycetes türlerinin birincil hücre duvarının önemli bir yapısal bileşenidir. Birkaç yüz ila binlerce β-(1→4) bağlı d-glikoz biriminden oluşan doğrusal bir zincirden oluşan bir polisakkarittir. Selülozun yapısı C₂, C₃ ve C₆'da β-1,4-glukan selülozun hidroksil gruplarından oluşur. β-(1-4) glikozitik bağlarla kovalent olarak bağlanmış β-D-glikopiranoz birimlerinden oluşan doğrusal bir polimer olan selülozun kimyasal yapısı Şekil 1.3’te verilmiştir (Habibi vd., 2010).

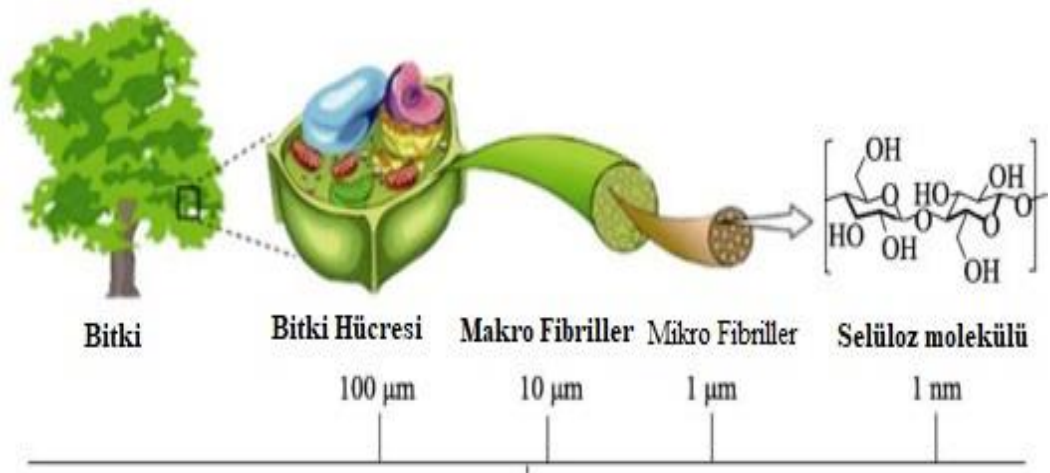


Şekil 1.3. Selülozun kimyasal yapısı.

Selüloz, uzun zincirli ayrı moleküller olarak sentezlenir, ancak selüloz liflerinden oluşan düzenekler oluşturmak için selüloz biyosentezi hiyerarşik bir sırayla gerçekleşir. Birçok ayrı selüloz zinciri, yaklaşık 3.5 nm'lik bir çapa sahip olan temel fibriller (protofibriller) oluşturmak için bir araya gelir.

Kaynağa bağlı olarak, temel fibrillerin çapı 2–20 nm aralığında değişebilir ve biyosentezi yöneten koşullara bağlı olarak farklı paketlenme düzenlemelerinde bulunurlar. Mikro fibriller, yüzeylerin serbest enerjisini azaltmak için bir mekanizma olarak kullanılan birleşme ile temel fibrillerin toplanmasıyla oluşturulur. Bu kümelenme van der Waals kuvvetleri ve moleküller arası hidrojen bağları tarafından desteklenir. Mikro fibriller oluşturmak üzere toplanan selüloz molekülleri, kaynağa bağlı olarak farklı yönelimlere sahiptir. Mikro fibriller amorf bölgeleri oluşturan bazı daha az düzenli zincirlerle birlikte karmaşık ve güçlü hidrojen bağları ile stabilize edilen kristalitler oluşturan sıkı bir şekilde paketlenmiş selüloz zincirlerinden oluşur. Moleküller arası ve molekül içi etkileşimlere ve mevcut moleküler yönelimlere bağlı olarak, selüloz farklı polimorflar veya allomorflar olarak var olabilir. Selülozun polimorf yapısı glikoz birimlerinin I, II, III_I, III_{II}, IV_I ve IV_{II} dizilimlerine göre ve selülozun kaynağına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Doğal selüloz genellikle selüloz I'in kristal yapısına sahiptir, ancak yine I_α ve I_β allomorflarına bölünmüştür. Selüloz I_α, triklinik bir yapıya sahipken, I_β monoklinik bir kristal yapıya sahiptir.

Mikrobiyal ve alg kaynaklarından elde edilen selüloz I_α bakımından zengindir, yüksek bitkilerin hücre duvarlarını oluşturan selüloz ise I_β bakımından zengindir. Bu mikro fibriller, makro fibriller adı verilen daha büyük birimler halinde bir araya gelir ve daha sonra, selüloz liflerini oluştururlar (George ve Sabapathi, 2015). Yüksek bitkilerin hücre duvarlarını oluşturan selülozun hiyerarşik yapısı Joseph vd. (2020)'den uyarlanarak Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Yüksek bitkilerin hücre duvarlarını oluşturan selülozun hiyerarşik yapısı.

1.2 Selüloz Uygulamaları

Selüloz, yeşil bitkiler, birkaç alg ve oomisetlerin birincil hücre duvarının önemli bir yapısal bileşeni olduğu için en zengin bulunan organik polimerdir. Selüloz, pamuk (%90), ahşap (%50) ve kurutulmuş kenevir (%57) gibi sık kullanılan malzemelerde büyük miktarlarda bulunur. Çeşitli alanlarda çok sayıda uygulaması vardır, ancak en sık kağıt ve karton imalatında veya selofan ve suni ipek gibi türev ürünlerde kullanılır. Aynı zamanda pamuktan veya ketenden yapılan tekstillerin de önemli bir bileşenidir. Ayrıca, ilaç endüstrisinde toz selüloz ve mikrokristalin selüloz formunda ilaçlarda aktif olmayan dolgu maddeleri olarak kullanımı görülmektedir. Ancak selülozun en önemli kullanım alanlarından biri biyoyakıt üretiminde ve gıda endüstrisindedir. Bu, aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır (Ang vd., 2012).

1.2.1 Yenilenebilir enerjide selüloz kullanımı

1.2.1.1 Biyoyakıt

Teknolojik gelişmelerin ve insanların ihtiyaçlarının katlanarak artmasıyla birleşen dünya nüfusundaki ciddi artış, fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Böyle bir saatte sürdürülebilir kalkınma terimi devreye girmektedir. Sürdürülebilir bir şekilde gelişmek için daha temiz, yeşil ve daha uygun maliyetli bir yakıtla geçmek önemlidir. Böyle bir alternatif, selülozdan türetilen biyoyakıttır. Biyoyakıt kullanmanın çok sayıda avantajı vardır, bunlardan ilki ve en önemlisi uygun maliyetli olmasıdır. Son çalışmalar, talep artışı nedeniyle, etanol maliyetinin benzin ve dizelden daha düşük olması nedeniyle biyoyakıt maliyetinin düştüğünü göstermiştir. Ayrıca, karbon emisyonunda da önemli bir azalma vardır. Selüloz çok yaygın olduğu için biyoyakıt için ham madde olabilme özelliği taşımaktadır.

Selülozdan elde edilen etanol biyoyakıt üretiminde alternatif bir substrat olarak kullanılmaktadır. Diğer kaynaklara göre yüksek enerji verimliliği ve düşük maliyeti nedeniyle üstün bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Yeşil bitkilerin saplarında, yapraklarında ve gövdelerinde bol miktarda bulunduğu için, bu yenilenebilir enerji için çok iyi bir kaynaktır. Etanol için diğer kaynaklar arasında buğday samanı, pirinç samanı, talaş, orman seyreltme ve otlar çok yıllık otlarda dahil olmak üzere

hammadeler yer alır. Selüloz, mantar kullanılarak fermente edilebilir şekerlere parçalanabilir (Rosa vd., 2012).

1.2.2 Sarf malzemelerinde selüloz kullanımı

Selüloz, ilaç ve gıda teknolojisi alanında sayısız uygulamaya sahiptir. Selülozun yapısını diğer kimyasal gruplarla değiştirmek, daha iyi biyouyumluluk, esneklik, stabilite, emülsifiye edici etkilere sahip yapıların üretilmesiyle sonuçlanır. Ayrıca, selüloz insanlar tarafından sindirilemez, sıfır kalorifik değere sahip olma eğilimindedir ve bu nedenle çeşitli amaçlara hizmet etmek için gıdalara eklenebilir. Hidroksipropil metilselüloz, sodyum karboksimetil selüloz, hidroksietil selüloz ve diğerleri gibi bileşikler, ilaç endüstrisinde ve gıda teknolojisi endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kumar Gupta vd., 2019). Bu kullanımlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

1.2.2.1 Hidroksipropil metilselüloz

Hidroksipropil metilselüloz yalnızca güvenli ve toksik olmadığı için değil, aynı zamanda ağız yoluyla alınmadığı ve gıdaların enerjisini yükseltmediği için ilaç endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok dozaj formunda film oluşturu bir ajan, koyulaştırıcı, bloke edici, sürekli salım ajanı, harmanlayıcı ajan ve süspanse edici ajan olarak kullanılır, böylece sürekli olarak ayırık, sürekli salım etkileri nedeniyle zarar görmeden sert veya sabit olarak çok sayıda farmasötik preparat oluştururlar. Tabakalaşma olmadan emülsiyon. Matriks, yapıştırıcılar, çerçeve bileşenleri, film oluşturma materyali veya sürekli veya kontrollü salımlı mikrokapsüller ve peletlerin oluşturulmasında düzenli olarak kullanılmaktadır (De Silva ve Olver, 2005).

1.2.2.2 Sodyum karboksimetil selüloz

Yara enfeksiyonlarını kontrol etmede etkili olduğu kanıtlanan ve postoperatif ödem ve yara stimülasyon fenomenlerini azaltabilen enjeksiyonlarda, yapışmada ve film oluşturan malzemelerde emülsiyon stabilizatörü olarak kullanılır. Hayvan deneyleri, sodyum karboksimetil selülozun antikanser ilaçlarının güvenli ve güvenilir bir taşıyıcısı olduğunu göstermiştir (Kumar Gupta vd., 2019).

1.2.2.3 Hidroksietil selüloz

Dondurma, donmuş sütlü içeceklerde, depolama ömrünü uzatmak ve taşma özelliğini geliştirmek için stabilizatör olarak eklenir. Bira köpüğünün stabilizatörü olarak da kullanılır (Kumar Gupta vd., 2019).

1.2.2.4 Yiyecek

Eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri ve sudaki davranışı nedeniyle, günümüzde gıdanın lezzeti üzerinde büyük bir etkisi olmaksızın gıdaların yığın ve lif içeriğini iyileştirmek için bir gıda katkı maddesi olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. İnsanlar tarafından sindirilemediği için kalori değeri yoktur ve bu nedenle çok fazla kalori tüketilmeden hem fiziksel hem de fizyolojik bir tokluk hissi yaratmak için diyet gıdalarında aşırı miktarlarda kullanılır. Ayrıca krem şanti, soslar ve dondurmada bir emülgatör ve koyulaştırıcı bir madde olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Dhingra vd., 2012).

1.2.3 Selülozun biyomedikal ve farmasötik uygulamaları

Selüloz, bu yazının önceki bölümlerinde tartışıldığı gibi özellikleriyle, biyotıp ve farmasötik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok farmasötik ürünün maliyeti, yüksek maliyet, malzeme teminindeki zorluk, karmaşık işleme aşamaları vb. üretim faktörleri nedeniyle son derece yüksektir. Bu problemler, doğada bol miktarda bulunan selüloz kullanımı ile giderilebilir. Selülozun en verimli kullanımı, şeker üretim endüstrisi gibi birçok endüstri tarafından toplu olarak ve küçük miktarlarda haneler tarafından üretilen bitki bazlı atık maddelerin kullanılması olacaktır (Kumar Gupta vd., 2019).

1.2.3.1 Katı dozaj formlarının kaplanması selüloz ve sıkıştırılabilirlik arttırıcılar

Haplar, tabletler, granüller, peletler, mikrokapsüller ve küreler dahil olmak üzere katı dozaj formları, genellikle ilacı nem, oksijen, enzimatik veya asidik bozunma gibi olumsuz çevresel faktörlerden korumak amacıyla kaplanabilir. Kaplama, gecikmeli salım, uzatılmış salım, adım adım salım, pulsatil salım ve sürekli salım gibi değiştirilmiş salım mekanizmalarına sahip ilaç salım sistemlerini kolaylaştırmak için

de kullanılabilir. Esterler ve eterler gibi selüloz türevleri de kaplama malzemeleri olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğrudan sıkıştırma ile katı dozaj formunun imalatı sürecinde, sıklıkla ortaya çıkan bir problem ilacın düşük sıkıştırılabilirliğidir, bu, formülasyondaki ilaç miktarı %30'u aştığında daha sık görülür (Vanhatalo K, 2017).

1.2.3.2 İlaç dağıtımında selüloz

Yeni ilaç dağıtım sistemlerinin ortaya çıkışından itibaren, selüloz bazlı modeller, öngörülen faydaları nedeniyle güçlü adaylar gibi görünüyordu. O zamandan beri, kullanımını ortak uygulamaya getirmek amacıyla çeşitli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu gerçeğe dönüşmeden önce aşılması gereken birçok engel vardır.

Selüloz bazlı ilaç dağıtımı, ilaçlar ve ilaç dağıtım sistemleri ile ilgili olarak toksisite azaltma, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve daha az tehlikeli senteze odaklanan yeşil ve sürdürülebilir eczacılıkta önemli bir adımdır. Burada kullanıldığı temel yollara ilişkin çok kısa bir genel bakış sunulmaktadır. Selüloz nanokristalleri (CNC'ler), hidroliz sırasında negatif bir yük edinme potansiyeline sahiptir. Bu, geniş yüzey alanlarıyla birleştiğinde tetrasiklin ve doksorubisin gibi iyonlaşabilen ilaçları bağlamalarına izin vererek optimum doz kontrolüne izin verir. Çoklu kimyasallar için yüzey modifikasyonu alanları, çok sayıda yüzey hidroksil grubu tarafından sağlanır. Bu, genellikle selüloza bağlanmayan iyonize olmayan veya hidrofobik ilaçlar durumunda kullanılır.

CNC bazlı aerogellerin açık gözenek yapısı ve yüksek yüzey alanı, artan ilaç yükleme kapasitesi ve ilaç biyoyararlanımı sağlar. Son derece gözenekli aerogel yapı iskelelerinin sürekli ilaç salımı sağladığı bildirilmiştir (George ve Sabapathi, 2015).

Selüloz türevleri de ilaç dağıtımı açısından araştırılmıştır. Örneğin, selüloz asetat, diğerleri arasında birkaç HIV ilacında, beş flavonoidde, bir ağrı kesicide ve iki antibiyotikte başarıyla kullanılmıştır. Hidroksipropil metilselüloz, oral ilaç dağıtım formülasyonlarında kullanılmıştır (de Oliveira Barud vd., 2021).

1.2.3.3 İskelelerde selüloz

İskeleler, hücrelerin çoğalması, göç etmesi ve farklılaşması için gerekli olan mikro ortamı sağlayarak tıbbi amaçlar için yeni fonksiyonel dokuların oluşumuna katkıda bulunmak üzere arzu edilen hücresel etkileşimlere neden olmak üzere tasarlanmış malzemelerdir. Hücre bağlanmasını sağlamak için geometrik temele ve yapı taşlarına katkıda bulunur. *Gluconacetobacter xylinus* kaynaklı nanoselüloz, bu amaç için ortaya çıkan bir biyomateryaldir. Bakteriyel nanoselüloz, su için çok yüksek bir afiniteye sahiptir ve bu nedenle, konak hücreler için ideal bir ortam sağlayan hidrojenlerinkine benzer özellikler gösterir. Çalışmalar, insan düz kas hücrelerinin, kemik oluşturan osteoblastlar ve fibroblastların ve insan embriyonik böbrek hücrelerinin, bakteriyel selüloz yapı iskelelerinin varlığında büyüyebileceğini doğrulamıştır. Bu iskelelerin üretimindeki ana zorluk, selülozu parçalamak için gerekli olan enzim olan selüloz insanlarda bulunmadığından biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi görünmektedir. Bu özelliğin periyodat oksidasyonu ile artırıldığı rapor edilmiştir (Jorfi ve Foster, 2015).

1.2.3.4 Biyomedikal implantlarda selüloz

Biyomedikal implantlarda selüloz fizyolojik koşullar altında spesifik olarak bozunmaz ve biyouyumlu olduğu gösterilmiştir. Bu özellikler ayrıca, bu alanda uygulama için heyecan verici bir aday olmasını sağlayan dayanıklı mekanik özellikler ve uzun vadeli kimyasal stabilite sağlar.

Kardiyovasküler implantlar: Bakteriyel selüloz, yapay kan damarlarında önemli bir uygulamaya sahiptir. Genellikle damar greftleri için kullanılan materyale göre bu materyaller daha az tromboz ve oklüzyon gösterir. Antikoagülan özelliklere sahip heparin hibritleştirilmiş bakteriyel nanoselüloz yapı iskeleleri, vasküler doku mühendisliğinde potansiyel kullanıma sahiptir. Kalp kapağı replasmanlarının üretiminde bakteriyel selülozun potansiyel kullanımı araştırılmıştır (Courtenay vd., 2017).

Kemik ve bağ dokusu onarımı: Nanoselüloz, osteoblastlar ve kondroblastlar dahil olmak üzere çeşitli hücrelerin kültürü için umut verici materyallerdir ve bu, kemik dokusu rejenerasyonu ve iyileşmesi için potansiyele sahip olduklarını

gösterir. Potansiyel kemik rejenerasyonu için biyomateryal olarak BC ve hidroksiapatitten oluşan bir membran geliştirildi, bu da osteoblast hücrelerinin eğilimli büyümesi, yüksek düzeyde alkalın fosfataz aktivitesi ve daha fazla kemik nodülü oluşumu sağladı. Hidroksiapatitten oluşan kristallerinin kısmen doğal kemiklere benzeyen karbonatla ikame edildiği de bulunmuştur (Modulevsky vd., 2016).

1.3 Lignoselülozik Materyallerden Selüloz İzolasyon Yöntemleri

Genel olarak fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal ve biyolojik izolasyon yöntemleri olarak kategorize edilebilen lignoselülozik malzemeler için çalışılan çok sayıda izolasyon yöntemi vardır (R. C. Sharma vd., 2017). Lignoselülozik malzemelerin izolasyonu genellikle öğütme veya ufalama gibi mekanik işlemlerle başlar (Soccol vd., 2019). Bununla birlikte, partikül boyutu 40 mesh'den daha ince olduğu için hidroliz verimi ve hidroliz hızı yükseldiği için önemli enerji tasarrufu sağlar (Hendriks ve Zeeman, 2009). Lignoselülozik materyallerde bulunan lignin ve hemiselülozun çözünürlüğünü artırmak için alkali ve asit yöntemleri uygulanmaktadır (Hendriks ve Zeeman, 2009). Seyreltilmiş asit yöntemi, yüksek oranda hemiselüloz geri elde edinimi, enzim kullanım miktarında azalmayı sağlaması ayrıca ekonomik olması sebepleri ile büyük ölçekli üretim yapan tesislerde en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir (López-Linares vd., 2020). Seyreltilmiş asit uygulaması ile alkali uygulaması karşılaştırıldığında ise alkali uygulaması lignin-karbonhidrat arasında bulunan bağlarını kopararak ligninin lignoselülozik malzemedan uzaklaşmasını sağlar (Carrere vd., 2016).

Selülozun kristal yapısını azaltabilen ve lignin ve hemiselülozu çözündürebilen iyonik sıvı veya solvent bazlı çalışmalar yakın zamanda çalışılmıştır. Lignoselülozlar 120 °C'de N-metilmorfolin-N-oksit içinde çözöldüğünde enzimatik hidroliz oranın çam ve karaağaç için sırasıyla %57 ve %164 oranında artığı ayrıca etanol veriminin de arttığı gözlemlenmiştir. Lignin ve hemiselüloz 150-180 °C gibi yüksek sıcaklıklarda çözünmeye başlar ve bu nedenle termal işlemler bazen alkali ve asit uygulamaları ile birlikte uygulanır (Hendriks ve Zeeman, 2009).

Buhar patlaması yöntemi biyokütleyi 160 ila 260 °C arasındaki sıcaklıkta yüksek basınçlı buhara maruz bırakır ve biyokütledaki buharlaşan su moleküllerinden dolayı

basınç aniden azalır ve bu süreçte lignoselülozik materyalden lifler elde edilir (Cheng ve Whang, 2022). Buhar patlaması, sıvı yakıtların üretiminde büyük ölçüde uygulanmaktadır (Padella vd., 2019). Ancak bu yöntem hidrotermal özelliği ile çevre dostu olduğu kadar enerji tüketir.

Yukarıda sözü edilen yöntemlerin birlikte kullanılması, örneğin asit muamelesi sonrası alkali muamelesi, termal asit/alkali ön muamelesi, vb. gibi yöntemlerin birlikte kullanılmasının en verimli yöntemler olduğu kabul edilmektedir (Cheng ve Whang, 2022).

Bu doktora tezinde lignoselülozik materyaller olan bitki türlerine selüloz izolasyonu asit muamelesini takiben alkali muamelesi ile gerçekleştirilmiştir.

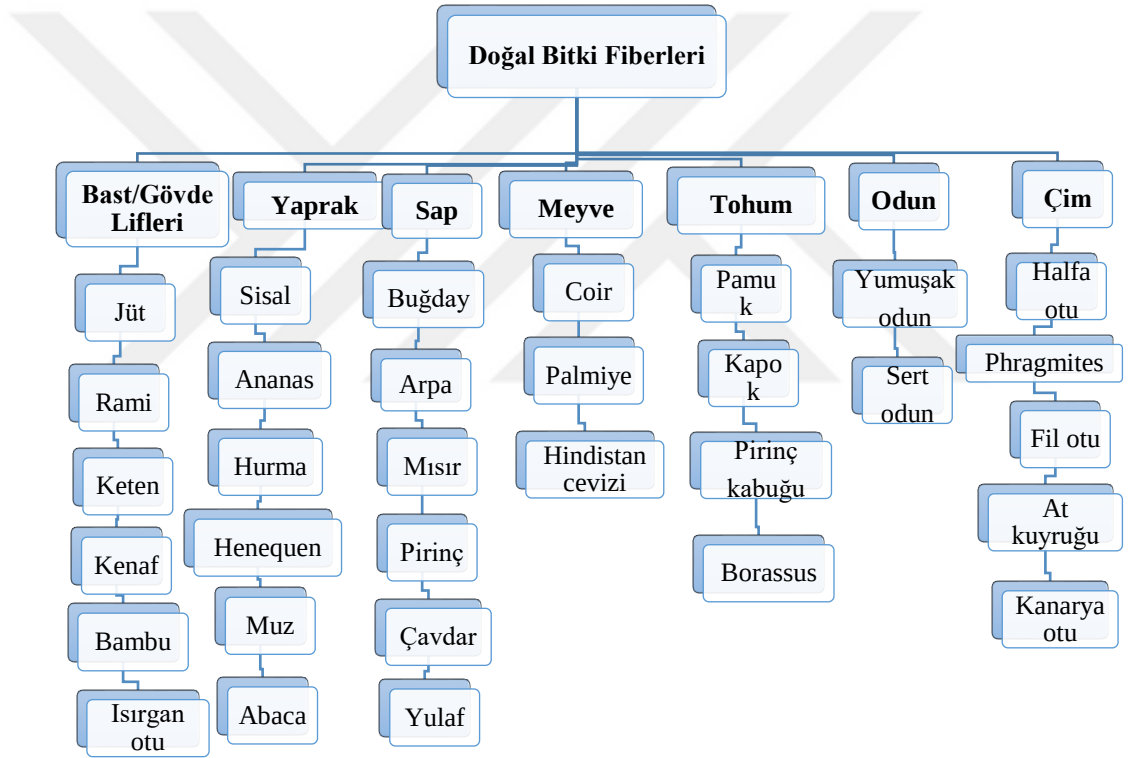
1.4 Bitki Lifleri

Bitkilerden çıkarılan lifler, bir tür yenilenebilir kaynak ve polimer bazlı malzemeler için yeni nesil takviyelerdir. Bu lifler yenilenebilir, ucuz, tamamen veya kısmen geri dönüştürülebilir, biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostu malzemelerdir. Uygunlukları, düşük yoğunlukları ve fiyatlarının yanı sıra tatmin edici mekanik özellikleri, onları cam, karbon ve diğer suni elyaflar için çekici alternatif takviyeler haline getirir. Doğal lifler bitkilerden elde edilen, binlerce yıldır kullanılan doğal olarak mevcut olan kaynaklardır. Zayıf ıslanabilirlik, zayıf bağlanma ve elyaf/matris arayüzünde bozulma ve üretim sürecinde elyafın zarar görmesi gibi faktörler, bitki lifi takviyeli kompozitlerin mukavemetinin azalmasının ana nedenleridir. Bu nedenle bitki lifleri boyut olarak homojen değildir ve lif kökeni gibi tür çalışması ne olursa olsun çeşitli parametrelerdeki farklılıklar nedeniyle malzeme takviyesi için kullanıldıklarında farklı bileşen ölçekleri hesaba katılmalıdır. Örneğin lifin bir kısmı gövde, bitkinin büyüme koşulları ve lifleri çıkarma işlemi vb. Bir lifin yüzeyinde ve hacminde birçok kusur bulunurken, diğerleri bitkinin büyümesi sırasında üretilir. Dekortikasyon işlemi de kusurlara (diz, yay ve çıkık) neden olabilir. Bu kusurlar, elyaf uzunluğu boyunca heterojen bir şekilde dağılır ve mekanik mukavemet ve kopmaya karşı dirençte önemli bir rol oynayabilir. Bu kusurların oluşmasını önlemek için, tüm lignoselülozik işleme prosedürünün mekanik takviye için kullanılması amaçlanan liflerin boyutsal özellikleri üzerindeki etkisini anlamak esastır (Ramesh vd., 2017).

Bitki lif kalitesini çeşitli aşamalarda etkileyen faktörler bulunmaktadır. Bitkinin türü, bitkinin yetiştiği yerel iklim koşulları, lifin bitkinin hangi kısmından çıkarıldığı, bitkinin hücre duvar kalınlığı, liflerin çapı ve uzunluğu, bitki lifinin yaşı, liflerin depolanma koşulları, lif çıkarmada uygulanan yöntemler vb. faktörler lif kalitesini etkileyebilmektedir (Dittenber ve Gangarao, 2012).

1.4.1 Bitkisel liflerin sınıflandırılması

Bitki lifleri farklı kökenlerine ve bitki türevlerine göre kategorilere ayrılır Şekil 1.5'te bitki temellerin liflerin sınıflandırılması yapılmıştır (Prem Kumar vd., 2022; Ramesh vd., 2017).



Şekil 1.5. Doğal bitki liflerinin sınıflandırılması.

1.4.1.1 Bast/Gövde lifi

Bast veya gövde lifleri genellikle bitki gövdelerinin en dış kısmından ayrılır. Lif örnekleri jüt, keten, abaca, kenevir, rami, muz, soya fasulyesi ve kenaf'tır. Bu lifler yüksek mekanik mukavemete sahip uzun lifler, sak liflerinin tipik özellikleridir bu nedenle geleneksel olarak çanta, perde, iplik, tekstil, ip, çuval vb. yapımında kullanılırlar.

1.4.1.2 Yaprak lifi

Bitkinin yaprağından dövölme/çürölme işleminde sonra elle kazıma veya mekanik ekstraksiyon ile elde edilen kaba ve sert liflere yaprak lifleri denir. Nispeten yüksek mukavemeti nedeniyle, bu lifler esas olarak dokuma halatlar, kumaşlar, halılar, hasırlar, vb. yapımında kullanılır. Tipik yaprak lifleri ananas yaprağı lifi, sisal, caroa, harakeke, henequen, palmiye, agav vb. dir.

1.4.1.3 Meyve/Tohum lifi

Bu lifler, ilgili meyvenin dış kabuğundan elde edilmiştir ve hindistan cevizi kabuğundan ekstrakte edilen bu türün en iyi örneğı hindistan cevizi lifidir. Bu lifler hafif ve güçlüdür, esas olarak halat, hasır, çuval, fırça, jeotekstil vb. imalatında kullanılır. Belirli bitki tohumlarının kozasından veya kozasından üretilen diğler tohum lifleri türleri yumuşaklığı ve yüzdürme özelliğinden dolayı ağırlıklı olarak tekstil, su güvenlik ekipmanları, yalıtım malzemeleri, döşemelik ve yatak ürünlerinde kullanılan borassus meyvesi lifi, pamuk, kapok, pirinç kabuğı ve sütlü ot ipi bu tür liflere örnektir.

1.4.1.4 Sap lifi

Bu lifler bitki saplarından elde edilir ve genellikle mısır, şeker kamışı, mısır, patlıcan, ayçiçeğı, odun gibi bitkilerden ve arpa, buğday, pirinç vb. çeşitli mahsullerin samanlarından elde edilir. Bazı sap lifleri kağıt ve karton endüstrilerinde kullanılmıştır.

1.4.1.5 Kamış/Çim lifleri

Bu lifler, çavdar otu, fil otu, şalgam otu ve bambu bitkileri gibi uzun otlardan elde edildi. Ayrıca, küspe, esparto, sakei, phragmites, communis, kanarya otu, yılan otu vb. lifli mahsul artıkları, çimento esaslı kompozitlerde esas olarak lif takviyesi olarak kullanılabilir.

1.4.1.6 Ağaç lifleri

Odun lifleri çeşitli ağaç türlerinden elde edilir. Odun lifleri yaygın olarak yumuşak ağaç ve sert ağaç olmak üzere iki türe ayrılır. Bu iki tip arasındaki temel fark,

yumuşak ağaç liflerinin genellikle sert ağaç liflerinden daha uzun olmasıdır. Öte yandan, bu lifler, bağ geliştirme ve alkali muamelesi vb. gibi özel niteliklerle endüstriyel olarak işlenir. Ayrıca, bu liflerin kontrollü üretim süreçleri, işlenmemiş bitki bazlı liflerle ilişkili boyutsal kararlılık ve mekanik özelliklerdeki büyük değişkenliğini önemli ölçüde azalır.

1.5 Bitki Liflerinin Avantajları

Prem Kumar vd., (2022)'e göre bitki liflerinin avantajları aşağıdaki gibidir.

- Çevre dostu
- Tamamen biyolojik olarak parçalanabilir
- Toksik olmayan
- Kullanımı kolay
- İşleme ve kullanım sırasında aşındırıcı olmayan
- Düşük yoğunluklu/hafif
- Kırsal/tarım topluluğu için gelir kaynağı
- Isı ve gürültüye karşı iyi yalıtım
- Yenilenebilir, bol ve sürekli hammadde temini
- Düşük maliyetli
- Gelişmiş enerji geri kazanımı
- Sağlık tehlikesi içermez (cilt tahrişine neden olmaz)
- Kabul edilebilir spesifik mukavemet özellikleri
- İyi termal özellikler
- Azaltılmış dermal ve solunum tahrişi
- Ayrılma kolaylığı

Doğal liflerin aşındırıcı doğası, işleme teknikleri ve geri dönüşüm açısından avantajlar sunan cam liflerine kıyasla çok daha düşüktür (Salit, 2014).

1.6 Bitki Liflerinin Dezavantajları

- Hidrofobik polimer matris ile zayıf uyumluluk
- Lifler uzun süre depolandıktan sonra bozulur
- Doğal yüksek nem emilimi
- Nispeten yüksek nem emilimi
- İşleme sırasında agrega oluşturma eğilimi
- Neme karşı düşük direnç
- Düşük termal kararlılık
- Higroskopiklik (Salit, 2014).

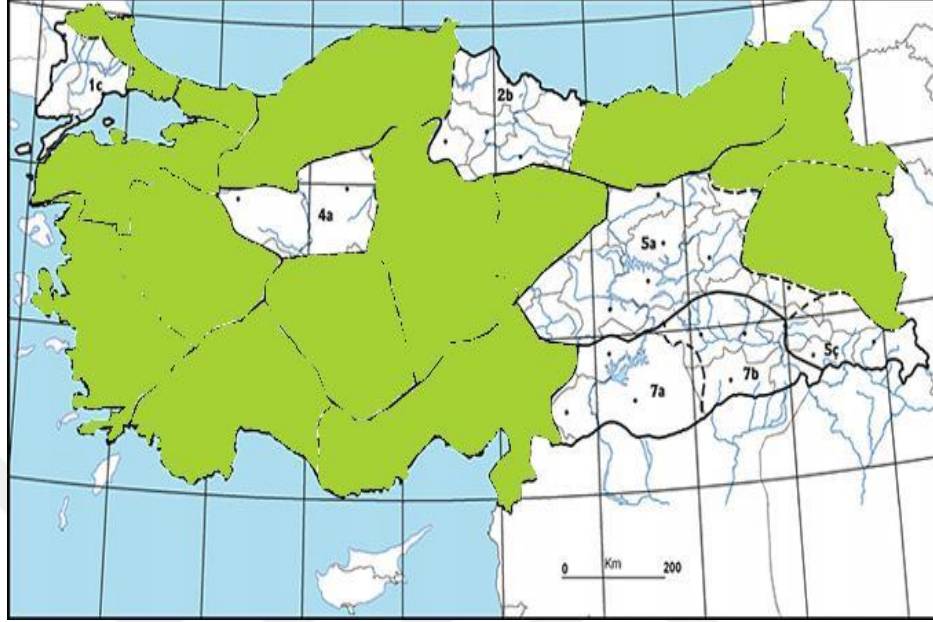
1.7 Lif Elde Edilecek Bitkiler ve Genel Özellikleri

1.7.1 *Festuca valesiaca* L.

Poaceae ailesinden olup dünya da yaklaşık 450 civarında tür ile temsil edilen *Festuca* cinsi, çayır-meralar ve yeşil alanlarda büyük bir yayılım alanına sahip olan *Festuca* cinsi ılıman ve serin bölgeler de dağılım göstermektedir ve *Festuca* L. Antartika kıtası dışında her kıtada yetişebilen ve kozmopolitan bir dağılım gösteren yem bitkisi topluluğudur (Hoover vd., 1948). Türkiye’de ise 52 takson ülkemiz florasında doğal olarak bulunmaktadır (Güner vd., 2012). *Festuca* türleri yapı ve gelişim bakımından birbirlerinden oldukça farklılık göstermektedir. Bazıları tek yıllık, bazıları çok yıllık, kısa boylu ve uzun boylu bitki gruplarını içermektedir. Çoğu yumak oluşturarak gelişimini devam ettirmektedir. Habitus bakımından da yatık yarı yatık ve dik formları, kaliteli ot verenler ve kabalaşan çeşitleri de mevcuttur. Özellikle çok yıllık olan *Festuca* türleridiğer ülkelerde olduğu gibi ülkemiz yem bitkileri tarımı ve meralar için oldukça önemlidir.

Festuca valesiaca türü 20-60 cm boylanabilen bitki rengi mat ve maviye dönük yeşil renkte ve ince yapraklara sahip bir türdür. Salkım boyu 3-10 cm ve her başakçıkta

3-8 adet çiçek ihtiva etmektedir (Clayton vd., 2006). Bitkinin genel dağılımı Orta ve Güney Avrupa, Balkanlar, Kuzey, Orta ve Güney Rusya, Orta Asya ve Moğolistan olarak bilinirken ülkemizdeki dağılımı ise Şekil 1.6'da verilmiştir (URL-1).



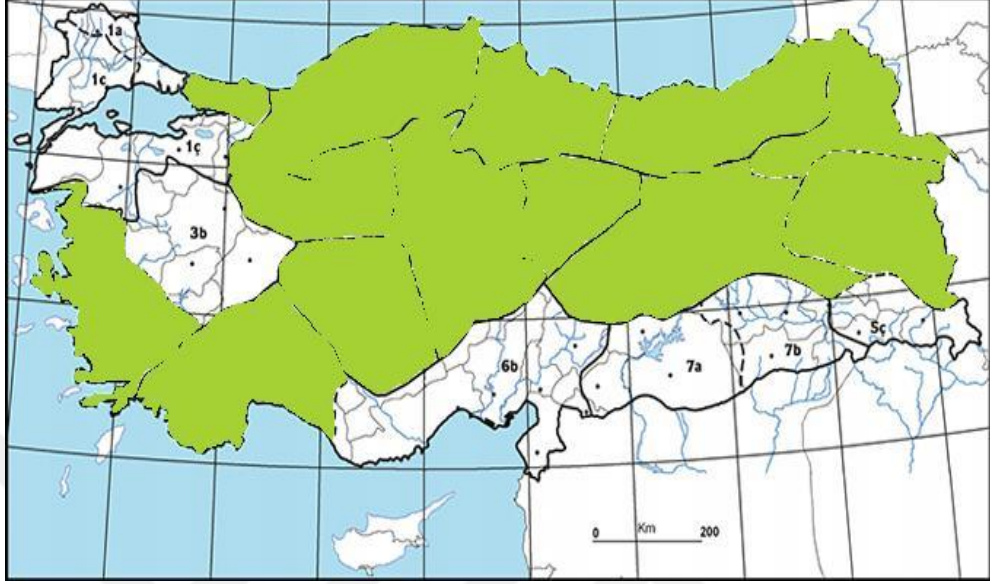
Şekil 1.6. *Festuca valesiaca* türünün Türkiye'deki yayılış alanı.

1.7.2 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* (Martinovsky) Tzvelev

Poaceae ailesinden olan *Stipa* cinsi, bitki örtüsünün önemli bileşenleridir ve genellikle ovalardan alpin kuşağına kadar kuru habitatların baskın çimidir (Freitag 1985). Bu otlar geleneksel olarak kağıt üretiminde kullanılmıştır (*S. tenacissima* L.). *Stipa* türleri yüksek rejenerasyon yetenekleri, otlatmaya karşı dirençleri ve besleyici özellikleri nedeniyle mera bitkisi olarak önemli bir yere sahip bitkilerdir. *Stipa* cinsi Antarktika hariç tüm dünyada yayılış gösteren yaklaşık 21 cins Romaschenko vd. (2010) ve 400-600 arasında tür bulundurur (Barkworth vd. 2008; Romaschenko vd., 2007, 2010; Cialdella vd., 2010). Türkiye'de ise *Stipa* cinsine ait 20 tür bulunmaktadır Güner vd. (2012) ve bu türler Türkiye meralarında geniş yayılışlara sahiptirler.

Stipa pulcherrima subsp. *epilosa* türü kümeler ve öbekler halinde çok yıllık. Gövde 100 cm'ye kadar, tepeye doğru tüysüz veya tüylü. Yaprak ayası 2-5 mm genişliğinde, kıvrık, altta pürüzsüz veya pürüzlü, üstte pürüzlü. Bileşik salkımlı çiçek durumu uzun, dar, büzülmüş, 6-9 cm. Meralar içinde geniş yayılışa sahip gösterişli

bitkilerdir. *Epilosa* alttürünün gövde yaprakları daha dardır; uzunluk 15-20 mm; bitkiler daha az sağlam yapıdadır (Davis vd., 1988a). *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* türünün Türkiye’deki yayılış alanı Şekil 1.7’de verilmiştir (URL-2).



Şekil 1.7. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* türünün Türkiye’deki yayılış alanları.

1.7.3 *Asphodeline taurica* (Pall. Ex M. Bieb) Endl.

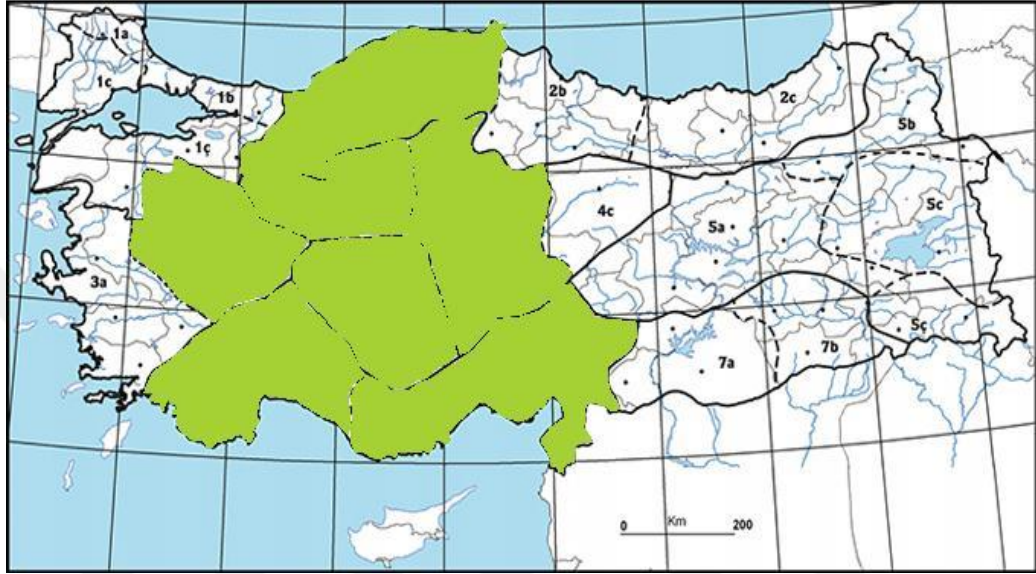
Asphodeline Xanthorrhoeaceae familyasına ait yaklaşık 14 türden oluşan bir cinstir. *Asphodeline* cinsinin üyeleri dünya üzerinde Asya'nın güney-batısında, Orta Doğu ülkelerinde ve çoğunlukla Akdeniz bölgesinde yaygın olarak bulunur (Ulubelen ve Tuzlacı, 1985). Türkiye’de *Asphodeline* cinsinin 20 taksonu bulunmaktadır ve 20 taksondan 12’si endemiktir (Zengin vd., 2016). *Asphodeline* türleri Türkiye’de özellikle İç Anadolu’nun dağ ve bozkırlarında bol miktarda bulunur. Endemizm sayısının fazla olması nedeniyle Türkiye cinsin gen merkezi olarak kabul edilmektedir (Tuzlacı, 1987).

Asphodeline cinsinin üyeleri geleneksel olarak hem Türk halk hekimliğinde tıbbi bitki olarak hem de insan beslenmesine yönelik gıdalar olarak kullanılmaktadır (Locatelli vd., 2017).

Asphodeline taurica çok yıllık. Çiçekli saplar 25-80 (-100) cm, $\pm$ dik, $\pm$ kalın, baştan sona yapraklı. Yapraklar donuk mavimsi yeşil, kenarları kabuklu. Çiçeklenme basit, çok yoğun. Brakteler 20-30 (-35) mm, ovattan dikdörtgene. Meyveli pediseller

10-12 (-14) mm, daralan $\pm$ ortada, braktelerden daha kısa. Periant segmentleri 12-15 (-17) mm, beyaz. Kapsül ovalden dikdörtgene, 8-10 (-12) mm. 5-7 çiçekli. Kayalık yamaçlar, taşlı çayırlar, orman açıklıkları, 570-2500 m. (Davis vd., 1988b).

Asphodeline cinsine ait selüloz kaynağı olarak seçtiğimiz *Asphodeline taurica* türünün Türkiye'deki yayılış alanı Şekil 1.8'de verilmiştir (URL-3).

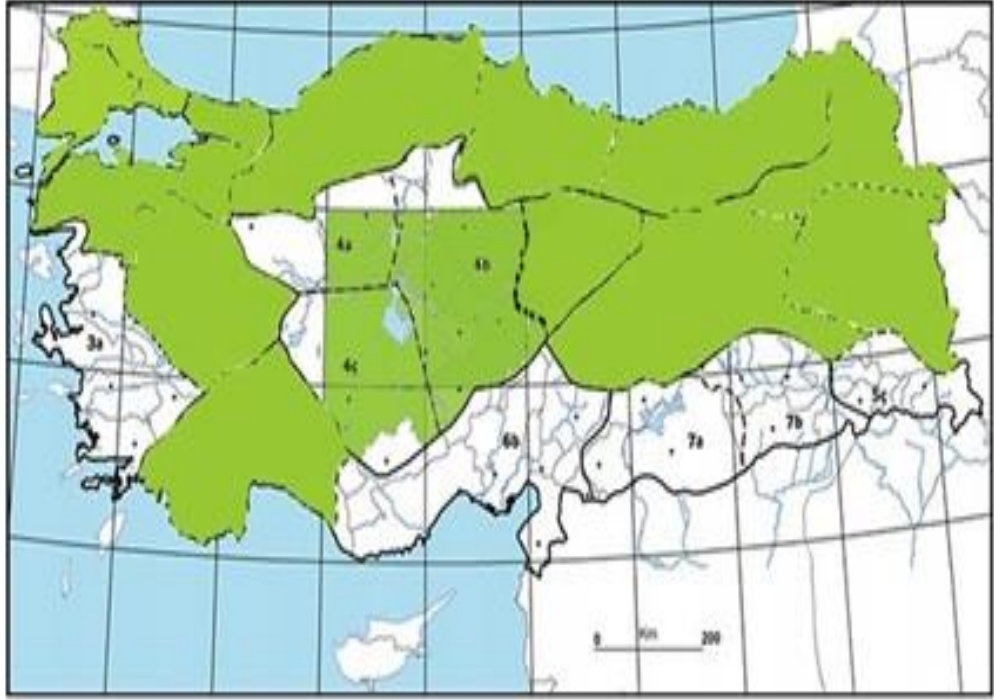


Şekil 1.8. *Asphodeline taurica* türünün Türkiye'deki yayılış alanı.

1.7.4 *Juncus compressus* Jacq.

Juncus compressus türünün ait olduğu Juncaceae familyasını de Jussieu (1789) tarafından 1789 yılında tanımlamıştır. Bu familya dünyada geniş bir yayılış gösterir. Türkiye'den *Juncus* cinsine ait 34 türün varlığını ortaya koyulmuştur (Davis vd., 1988c). *Juncus compressus* dünya üzerinde Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika' da yayılış göstermektedir. Türün habitatu 880-1550 metre yükseklik aralığındaki suyu çekilmiş alanlar, dere göl kenarı gibi sulak alanlardır. *Juncus compressus* türünün çiçeklenme Zamanı: Mayıs-Temmuz aralığıdır.

Çok yıllık, boyu 10-40 cm, gövde hafifçe basık, genellikle hafifçe yassı. Rizumlu. Taban altı yapraklar 1-4; gövde yapraklar 1-2 tane, az çok koyu mavi yeşil, Çiçekler 2 tane brekteollü ve tek. Çiçeklenme 1.5-8 cm uzunluğunda 10-60 çiçekli, merkezi şerit yeşil, sonra saman renginden kahverengiye döner, kenarları kestane-kahverengi (Davis vd., 1988c). *Juncus compressus* türünün Türkiye'deki yayılışı Şekil 1.9'da verilmiştir (URL-4 ve B.Özbek, 2015).

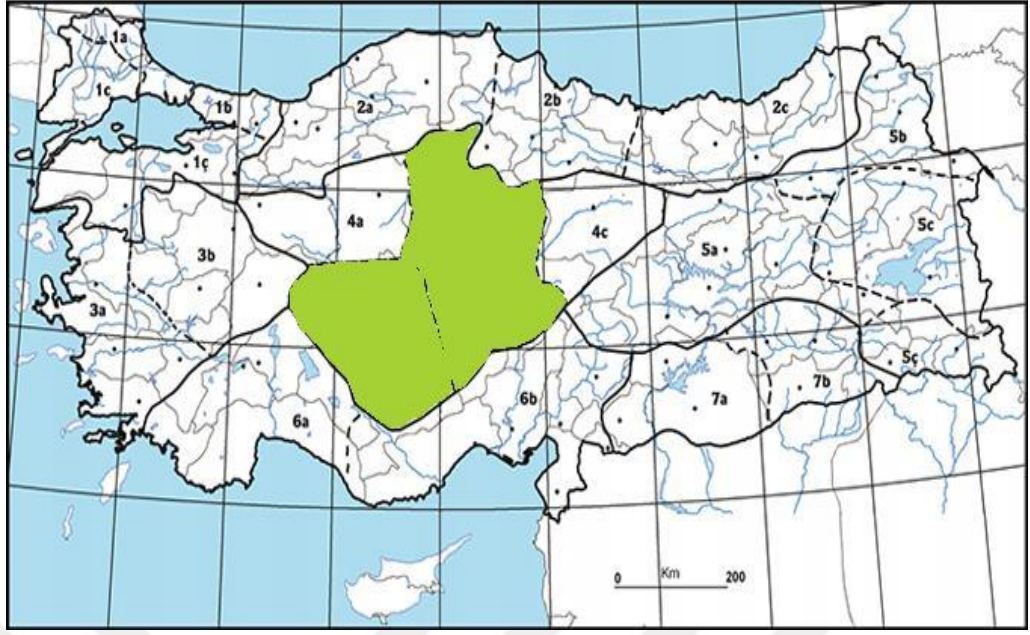


Şekil 1.9. *Juncus compressus* Jacq. türünün Türkiye’deki yayılış alanı.

1.7.5 *Verbascum helianthemoides* Hub-Mor.

Verbascum L.(*Celsia* L. hariç) (Scrophulariaceae) cinsi tüm dünyada yaklaşık 360 türle temsil edilir. Cins Türkiye’de 13 grup altında değerlendirilen 253 doğal türe ve bunlara ait 130 hibrite sahiptir. Bu türlerden 198’i endemik olup, cinsin endemizm oranı ise yaklaşık %80’dir (Davis vd., 1988d; Ekim, 2000; Ekim, 2014).

Verbascum helianthemoides çok yıllık, tabanda odunsu, 30-60 cm, grimsi yeşil, yoğun şekilde küçük tüylerle kaplı, yatık, yıldızsı tüyler, örtü tüylü. Kökler silindirik, karmaşık şekilde dallanmış. Taban yapraklar küçük, mızrak şekilli, 6-8 çiçekli. Tuzlu bozkır ve bataklıklar, nadas alanları, 960-1200 m. (Davis vd., 1988d). Endemik bir türdür. *Verbascum helianthemoides* türünün Türkiye dağılışı Şekil 1.10’da verilmiştir (URL-5).



Şekil 1.10. *Verbascum helianthemoides* türünün Türkiye’deki yayılış alanı.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bilim insanlarınca selüloz dünyada; sisal bitkisinden lif izolasyonu ve karakterizasyonu çalışması Morán vd. (2008) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sisal liflerinden selüloz ekstraksiyonu için iki farklı prosedür değerlendirilmiştir. Elde edilen selüloz lifler TGA, FTIR, DSC ve XRD vasıtasıyla karakterize edilmiş ve lignin ve hemiselüloz varlığını bulunmuştur. Bu çalışmada TGA analizlerinde sisal liflerinin ana bozunmasının 296 °C’de başladığını ve ana zirvenin 348 °C’ye yakın küçük bir pik görüldüğünü bulmuştur. FTIR spektrumları, hemiselülozların ve ligninin uzaklaştırıldığını doğrulamıştır. XRD testleri sonucu sisal bitkisinin kristallilik indeksi 75 ± 1 olarak bulunmuştur. DSC eğrileri, füzyon ve bozunmaya karşılık gelen tepe noktalarının üst üste bindiğini göstermiş ve DSC analizinde sırasında kütle kaybı 71 ± 3 olarak hesaplamıştır. Taramalı elektron mikroskopundan incelemesinde selüloz mikrofibrilleri, çaplarının 7-31 um civarında olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yapılan çalışmada sisal bitkisi selüloz liflerinin gelişmiş özelliklere sahip biyolojik olarak parçalanabilen nanokompozitlerin üretiminde gelecekteki çalışmalarda kullanılabileceği bulunmuştur.

Chamaerops humilis bitki yapraklarına ait selüloz izolasyonu Fardioui vd. (2016) tarafından %4 NaOH alkali işlemi ve %1.7 NaClO₂ ağartma işlemi yapılarak izole edilmiştir. Elde edilen selüloz liflerinin özellikleri XRD, FTIR, TGA, TEM, AFM ve SEM analizi ile yapılmıştır. Kristallik indeksi %63.3, selüloz içeriği %43.2 olarak bulunmuştur. Liflerin çapı sırasıyla 120 µm-9 µm arasında ölçülmüş ve termal *Chamaerops humilis* bitki yaprakları liflerinin bozunma sıcaklığını 340 °C olarak bulunmuştur.

Stipa Obtusa bitkisinden selüloz izolasyonu Candiotti vd. (2020) tarafından gerçekleştirilmiş ve elde edilen selüloz liflerin mekanik özelliklerini belirlemiştir. *Stipa Obtusa* lifleri farklı alkali işlem süresi göz önünde bulundurularak, 1.5, 3 ve 5 saat işleme tabi tutulmuş ve elde edilen selüloz liflerin fiber/matris uyumluluğu ayrıca tek fiber parçalanma testi yapılarak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak mekanik özelliklerin muamele süresi ile maksimuma (kuvvet ~ 569 MPa, modül ~ 28 GPa ve gerinim 0.026) kadar arttığını ve daha sonra azaldığını göstermiştir. Ayrıca, lif uzunluğu arttıkça mukavemet ve gerinim azaldığını bularak

Stipa Obtusa'dan elde edilen liflerin potansiyel gösterdiğini ve polimerik kompozitlerde takviye edici olarak ticari doğal liflerle rekabet edebileceğini ortaya koymuştur.

Maache vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada *Juncus effusus* L.'den izole edilen lifin biyokompozit malzemelerde takviye olarak kullanılma olasılığını değerlendirmiş ve elde ettiği *Juncus effusus* L lifinin özelliklerini araştırmıştır. Bu doğrultuda *Juncus effusus* lifinin fizikokimyasal, mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Yüzey morfolojisinin SEM tarafından incelenmesi *Juncus effusus* lif demetinin enine kesitinin literatürde hurma ağacının sisal veya dal meyvesi için bildirildiği gibi diğer liflere benzer bir hücreli şekle sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Öte yandan *Juncus effusus* liflerinin uzunlamasına kesiti, biyokompozitlerin imalatında mekanik özellikleri büyük ölçüde geliştirmesi gereken pürüzlü yüzeylerin, küçük boşlukların varlığı mevcudiyeti ile karakterize etmiştir. FTIR spektrumundan *Juncus effusus* lifleri için elde edilen bantlar analiz edilmiş ve diğer lignoselülozik lifler ile uyumlu olduğunu bulmuştur. XRD analizi *Juncus effusus* liflerinin yarı kristal yapı gösterdiğini ve *Juncus effusus* liflerinin %33.4'lük bir kristallik indeksine sahip olduğunu bulmuştur. *Juncus effusus* liflerinin termogravimetrik analizi 220 °C'ye kadar bir termal stabiliteyi koruduğunu bulmuştur. Sonuç olarak *Juncus effusus* liflerinin kompozit yapılarda kullanılan cam lifleri gibi geleneksel sentetik liflere bir alternatif olabileceği sonucunu çıkarmıştır.

Coccinia indica bitkisinin kök selüloz lifleri Bhuvaneshwaran vd. (2021) tarafından, yapısal polimer kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılması olasılığına odaklanmıştır. Kurutulmuş saplardan metal diş fırçası ile tarama işlemi yapılarak lifler çıkarılmıştır. *Coccinia indica* lifinin termo-fiziko-mekanik özellikleri, kimyasal bileşimleri ve morfolojik yapıları detaylı olarak analiz edilmiştir. *Coccinia indica* liflerinde daha yüksek bir selüloz içeriği yüzdesi ve daha az miktarda lignin, hemiselüloz, kül ve mum içeriği kimyasal analizle doğrulanmıştır. XRD çalışmaları *Coccinia indica* lifinin %53.03 kristallik indeksi (CrI) ve 5.81 nm kristalit boyutu içerdiğini ortaya koymuştur. SEM analizi ile fiberin çok hücreli yapıya sahip silindirik morfolojiye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır.

TGA çalışması *Coccinia indica* fiberinin ana bozunmasının 204.16 °C ile 376.3 °C sıcaklık aralığında meydana geldiğini ortaya koymuştur.

Selüloz bazlı *Coccinia indica* lifinin çekme mukavemeti diğer geleneksel liflerle benzer olduğunu bulunmuş ve kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılması için yeterli olduğu sonucuna varmıştır.

Inula viscosa bitkisi kabuğu selüloz lifleri Moussaoui vd. (2021) tarafından araştırılmıştır. Bu araştırma *Inula viscosa* kabuğundan çıkarılan yeni selülozik liflerin karakterizasyonu ve analizini yapılmıştır. Elde edilen *Inula viscosa* lifleri ayrıca alkali işlemiyle muamele edildikten sonra karakterize edilmiştir. Kimyasal işlemlerin *Inula viscosa* liflerinin mekanik, fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerine etkisi, X-ışını kırınımı, termo gravimetrik, taramalı elektron mikroskobu analizi, optik mikroskop testi, çekme ve damlacık testleri kullanılarak araştırılmıştır. *Inula viscosa* liflerinin kompozit uygulamaları için alternatif malzeme olarak bu liflerin kullanımını destekleyen düşük yoğunluğa sahip olması ile karakterize edilmiştir. FTIR analizi ve mekanik testler selüloz içeriğini göstermiş ve önceki çalışmalarla uyumlu olduğunu göstermiştir. Çekme test sonuçları 166.5 ± 44.83 MPa olarak hesaplanmıştır. SEM analizinde *Inula viscosa* yüzey morfolojisinin pürüzlü olduğu bulunmuştur ve *Inula viscosa* liflerinin termal stabilitesinin 190 °C'ye kadar dayanabildiğini bulmuştur. %3 NaOH uygulaması görmüş *Inula viscosa* lifinin kristallik indeksi (CrI) %53.03 olarak hesaplanmıştır.

Belouadah vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada *Atriplex halimus* bitkisi liflerinin morfolojik, fiziksel, kimyasal, termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda *Atriplex halimus* saplarının NaOH çözeltisi ile işleme tabi tutulmasının lignin ve hemiselülozu büyük ölçüde ortadan kaldırdığını, kristallik indeksini, termal kararlılığını ve aktivasyon enerjisini artırdığını bulmuştur. *Atriplex halimus* saplarının lifinin 235 °C'ye kadar sıcaklıklarda işlenen bir kompozit malzemenin takviye bileşeni olarak kullanılabilir olduğunu bulmuştur. *Atriplex halimus* lifi, sentetik liflere göre daha düşük yoğunluktadır, bu da onu hafif uygulamalarda kullanılan kompozit malzemeler için takviye olarak uygun hale getirdiğini söylemiştir. Young modülü sonuçları 19 GPa'ya ulaştığını çekme mukavemetinin 188 MPa olduğunu bulmuştur. Temel selülozik lifler, her biri yaklaşık 5 µm'lik bir duvar kalınlığına ve 2 µm'lik bir lümen çapına sahip çokgen bir şekle sahip olduğunu görmüştür. Bu sonuçlar ve *Atriplex halimus*'un geniş bulunabilirliği göz önüne alındığında, bu bitki türünden izole edilen lif, hafif orta yük

ve orta sıcaklık uygulamalarında kullanılan tipteki doğal liflerin repertuarına ek olarak dikkate değer olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Ramkumar ve Saravanan (2021) yaptığı çalışmada *Piliostigma racemosa* bitkisinin kabuğundan izole edilen selülozik lifleri karakterize etmiş ve bu liflerin polimerleri güçlendirmek için uygunluğunu değerlendirmiştir. Yapılan karakterizasyon testlerinin, bu liflerin takviye kabiliyetini kanıtladığı rapor edilmiştir. Kimyasal analiz, lif yoğunluğu ile birlikte selüloz (ağırlıkça %60.30), lignin (ağırlıkça %30.76), mum (%0.63), kül (%1.12 ağırlıkça) varlığını göstermiştir. Liflerin çekme mukavemeti, gerinim ve Young modülü sırasıyla 32MPa, %1.2-3.2 ve 2GPa olduğu bulunmuştur. Fourier Dönüşümü Kızılötesi çalışmaları, temel biyopolimerlerin varlığını kanıtlamış ve X-ışını kırınım çalışmaları, kristallik indeksinin %56.69, kristalit boyutunun 5.25 nm olarak hesaplanarak lif içeriğinin yarı kristal selüloz içeriğine sahip olduğunu görmüştür. *Piliostigma racemosa* liflerinin termo-gravimetrik analiz sonuçları yaklaşık 244 °C'lik bir sıcaklığı kadar dayanıklı olduğunu göstermiştir. Yüzey morfolojisi, liflerin pürüzlü olduğunu ve kompozit üretimi sırasında matris ile iyi bir ara yüzey yapışmasını koruyabildiklerini iddia etmektedir.

Dalmis vd. (2020) çalışmalarında polimerik kompozitler için yeni bir takviye olarak *Hierochloe Odarata* liflerinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yaptıkları çalışmada *Hierochloe Odarata* liflerinin selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriklerini sırasıyla %70.4, %21.5 ve %8.1 olarak elde etmişlerdir. 0.48'lik oksijen/karbon oranının *Hierochloe Odarata* liflerinin hidrofilik yüzey yapısını gösterdiğini söylemişlerdir. *Hierochloe Odarata* liflerinin kristallik indeksini Segal formülüne göre %63.8 olarak belirlenmiştir. *Hierochloe Odarata*'nın 105.7 MPa maksimum çekme mukavemetine, 2.56 GPa Young modülüne ve %2.4 maksimum kopma uzamasına sahip olduğunu bulmuşlardır. Liflerin maksimum bozunma sıcaklığı ve kömür verimini sırasıyla 352 °C ve %12.5 olarak elde etmişlerdir. Yapılan çalışmada fiziksel ve kimyasal özellikler karakterize edildikten sonra *Hierochloe Odarata* liflerinin potansiyel takviye olarak polimer esaslı kompozitler için alternatif sürdürülebilir bir malzeme olabileceği sonucuna varmışlardır.

Keskin vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada *Centaurea solstitialis* (sarı yıldız devedikeni) lifleri, yeşil kompozitler için potansiyel bir doğal lif takviyesi olarak karakterize edilmiştir. *Centaurea solstitialis* lifleri, Taramalı Elektron Mikroskobu, Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi, Termogravimetrik Analiz, X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi, X-Işını Kırınım Analizi, tek lif çekme testi, yoğunluk ve kimyasal bileşim belirlemeleri ile yapılmıştır. *Centaurea solstitialis* liflerinin %11.2 hemiselüloz ve %57.20 selüloz içeriğine sahip olduğu liflerin ve kristallik indeksi ve yoğunluğu sırasıyla %71.43 ve 1.37 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, lifler 111.85 ± 24.97 MPa ile nispeten yüksek gerilme mukavemeti ve 3.41 ± 0.62 GPa ile Young modülü sergilemiştir. *Centaurea solstitialis* liflerinin ısı direnç sıcaklığı 273 °C olarak bulunmuştur. *Centaurea solstitialis* liflerinin düşük yoğunluklu, düşük maliyetli, bol ve nispeten yüksek çekme mukavemetine sahip olmasının kompozitler için uygun bir takviye adayı olduğu söylenmiştir.

Khan vd. (2022) çalışmasında *Momordica charantia* bitkisinin gövdesinden ekstrakte edilen yeni doğal liflerin polimer kompozitlerde takviye olarak kullanımını incelemiştir. Sonuçlar *Momordica charantia* liflerinin selüloz içeriğini %61.2, yoğunluğu 1339 ± 6.4 kg/m³, lif çapının 198 ± 3.9 µm sahip olduğunu bulmuştur. Termogravimetrik analiz sonuçları 600 °C'de %21'lik bir kömür kalıntısı ile 339.1 °C bozunma sıcaklığını ortaya çıkarmıştır. SEM sonuçları *Momordica charantia* lifinin yüzey morfolojisinin lif yüzeyinde küçük gözenekli yapılar ve ayrıca mikrofibrillerin varlığı gösterdi. Yapılan çalışmanın sonuçları *Momordica charantia*'nın bitkisinin gövde liflerinin potansiyel uygulamalar için biyokompozitin geliştirilmesi için bir takviye olarak uygununu ortaya koymuştur.

Khan vd. (2020) çalışmasında *Citrullus lanatus* türünden izole ettiği liflerin morfolojisini ve özelliklerini değerlendirmiştir. *Citrullus lanatus* liflerinin fiziksel-kimyasal, termal, mekanik, kristal, morfolojik özellikleri Fourier transform-kızılötesi spektroskopisi (FTIR), termogravimetrik analiz (TGA), tek lif gerilim testi, X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlemeye çalışılmıştır. Test sonuçları, selüloz içeriğinin ağırlıkça %53.7, lif yoğunluğunun 1227 kg/m³, kristallik indeksinin %33.33 olduğunu göstermiştir. SEM sonuçları

Citrullus lanatus liflerinin pürüzlü yüzeye sahip olduğunu göstermiş ayrıca lif yüzeyinde küçük safsızlıkların bulunduğunu da saptanmıştır.

Bu çalışma sonuçları *Citrullus lanatus* liflerinin hafif orta yük uygulamaları için takviye olarak kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Vijay vd. (2022) yaptıkları çalışmada *Vachellia farnesiana* liflerinin fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerini Termo Gravimetrik Analiz (TGA), Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), X-Işını Kırınım (XRD), gerilme mukavemeti ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) yöntemleri ile karakterize etmişlerdir. Kimyasal analizin sonucu, selüloz %38.3, hemiselüloz %12.1, lignin içeriği %9.2, nem içeriği %11, mum %3.4, yüzdeleri gösterdi. *Vachellia farnesiana* lifinin kimyasal içeriği FTIR testinin çıktısı ile doğrulandı. XRD test sonuçları *Vachellia farnesiana* lifinin %13 kristallik indeksine ve 31.89 nm kristal boyutuna sahip olduğunu gösterdi. Termal analiz, %28.71'lik bir kömür kalıntısı gösterdi. SEM sonuçları lif yüzeyinde mikroçatlaklarının varlığını göstermiştir. TGA sonuçları *Vachellia farnesiana* liflerinin termal stabilitesi 345 °C'ye ulaştığını gösterdi. Bu çalışma sonucunda *Vachellia farnesiana* liflerinin hafif ağırlıkta kompozit malzemeler için takviye olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Daha birçok farklı bitki ve bitki türü liflerden selüloz izole edilmiştir ve doğal selüloz kaynağı teşkil edebilecek lignoselülozik kaynak araştırmaları günümüzde de devam etmektedir. Ülkemizde bitki türü sayısı oldukça fazla olmasına rağmen bu doğal bitki türlerinden selüloz eldesi ile ilgili literatürde *Hierochloe odotara* bitkisi Dalmis vd. (2020) tarafından, *Centaurea solstitialis* bitkisi Keskin vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalar gibi yapılmış çok az sayıda çalışma vardır.

Türkiye biyolojik olarak çok zengin bir ülkedir (Seven, 2020). Bu zenginlik kadar önemli olan hususlardan biri de bu biyoçeşitliliği sürdürebilir bir şekilde kullanabilme ve ülke refahının gelişmesine katkı sağlayacak yönlerini ortaya çıkartmaktır. Bu bağlamda Türkiye'de geniş kullanım potansiyele sahip birçok lif veren bitki bulunabilir; ancak bunlar şimdiye kadar keşfedilmemiş durumdadır. Ülkemiz doğasında da selüloz eldesi için binlerce bitki bulunmasına rağmen bu binlerce bitkinin 3'te birinin endemik olması, çoğu bitkinin yayılış alanının dar olması, ağaç türlerinden selüloz eldesinin uzun süreli ve çok sürdürülebilir olmaması,

bazı bitki türlerinin biyokütlesinin az olması, bazı bitki türlerinin besin vb. farklı faaliyetlerde kullanılıyor olması gibi nedenlerden dolayı aslında sürdürülebilir selüloz eldesi için bitki türleri kısıtlıdır.

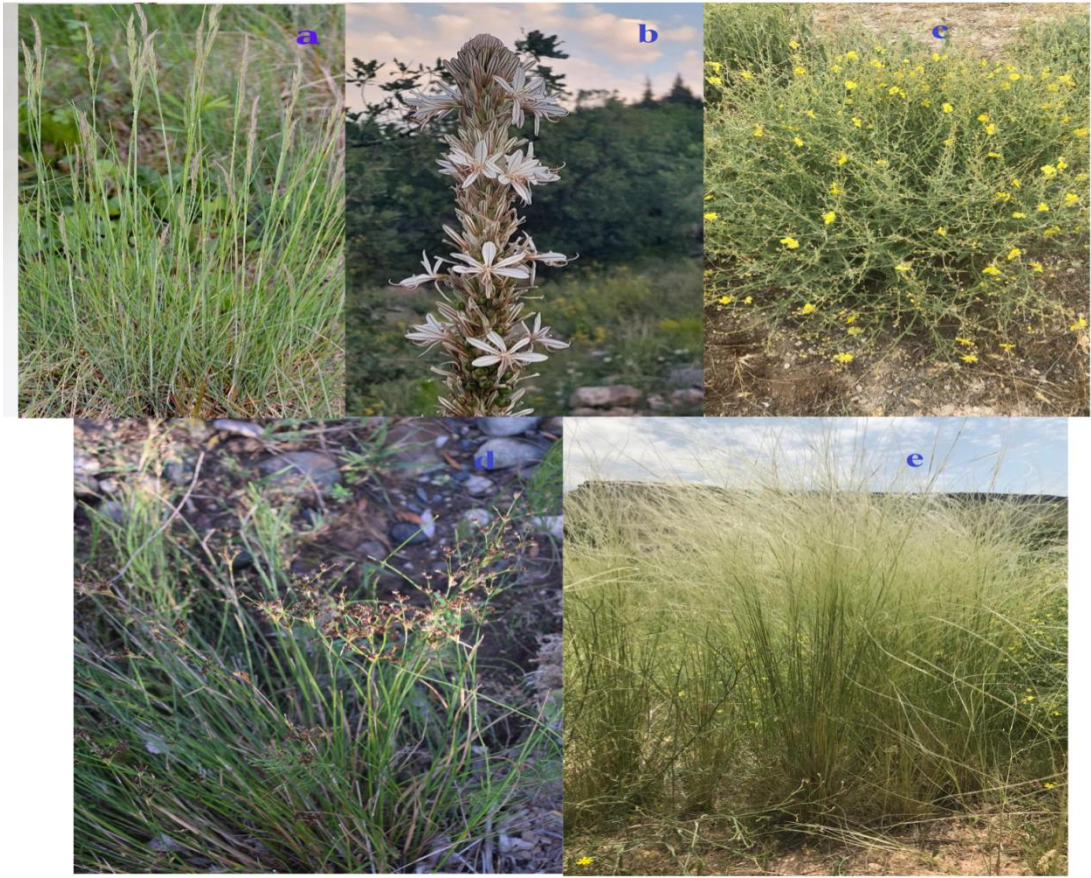
Tezimizde yer alan türlerin seçiminde etkili olan faktörler; türlerin kolay bulunabilirliği, Türkiye’de geniş yayılım alanına sahip olmaları, yetiştirme maliyetinin olmaması, ticari değerlerinin olmaması gibi özelliklerine bağlı olarak bu bitki türleri önemli bir selüloz kaynağı olma potansiyeli sahip olabilirler. Yapılacak olacak tez çalışmasında *Festuca valesiaca* L., *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* (Martinovsky) Tzvelev, *Asphodeline taurica* (Pall. Ex M. Bieb) Endl., *Juncus compressus* Jacq. ve *Verbascum helianthemoides* türlerinden ilk kez selüloz izolasyonu yapılacak ve türlerden elde edilen selülozların karakterizasyonu yapılacaktır. Tez çalışmasında adı geçen bitki türlerinden elde edilecek selülozlar bundan sonra yapılacak olan selüloz ve selüloz türevleri ile ilgili çalışmalara kaynak teşkil edebilecektir. Ayrıca selüloz temelli üretim sektörlerine kaynak oluşturma potansiyeli gözden geçirilecektir.

Türkiye’de doğal olarak yetişen 5 bitki türü; *Festuca valesiaca* L., *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* (Martinovsky) Tzvelev, *Asphodeline taurica* (Pall. Ex M. Bieb) Endl., *Juncus compressus* Jacq. ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin doğal selüloz kaynağı olarak kullanılabilirlikleri ile ilgili bildirilmiş bir araştırma yoktur. Bu bitki türleri selüloz üretiminde ve biyokompozit malzeme üretiminde doğal lif olarak potansiyel bir adaydır ve doğal kaynak olarak kullanılabilirler.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Selüloz İzolasyonu Yapılan Bitkilerin Doğadan Toplanması ve Teşhis Edilmesi

Tezde yer alan doğal selüloz kaynağı olarak belirlenen *Festuca valesiaca* L., *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* (Martinovsky) Tzvelev, *Asphodeline taurica* (Pall. Ex M. Bieb) Endl., *Juncus compressus* Jacq. ve *Verbascum helianthemoides* türleri vejetasyon döneminde Mayıs-Temmuz 2021 ve Mayıs-Temmuz 2022 dönemlerinde Aksaray, Niğde ve Nevşehir illerinden toplanmış bitkilerin doğal ortamda fotoğrafları 55 mm makro objektifli, Nikon D5300 Dijital fotoğraf makinesi kullanılarak çekilmiştir. Toplanan örnekler kurutularak Prof. Dr. Seher KARAMAN tarafından teşhis edilmiş ve Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezindeki herbaryumunda (AKSU) muhafaza edilmektedir. Tez konusu bitkilerin doğada çekilen resimleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tez konusu bitkilerin fotoğrafları (a: *Festuca valesiaca* b: *Asphodeline taurica* c: *Verbascum helianthemoides* d: *Juncus compressus* e: *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*).

Doktora tez konusu bitkilerine ait toplanma lokasyonları aşağıda verilmiştir.

Festuca valesiaca türü Prof. Dr. Seher KARAMAN ve Harun METİN tarafından Aksaray: Aksaray-Konya yolu 13 km. Aksaray Yeni Ceza evi karşısı yol kenarları, 900 m., 23.06.2021, H.M 1092

Asphodeline taurica türü Prof. Dr. Seher KARAMAN ve Harun METİN tarafından Nevşehir: Gülşehir, Yeşilöz Köyü Dadağı Köyleri arasındaki Akbel mevki, dere içi, 1000 m., 10.06.2021, H.M 1090

Juncus compressus Jacq. türü Prof. Dr. Seher KARAMAN ve Harun METİN tarafından Niğde: Çamardı-Pozantı yolu 9 km, dere kenarı, 1344 m., 25.08.2021, H.M 1093

Verbascum helianthemoides türü Prof. Dr. Seher KARAMAN ve Harun METİN tarafından Aksaray: Aratol İstiklal Mahallesi, Aksaray Üniversitesi kampüs etrafı, 956 m., 28.06.2022, H.M 1098

Stipa pulcherrima subsp. *epilosa* (Martinovsky) Tzvelev türü Harun METİN tarafından Nevşehir: Acıgöl-Gülşehir yolu 9 km, Çiftlik köyü, 11.06.2022, 1021 m. H.M 1094

5 farklı türünün selüloz izolasyonu yapılan kısımları aşağıdaki gibidir ve kısımlara ait görseller Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

a: *Festuca valesiaca* kök

b: *Festuca valesiaca* gövde (sap)

c: *Asphodeline taurica* gövde

d: *Verbascum helianthemoides* gövde

e: *Juncus compressus* gövde (sap)

f: *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* gövde (sap)



Şekil 3.2. Bitkilerin selüloz ekstrasyonu yapılan kısımları (a: *Festuca valesiacakök* b: *Festuca valesiaca* gövde c: *Asphodeline taurica* gövde d: *Verbascum helianthemoides* gövde e: *Juncus compressus* gövde f: *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* gövde).

3.2 Asit/Alkali Uygulaması

Selüloz izolasyonu için en çok kullanılan yöntemler asit uygulaması ve alkali uygulamasıdır (Sharma, 2017). Seyreltilmiş asit yöntemi, yüksek hemiselüloz geri elde edimi, enzim kullanım miktarında tasarruf sağlaması ayrıca ekonomik anlamda uygun olması sebebi ile büyük ölçekli üretim tesislerinde en sık kullanılan yöntemlerden bir tanesidir (López-Linares vd., 2020). Seyreltilmiş asit yöntemi ile alkali uygulaması karşılaştırıldığında ise alkali uygulaması, lignin-karbonhidrat bağlarını kopararak ligninin lignoselülozik malzemedan uzaklaşmasını sağlar (Carrere vd., 2016). Yukarıda sözü edilen yöntemlerin birlikte kullanılması, örneğin asit muamelesi sonrası alkali muamelesi, termal asit/alkali ön muamelesi vb. gibi yöntemlerin birlikte kullanılmasının en verimli yöntemler olduğu kabul edilmektedir (Cheng ve Whang, 2022).

3.2.1 *Festuca valesiaca* kök selüloz izolasyonu

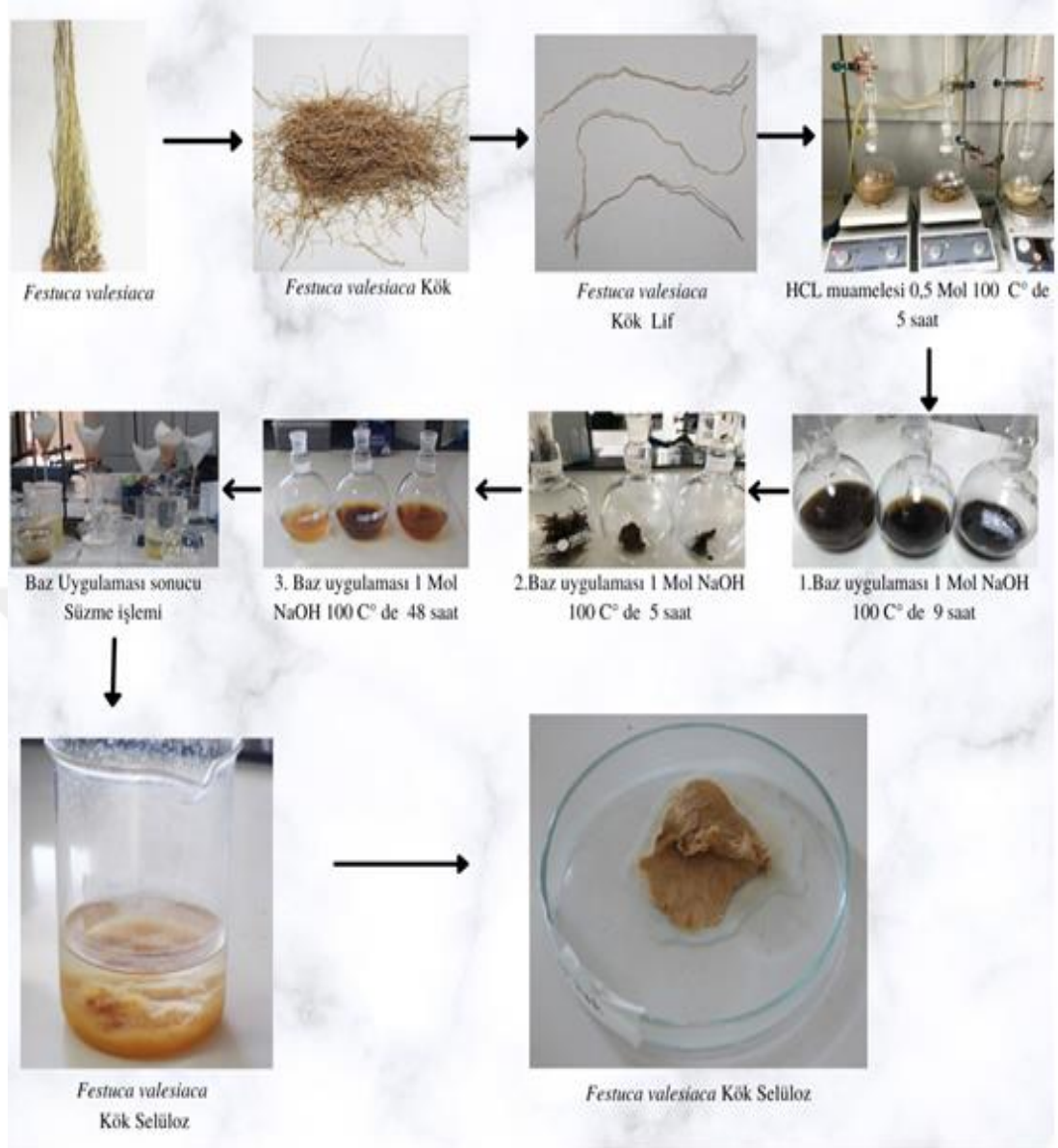
Festuca valesiaca türünden elde edilen kök lifleri 2 gün boyunca oda koşullarında kurutulmaya bırakıldı. 0.5 mol HCL asit uygulaması 5 saat 150 °C'de gerçekleştirildi. Asit uygulaması yapılmasının ardından örnekler pH nötr olana kadar distile su ile yıkandı.

1. Baz uygulaması: *Festuca valesiaca* köklerine asit uygulamasından sonra 1 molar NaOH uygulaması yapıldı. Manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C'de 9 saat baz uygulaması yapıldı. 1. baz uygulamasından ardından *Festuca valesiaca* kök örnekleri pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

2. Baz uygulaması: 1. baz uygulamasının ardından örnekler yine 1 molar NaOH ile manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C'de 9 saat baz uygulamasına maruz bırakıldı. Ardından örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

3. Baz uygulaması: 2. Baz uygulamasının ardından örnekler 1 molar NaOH ile manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C'de 48 saat baz uygulamasına maruz bırakıldı. Ardından örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

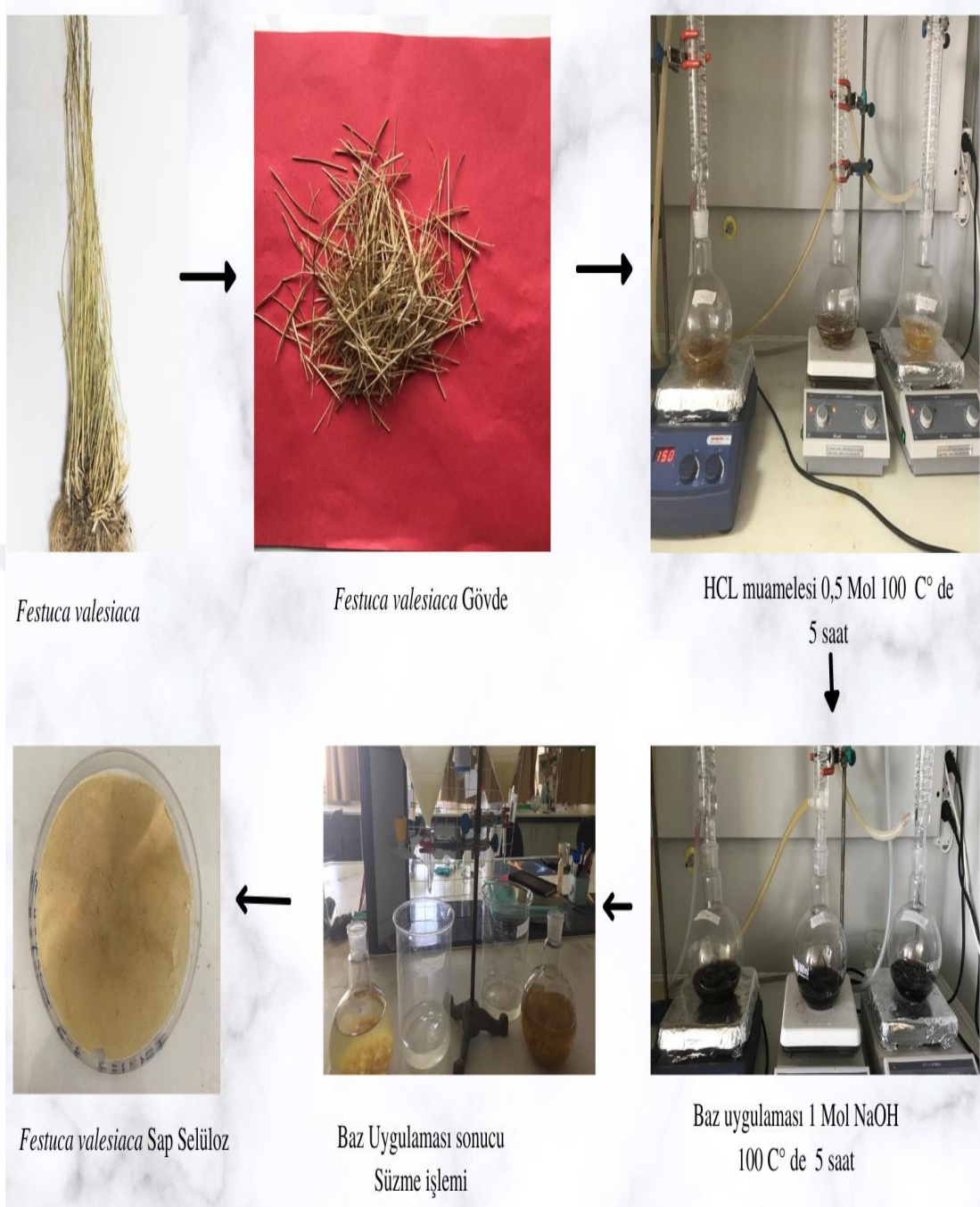
Baz uygulamasıdan sonra örnekler süzgeç ile süzüldü. *Festuca valesiaca* türünün köklerinden selüloz izolasyonu ile ilgili şema Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. *Festuca valesiaca* türünün köklerinden selüloz izolasyon süreci.

3.2.2 *Festuca valesiaca* sap (gövde) selüloz izolasyonu

Festuca valesiaca türünden elde edilen sap lifleri 2 gün boyunca oda koşullarında kurutulmaya bırakıldı. Liflere 1 mol NaOH çözeltisinde 60 dk. boyunca 100 °C’de muamele edildi ve ardından saf su ile nötr olana kadar yıkandı (Saravanakumar vd., 2014). *Festuca valesiaca* türünün saplarından selüloz izolasyonu ile ilgili şema Şekil 3.4’te verilmiştir.



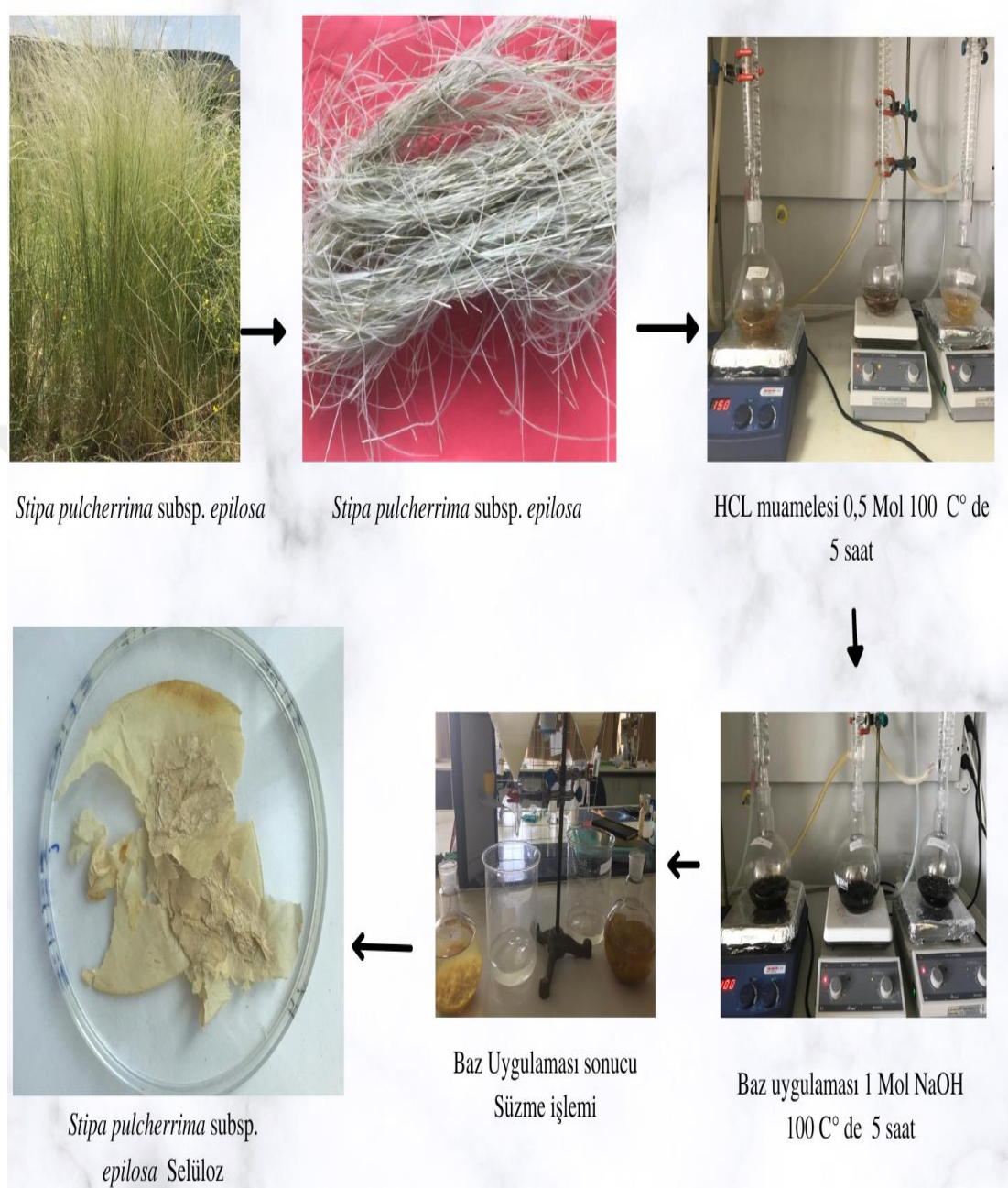
Şekil 3.4. *Festuca valesiaca* saplarından selüloz izolasyon süreci.

3.2.3 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selüloz izolasyonu

Doğadan toplanan *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* türü 3 gün boyunca oda sıcaklığında kurutulmaya bırakıldı. Ardından sap (gövde) lifleri 0.5 mol HCL içerisinde 100 °C’de 5 saat muamele edildi ve nötr olana kadar saf su ile yıkandı.

HCL muamelesi görmüş liflere 1 mol NaOH çözeltisi içerisinde 100 °C’de 5 saat muamele edilmiştir. NaOH uygulamasından sonra lifler saf su ile nötr olana kadar

yıkılmış ve ardından süzölmüştür. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* türünden selöloz izolasyon süreci Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* türünden selöloz izolasyon süreci.

3.2.4 *Asphodeline taurica* gövde (Pall. Ex M. Bieb) selöloz izolasyonu

Asphodeline taurica türünden elde edilen gövde lifleri 2 gün boyunca oda koşullarında kurutulmaya bırakıldı. 0.5 mol HCL asit uygulaması 5 saat 150 °C'de gerçekleştirildi. Asit uygulamasından sonra örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

1. Baz uygulaması: *Asphodeline taurica* asit uygulamasından sonra 1 molar NaOH uygulaması yapıldı. Manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C’de 9 saat baz uygulaması yapıldı. 1. baz uygulamasından ardından *Asphodeline taurica* örnekleri pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

2. Baz uygulaması: 1. baz uygulamasının ardından örnekler yine 1 molar NaOH ile manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C’de 9 saat baz uygulamasına maruz bırakıldı. Ardından örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

3. Baz uygulaması: 2. Baz uygulamasının ardından örnekler 1 molar NaOH ile manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C’de 48 saat baz uygulamasına maruz bırakıldı. Ardından örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

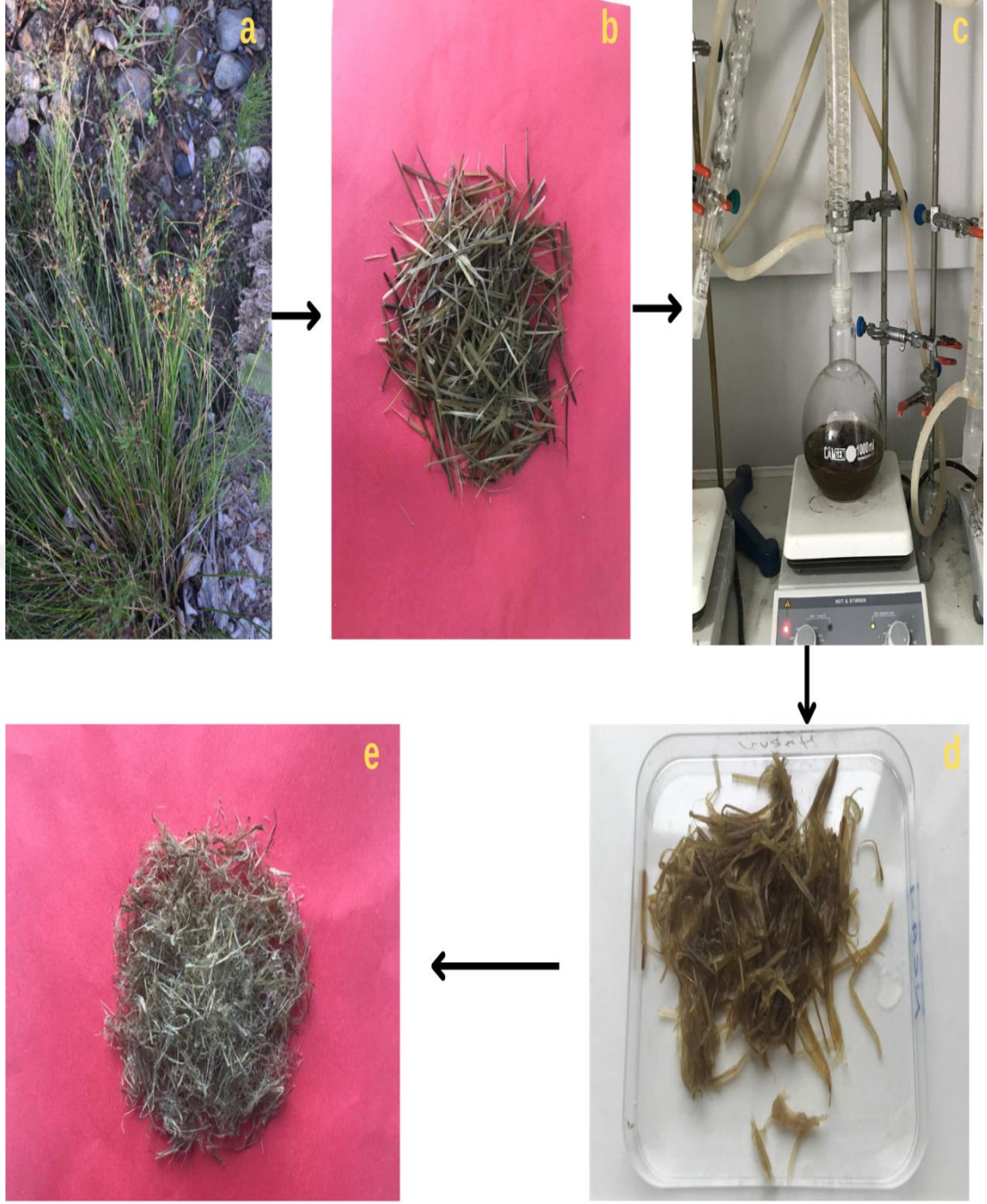
Baz uygulamasıdan sonra örnekler süzgeç ile süzüldü. *Asphodeline taurica* türünün gövdesinden selüloz izolasyonu ile ilgili şema Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. *Asphodeline taurica* türünün gövdesinden selüloz izolasyonu.

3.2.5 *Juncus compressus* sap (gövde) selüloz izolasyonu

Doğadan toplanan *Juncus compressus* türü 3 gün boyunca oda sıcaklığında kurutuldu. Ardından *Juncus compressus* türünden elde edilen saplar 3 saat suya dardırıldı. Sudan çıkartılan ve kurutulan saplar %8'lik NaOH çözeltisinde 1 saat muamele edildi (Naili vd., 2017). *Juncus compressus* selüloz izolasyonuna ait genel şema Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. *Juncus compressus* sapı selüloz izolasyon süreci (a: *Juncus compressus* bitkisi b: *Juncus compressus* sap c: *Juncus compressus* NaOH tedavisi d: *Juncus compressus* NaOH muamelesi sonrası e: *Juncus compressus* sap izole edilmiş selüloz).

3.2.6 *Verbascum helianthemoides* türünden selüloz izolasyonu

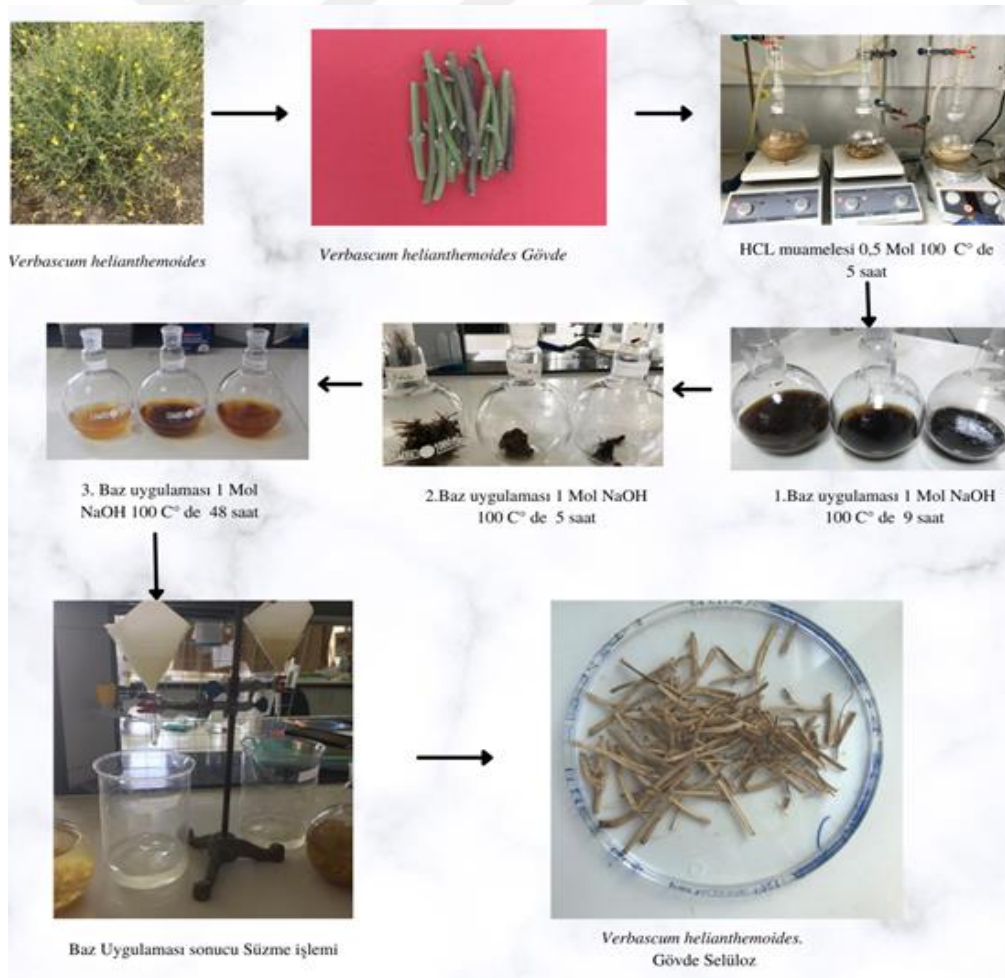
Verbascum helianthemoides türünden elde edilen gövde lifleri 2 gün boyunca oda koşullarında kurutulmaya bırakıldı. 0.5 mol HCL asit uygulaması 5 saat 150 °C'de gerçekleştirildi. Asit uygulaması yapılmasının ardından örnekler pH nötr olana kadar distile su ile yıkandı.

1. Baz uygulaması: *Verbascum helianthemoides* asit uygulamasından sonra 1 molar NaOH uygulaması yapıldı. Manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C’de 9 saat baz uygulaması yapıldı. 1. baz uygulamasından ardından *Verbascum helianthemoides* örnekleri pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

2. Baz uygulaması: 1. baz uygulamasının ardından örnekler yine 1 molar NaOH ile manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C’de 9 saat baz uygulamasına maruz bırakıldı. Ardından örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

3. Baz uygulaması: 2. Baz uygulamasının ardından örnekler 1 molar NaOH ile manyetik karıştırıcıda 20 devir hızda 100 °C’de 48 saat baz uygulamasına maruz bırakıldı. Ardından örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkandı.

Baz uygulamasından sonra örnekler süzgeç ile süzüldü. *Verbascum helianthemoides* türünün gövdesinden selüloz izolasyonu ile ilgili şema Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. *Verbascum helianthemoides* gövdesinden selüloz izolasyon süreci.

3.3 Selüloz Oranın Belirlenmesi

Tez konusu bitki liflerindeki selüloz oranı tayini Kurschner-Hoffer (1969)'e göre yapılmıştır. Tüm örnekler Toluen/Aseton/Ethanol ekstraksiyonuna uğratıldıktan sonra her bir örnekten 2 gr alınmış ve 250 ml (şilifli) balon içerisine konulmuştur. Üzerine 40 ml etanol ve 10 ml Nitrik Asit (HNO₃) dökülmüş ve ardından su banyosunda geri soğutucu altında 78 °C'de bırakılmıştır. Bir saat sonra örnekler kroze yardımıyla sıvı balondan süzölmüş ve etanol - HNO₃ karışımı örnekle birlikte cam balona konulmuştur. Aynı işlem bir saat arayla 3 kez daha tekrarlanmıştır. İşlem sonunda karışım 2 nolu krozeden süzölerek sıcak su ile yıkanmış ve etüvde örnekler kurutulmuştur. İşlem sonrasında elde ettiğimiz tam kuru ağırlığın işlem öncesi tam kuru ağırlığı oranı yüzde olarak hesaplanarak her bir bitki liflerindeki selüloz oranları hesaplanmıştır.

3.4 Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektrometre (FTIR)

FT-IR analizi ile bitki liflerinde bulunan kimyasal fonksiyonel grubların tanımlanması gerçekleştirilecektir. FTIR analizi bitki lif örnekleri kızılötesi radyasyona tabi tutulacak ve frekans tepkileri not edilecektir. Analiz sonucu, dalga sayısı ile kritik zirvelere sahip bir frekans dalgası grafiklenecektir. Kritik noktalardaki O-H grubunun varlığını selüloz içeriğini, C-H grubu sırayla hemiselüloz içeriğini, C = C grubu mum içeriğini ve C-OH grubu da doğal lifin lignin içeriğini gösterecektir (Candiotti vd., 2020).

Festuca valesiaca, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, *Asphodeline taurica*, *Juncus compressus* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin çeşitli kısımlarından izole edilen selülozların FT-IR spektrumları, 650-4000 cm⁻¹ frekans aralığında Perkin-Elmer marka FT-IR Spektrometre (Universal Attenuated Total Reflectance) ölçüm cihazı kullanılarak ayrı ayrı kaydedilmiştir.

3.5 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Daha yüksek sıcaklık koşullarında farklı endüstriyel uygulamalar için doğal liflerin uygunluğunu tanımak için termal stabilite karar vermeye yardımcı olur. TGA deney çıktıları, selüloz lifinin farklı kimyasal bileşenlerinin nitrojen atmosferinde ağırlık

kaybı açısından ayrışabilir hale geldiği çeşitli sıcaklıkları belirleyecektir (Arul Marcel Moshi vd., 2019).

Festuca valesiaca, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, *Asphodeline taurica*, *Juncus compressus* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin izole edilen selülozların her birinin ayrı ayrı termal özellikleri, N₂ atmosferi altında ve TGA / SDTA 851 Mettler Toledo cihazı kullanılarak 10 °C/dk'lık bir ısıtma hızında gerçekleştirilerek ölçülmüştür.

3.6 X-ışını Kırınımı (XRD) Analizi

Festuca valesiaca, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, *Asphodeline taurica*, *Juncus compressus* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin liflerinden izole edilen selülozların XRD analizleri, GNR APD PRO 2000 cihazı kullanılarak CuK α radyasyonu ile yapılmıştır. Kullanılan X-Işınının dalga boyu 1.54059 Å' dır. Tarama aralığı 2 θ =5-45° arasında, 0.1 step size ve her açı değeri için 3 saniye integrasyon zamanı kullanılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. *Festuca valesiaca*, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, *Asphodeline taurica*, *Juncus compressus* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin liflerinden izole edilen selülozların kristallik indeksleri (CrI) değeri Segal yöntemi (Segal ve ark., 1959) kullanılarak aşağıdaki denkleme göre her bir türün selülozu ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$CrI = [(I_{200} - I_{am}) / I_{200}] \times 100$$

$$I_{200} = 200 \text{ pikinin yüksekliğidir (I}_{200})$$

$$I_{am} = 200 \text{ ve } 110 \text{ tepe arasındaki minimumdur (I}_{am})$$

3.7 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Yüzey morfolojisi analizi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı yardımıyla gerçekleştirilen lif yüzeyinin doğasını anlamaya yarar. Bu SEM sonuçlarından, tüm lif yüzeyinde bulunan çeşitli bileşenlerin dağılımını ve yüksek büyütme çözünürlüğü ile liflerin ortalama çapını ölçmek için SEM kullanılmıştır. SEM' de görünen yüzey doğasına dayanarak, selüloz liflerinin bağlanma doğasının pürüzlü veya pürüzsüz bir yapıda olup olmadığı anlaşılmıştır (Arul Marcel Moshi vd., 2019).

Tez konusu bitki liflerinden izole edilen selülozların yüzey morfolojileri farklı büyütme oranları kullanılarak Sputter Coater (Cressingto Auto 108) tarafından altın/paladyum ile kaplanarak Zeiss, Eco 40, Almanya marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Candiotti vd., 2020).

3.8 Elemental Analiz (EA)

Elemental analizi, elde edilen selüloz izolatlarının H, C ve O içerikleri belirlenmek için Thermo Flash 2000 kullanılmıştır. Tez konusu bitki liflerinden izole edilen selülozların yapısında bulunan elementlerin % içeriklerini belirlenmiştir (Candiotti vd., 2020).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Asit/Alkali Uygulaması Görmüş Bitki Liflerine Ait Selüloz Oranları

Doktora konusu bitkilerden elde edilen liflerin selüloz oranları; *Festuca valesiaca* kök lifi selüloz oranı %57.7, *Festuca valesiaca* sap lifi selüloz oranı %44.49, *Asphodeline taurica* lifi selüloz oranı %73.91, *Juncus compressus* sap lifi selüloz oranı %43.51, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* lifi selüloz oranı %59.36 ve *Verbascum helianthemoides* lifi selüloz oranı %78.34 olarak belirlenmiştir ve tez konusu türlere ve diğer benzer bitkilere ait selüloz oranları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Asit/Alkali uygulaması görmüş bitki liflerine ait selüloz oranları.

Bitki Türleri	Selüloz Oran ı (%)	Kaynaklar
<i>Festuca valesiaca</i> kök	57.7	Tespit
<i>Festuca valesiaca</i> sap	44.49	Tespit
<i>Asphodeline taurica</i>	73.91	Tespit
<i>Juncus compressus</i> sap	43.51	Tespit
<i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i>	59.36	Tespit
<i>Verbascum helianthemoides</i>	78.34	Tespit
<i>Triticum aestivum</i> (Buğday) sapı	37-43	(Malucelli vd. 2017)
<i>Juncus sp.</i>	44.93	(Naili vd. 2017)
<i>Cannabis</i> sp. (Kenevir) sapı	52.03	(Tutuş vd. 2021)
<i>Juncus rigidus</i> sürgün	17.64	(Vyas vd. 2021)
<i>Coccinia indica</i>	64.56	(Bhuvaneshwaran vd. 2021)
<i>Momordica charantia</i>	61.2	(Khan vd. 2022)
<i>Vachellia farnesiana</i>	38.3	(Vijay vd. 2022)
<i>Centaurea solstitialis</i>	57.20	(Keskin vd. 2022)

Türler arasında en fazla selüloz içeriğine sahip lifin *Verbascum helianthemoides* (%78.34) türüne ait liflerde en az selüloz yüzdesinin ise *Juncus compressus* sap liflerinde (%43.51) olduğu görülmüştür. Çizelge 4.1 incelendiğinde benzer otsu özelliklere sahip olan *Festuca valesiaca* sap (%44.49) ile *Juncus compressus* sap (%43.51), *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* (%59.36), *Juncus* sp. (%44.93), buğday sapı (%35-43), *Centaurea solstitialis* (%57.20), *Cannabis* sp. (kenevir) sapı (%52.03) gibi türlerin birbirlerine yakın oranlarda selüloz içeriğine sahip olduğu bulunmuştur.

Festuca valesiaca, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, ve *Juncus compressus* türlere nazaran daha sert yapılı gövdeye sahip *Asphodeline taurica* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin selüloz oranlarının daha yüksek olduğu bulunmuştur. *Asphodeline taurica* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin selüloz oranlarının Çizelge 4.1’de yer alan *Coccinia indica* (%64.56) ve *Momordica charantia* (%61.2) türlerinden daha fazla selüloz içeriğine sahip olduğu bulunmuştur.

Ayrıca aynı türün farklı kısımlarının selüloz oranlarında farklı çıkabileceği (*Festuca valesiaca* kök %57.7 - *Festuca valesiaca* sap %44.49) ortaya koyulmuştur. *Asphodeline taurica* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin selüloz oranlarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

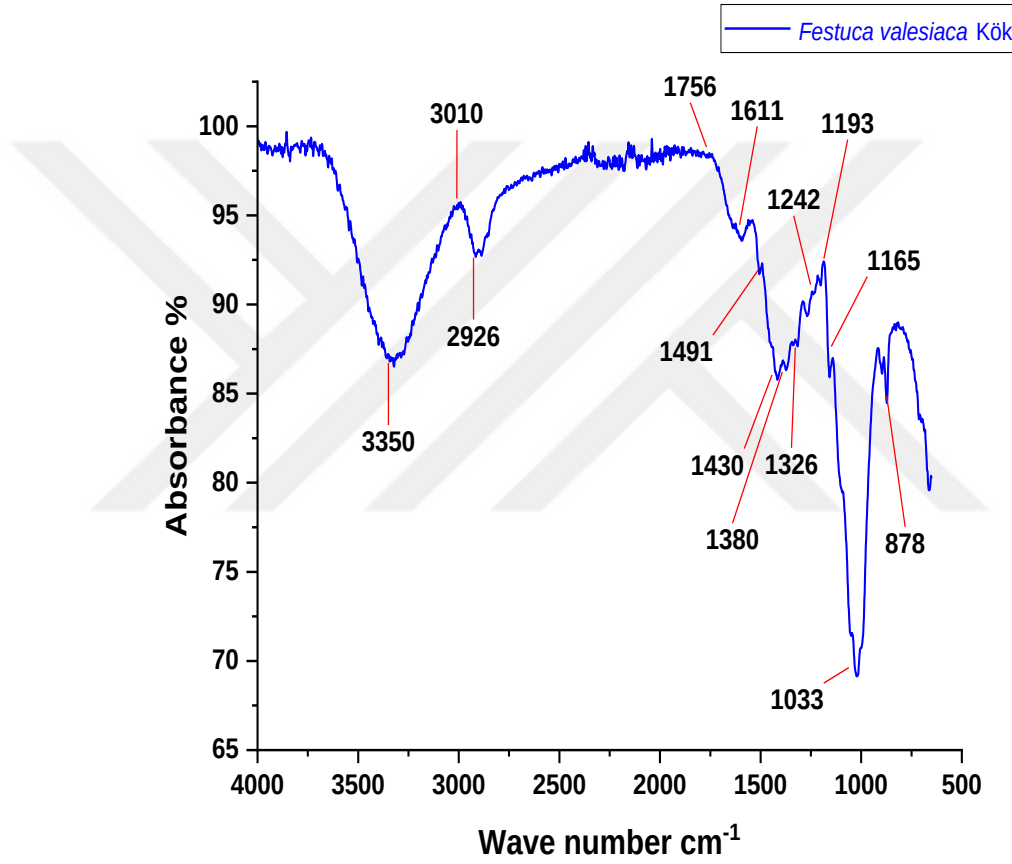
Doğal liflerin kimyasal özellikleri, bitkinin yetiştiği coğrafi ve iklim şartlarına göre ve bitkinin olgunluk durumuna göre değişmektedir. Lifin yapısı, morfolojisi, termal bozunma, bağlanma ve mekanik özellikler gibi doğal lif özellikleri, öncelikle lifin selülozu, hemiselülozları, lignini ve mum içeriği tarafından belirlenir. Selüloz oranının yüksek olması lifin mekanik özelliklerini geliştirir (Thooyavan vd., 2022).

Festuca valesiaca, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, ve *Juncus compressus* türleri *Asphodeline taurica* ve *Verbascum helianthemoides* türlerine göre nispeten daha az kurak yerlerde yetişmektedir. Farklı kurak bölge bitkilerinin selüloz oranının yüksek çıkıp çıkmayacağı başka yapılacak çalışmalarla desteklenmelidir. Bitkilerin yetiştiği coğrafi ve iklim şartları bitkide bulunan selüloz oranını etkileyen faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir (Thooyavan vd., 2022).

4.2 Türlerine Ait Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektrometre (FTIR) Sonuçları

4.2.1 *Festuca valesiaca* kök FTIR sonuçları

Festuca valesiaca kök liflerinin FTIR spektrumu Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.1’de yer alan FTIR bantlarına ait bant konumları ve temsil ettiği gruplar Çizelge 4.2’de sunulmuştur (Vijay vd., 2021; Ganapathy vd., 2019; Senthamarai kanna ve Kathiresan, 2018; Belouadah vd., 2021; Ceylan vd., 2020; Kumar vd., 2012).



Şekil 4.1. *Festuca valesiaca* kök FTIR spektrumu.

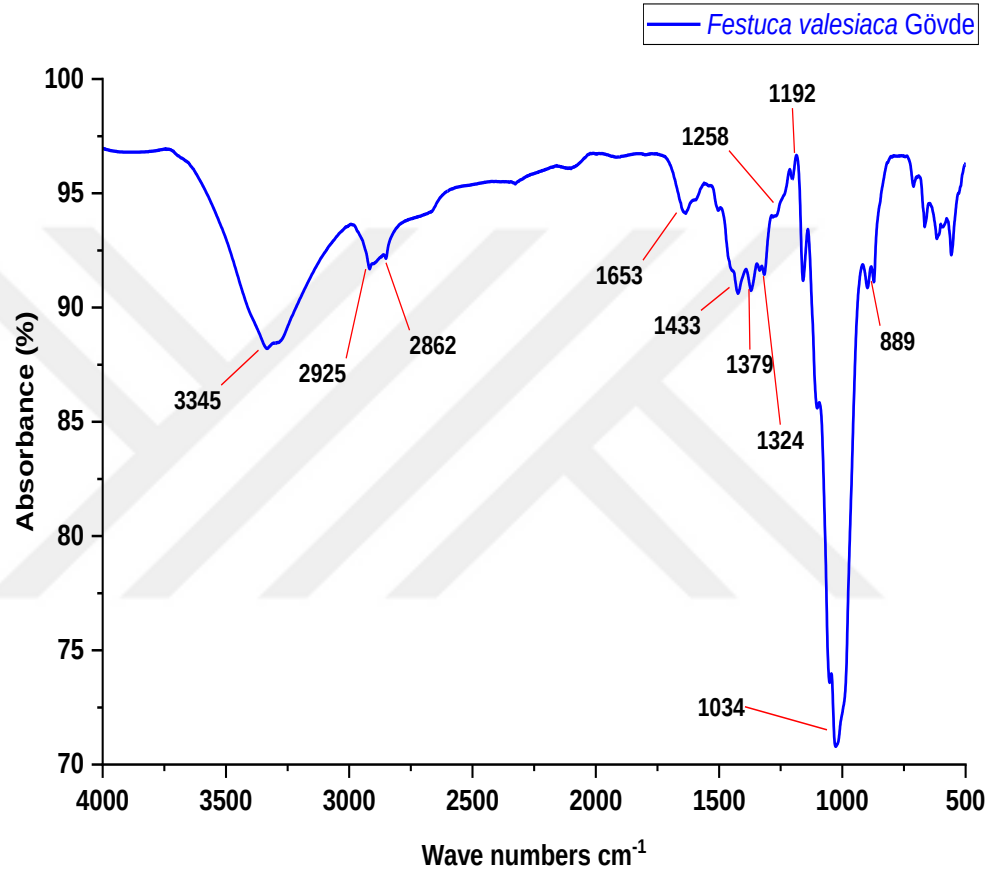
Çizelge 4.2. *Festuca valesiaca* kök FTIR spektrumu verileri.

<i>Festuca valesiaca</i> kökbant konumu. (cm ⁻¹)	Dalga numarası aralığı (cm ⁻¹)	Menşei
3350	3600–3100	Hidrojen bağlı — OH gerilme
2926	2950 ve 2854	Selüloz ve hemiselülozda C—, HCH ve CH ₂ 'den germe titreşimi
1756	1728	C-O titreşimi, hemiselüloz ve pektindeki asetil ve üronik ester gruplarından ve lignindeki p-kümerik asitlerdeki ester bağlantılarında görülmektedir
—	1640	Lifte su bulunması. —OH gruplarının adsorpsiyonu
1611	1604	Lignin aromatik gruplarındaki C-C düzlem için simetrik gerilme
1430	1400–1450	Selülozdan CH ₂ simetrik bükme
—	1314	CH ₂ bağı
1380	1377	(C — H) eğilme titreşimi
1326	1320	C — Polisakkaritlerdeki aromatik halkanın CO grupları
—	1264	O-H bağı
1242	1243	Lignindeki C ₁ — asetil grubunun O germe titreşimi
1165,1193	900–1190	C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmesine
878	894	monosakkaritler arasındaki β-glikosidik bağlantılar

Festuca valesiaca kök lifleri için 3350 cm⁻¹'de gözlemlenen geniş eğri serbest uzanan O-H gerilmesini göstermektedir ve selüloz varlığına atfedilmektedir (Vijay vd., 2021). 2926 cm⁻¹'deki tepe noktası, selüloz ve hemiselülozdaki CH ve CH₂ titreşimlerine bağlı olarak C—H gerilme ve bükülmesini belirtir (Ganapathy vd., 2019). 1756 cm⁻¹'deki küçük pik ve 1611 cm⁻¹'deki dar pik, hemiselülozdaki asetil grubunun veya lignindeki alfa-keto karboksilik asitlerin C = O karbonil gerilmesi ile ilişkilidir (Senthamarai Kannan ve Kathiresan, 2018). 1380 cm⁻¹ ve 1326 cm⁻¹'deki küçük pikler polisakkaritlerde sırasıyla CH₂ ve selülozun C—H gruplarının ve aromatik halkanın C—O gruplarının varlığını gösterir (Belouadah vd., 2021). 1159-890 cm⁻¹ arasında görülen 1193,1165, ve 878 cm⁻¹ titreşimleri C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmelerini ifade etmektedir (Ceylan vd., 2020). Asetil lignin grubunun C—O gerilmesi, 1242 cm⁻¹'deki tepe noktası ile doğrulanmıştır (Kumar vd., 2012).

4.2.2 *Festuca valesiaca* sap (gövde) FTIR sonuçları

Festuca valesiaca kök liflerinin FTIR spektrumu Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Şekil 4.2’de yer alan FTIR bantlarına ait bant konumları ve temsil ettiği gruplar Çizelge 4.3’te sunulmuştur (Li vd., 2014; Ganapathy vd., 2019; Zhu vd., 2016; Ceylan vd., 2020).



Şekil 4.2. *Festuca valesiaca* sap FTIR spektrumu.

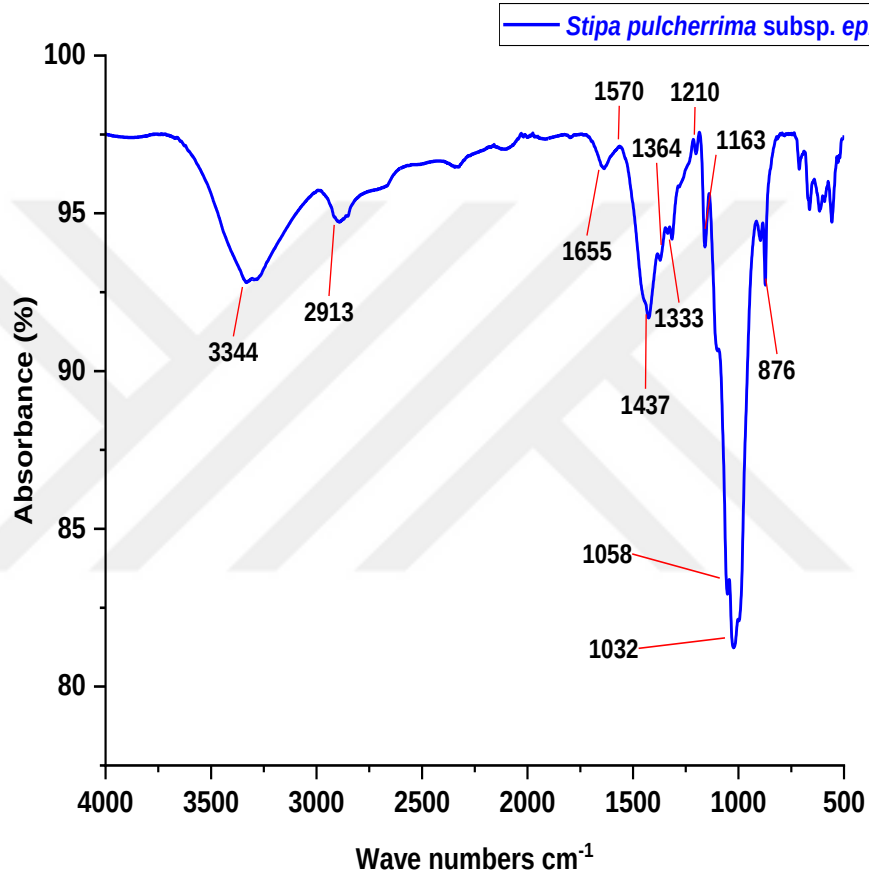
Çizelge 4.3. *Festuca valesiaca* sap FTIR spektrumu verileri.

<i>Festuca valesiaca</i> sabant konumu. (cm ⁻¹)	Dalga numarası aralığı (cm ⁻¹)	Menşei
3345	3600–3100	Hidrojen bağlı — OH gerilme
2862, 2925	2950 ve 2854	Selüloz ve hemiselülozda C ₁ —, HCH ve CH ₂ 'den germe titreşimi
—	1728	C-O titreşimi, hemiselüloz ve pektindeki asetil ve üronik ester gruplarından ve lignindeki p-kümerik asitlerideki ester bağlantılarında görülmektedir
1653	1640	Lifte su bulunması. —OH gruplarının adsorpsiyonu
—	1604	Lignin aromatik gruplarındaki C-C düzlem için simetrik gerilme
1433	1400–1450	Selülozdan CH ₂ simetrik bükme
—	1314	CH ₂ bağı
1379	1377	(C — H) eğilme titreşimi
1324	1320	C ₁ — Polisakkaritlerdeki aromatik halkanın CO grupları
1258	1264	O-H bağı
—	1243	Lignindeki C ₁ — asetil grubunun O germe titreşimi
1034,1192	900–1190	C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmesine
889	894	monosakkaritler arasındaki β-glikosidik bağlantılar

Festuca valesiaca sap lifleri için 3345 cm⁻¹ bandı selülozun bünyesinde yer alan glikoz birimlerinde bulunan O-H gerilmelerini göstermektedir (Li vd., 2014). 2925 ve 2862 cm⁻¹ titreşimleri C-H ve CH₂ bulunan gerilim titreşimlerini göstermektedir (Ganapathy vd., 2019). 1653 cm⁻¹ bandı lif içerisinde —OH grubunu varlığının işaretidir (Ganapathy vd., 2019). 1433 cm⁻¹ selülozdan kaynaklı CH₂ bükülme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır (Zhu vd., 2016). 1379 cm⁻¹ C-H eğilme titreşimini göstermektedir. 1159-890 cm⁻¹ arasında görülen 1192, 1034 ve 889 cm⁻¹ bantları C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmelerinden kaynaklanmaktadır (Ceylan vd., 2020).

4.2.3 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* FTIR sonuçları

Stipa pulcherrima subsp. *epilosa* FTIR sonuçları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekil 4.3'te yer alan FTIR bantlarına ait bant konumları ve temsil ettiği gruplar Çizelge 4.4'te sunulmuştur (Li vd., 2014; Ganapathy vd., 2019; Zhu vd., 2016; Ceylan vd., 2020).



Şekil 4.3. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* FTIR spektrumu.

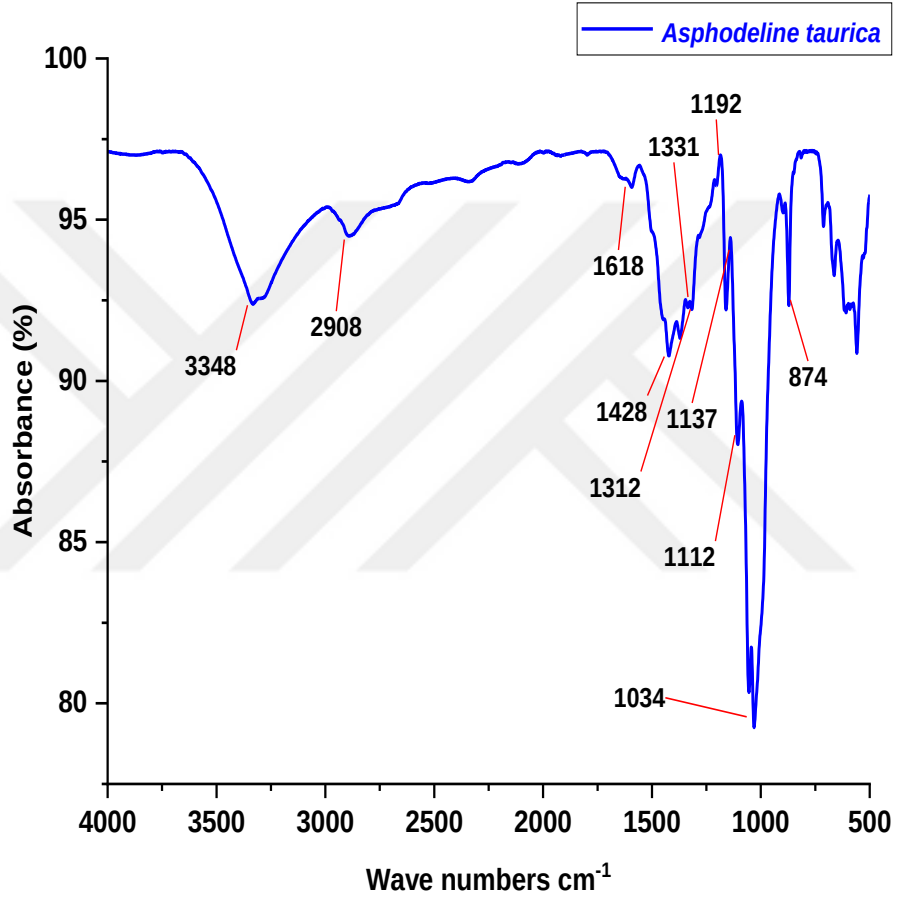
Çizelge 4.4. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* FTIR spektrumu verileri.

<i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i> bant konumu. (cm ⁻¹)	Dalga numarası aralığı (cm ⁻¹)	Menşei
3344	3600–3100	Hidrojen bağlı — OH gerilme
2913	2950 ve 2854	Selüloz ve hemiselülozda C—H, HCH ve CH ₂ 'den germe titreşimi
—	1728	C-O titreşimi, hemiselüloz ve pektindeki asetil ve üronik ester gruplarından ve lignindeki p-kümerik asitlerindeki ester bağlantılarında görülmektedir
1655	1640	Lifte su bulunması —OH gruplarının adsorpsiyonu
1570	1604	Lignin aromatik gruplarındaki C-C düzlem için simetrik gerilme
1437	1400–1450	Selülozdan CH ₂ simetrik bükme
—	1314	CH ₂ bağı
1364	1377	(C—H) eğilme titreşimi
1333	1320	C ₁ — Polisakkaritlerdeki aromatik halkanın CO grupları
1210	1264	O-H bağı
—	1243	Lignindeki C ₁ — asetil grubunun O germe titreşimi
1032, 1058, 1163	900–1190	C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmesine
876	894	monosakkaritler arasındaki β-glikosidik bağlantılar

Stipa pulcherrima subsp. *epilosa* lifleri için 3344 cm⁻¹ bandı selülozun bünyesinde yer alan glikoz birimlerindeki O-H gerilmelerini göstermektedir (Li vd., 2014). 2913 cm⁻¹ bantı C-H ve CH₂ gerilim titreşimlerinin varlığından kaynaklanmaktadır (Ganapathy vd., 2019). 1655 cm⁻¹ bandı lif içerisinde —OH grubunu varlığının işaretidir (Ganapathy vd., 2019). 1437 cm⁻¹ selülozdan kaynaklı CH₂ bükülme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır (Zhu vd., 2016). 1364 cm⁻¹ C-H eğilme titreşimini 1210 cm⁻¹ O-H bağı göstermektedir. 1159-890 cm⁻¹ arasında görülen 1163, 1058, 1032 ve 876 cm⁻¹ bantları C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmelerinden kaynaklanmaktadır (Ceylan vd., 2020).

4.2.4 *Asphodeline taurica* FTIR sonuçları

Asphodeline taurica FTIR sonuçları Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.4'te yer alan FTIR bantlarına ait bant konumları ve temsil ettiği gruplar Çizelge 4.5'te sunulmuştur (Vijay vd., 2021; Ganapathy vd., 2019; Senthamaraikannan ve Kathiresan, 2018; Belouadah vd., 2021; Ceylan vd., 2020; Kumar vd., 2012).



Şekil 4.4. *Asphodeline taurica* FTIR spektrumu.

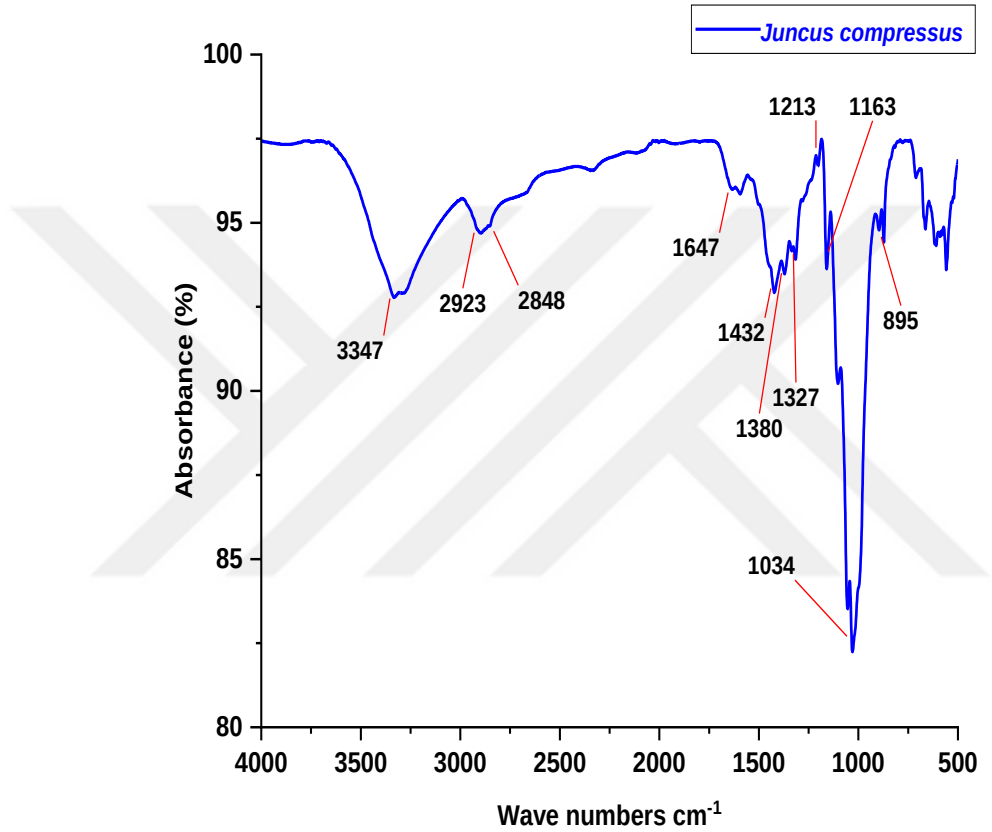
Çizelge 4.5. *Asphodeline taurica* FTIR spektrumu verileri.

<i>Asphodeline taurica</i> bant konumu. (cm ⁻¹)	Dalga numarası aralığı (cm ⁻¹)	Menşei
3348	3600–3100	Hidrojen bağlı— OH gerilme
2908	2950 ve 2854	Selüloz ve hemiselülozda C ₁ — , HCH ve CH ₂ 'den germe titreşimi
—	1728	C-O titreşimi, hemiselüloz ve pektindeki asetil ve üronik ester gruplarından ve lignindeki p-kümerik asitlerideki ester bağlantılarında görülmektedir
1618	1640	Lifte su bulunması. —OH gruplarının adsorpsiyon
—	1604	Lignin aromatik gruplarındaki C-C düzlem için simetrik gerilme
1428	1400–1450	Selülozdan CH ₂ simetrik bükme
1312	1314	CH ₂ bağını
—	1377	(C — H) eğilme titreşimi
1331	1320	C ₁ — Polisakkaritlerdeki aromatik halkanın CO grupları
—	1264	O-H bağını
—	1243	Lignindeki C ₁ — asetil grubunun O germe titreşimi
1034,1112, 1137, 1192	900–1190	C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmesine
874	894	monosakkaritler arasındaki β-glikosidik bağlantılar

Asphodeline taurica lifleri için 3348 cm⁻¹'de gözlemlenen geniş eğri serbest uzanan O-H gerilmesini göstermektedir ve selüloz varlığına atfedilmektedir (Vijay vd., 2021). 2908 cm⁻¹'deki tepe noktası, selüloz ve hemiselülozdaki CH ve CH₂ titreşimlerine bağlı olarak C–H gerilme ve bükülmesine, 1618 cm⁻¹ bandı lif içerisinde —OH grubunu varlığının işaretidir (Ganapathy vd., 2019). 1331 cm⁻¹'deki küçük pikler polisakkaritlerde sırasıyla CH₂ ve selülozun C–H gruplarının ve aromatik halkanın C–O gruplarının varlığını gösterir (Belouadah vd., 2021). 1159-890 cm⁻¹ arasında görülen 1192, 1137, 1112 ve 878 cm⁻¹ titreşimleri C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmelerini temsil etmektedir (Ceylan vd., 2020).

4.2.5 *Juncus compressus* FTIR sonuçları

Juncus compressus FTIR sonuçları Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'te yer alan FTIR bantlarına ait bant konumları ve temsil ettiği gruplar Çizelge 4.6'da sunulmuştur (Vijay vd., 2021; Ganapathy vd., 2019; Senthamaraikannan ve Kathiresan, 2018; Belouadah vd., 2021; Ceylan vd., 2020).



Şekil 4.5. *Juncus compressus* FTIR spektrumu.

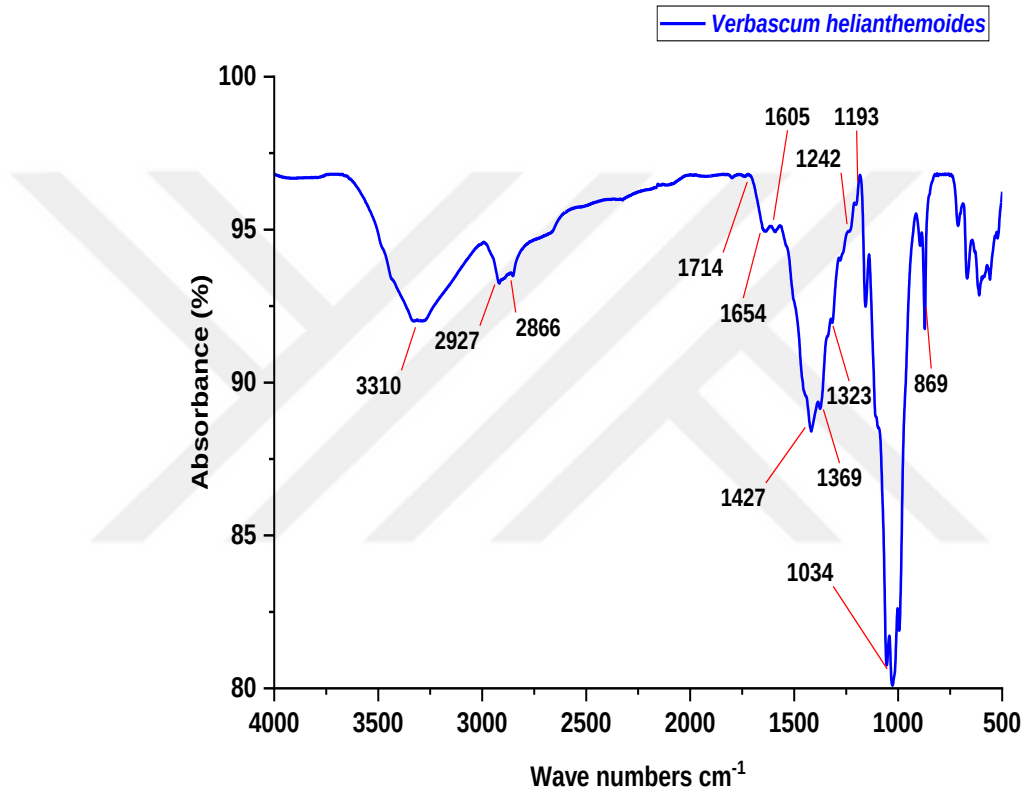
Çizelge 4.6. *Juncus compressus* FTIR spektrumu verileri.

<i>Juncus compressus</i> bant konumu. (cm ⁻¹)	Dalga numarası aralığı (cm ⁻¹)	Menşei
3347	3600–3100	Hidrojen bağlı — OH gerilme
2848, 2923	2950 ve 2854	Selüloz ve hemiselülozda C ₁ — , HCH ve CH ₂ 'den germe titreşimi
—	1728	C-O titreşimi, hemiselüloz ve pektindeki asetil ve üronik ester gruplarından ve lignindeki p-kümerik asitlerideki ester bağlantılarında görülmektedir
1647	1640	Lifte su bulunması. —OH gruplarının adsorpsiyon
—	1604	Lignin aromatik gruplarındaki C-C düzlem için simetrik gerilme
1432	1400–1450	Selülozdan CH ₂ simetrik bükme
1327	1314	CH ₂ bağını
1380	1377	(C — H) eğilme titreşimi
—	1320	C1 — Polisakkaritlerdeki aromatik halkanın CO grupları
1213	1264	O-H bağını
—	1243	Lignindeki C ₁ — asetil grubunun O germe titreşimi
1034,1163	900–1190	C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmesine
895	894	monosakkaritler arasındaki β-glikosidik bağlantılar

Juncus compressus lifleri için 3347 cm⁻¹'de gözlemlenen geniş eğri serbest uzanan O-H gerilmesini göstermektedir ve selüloz varlığına atfedilmektedir (Vijay vd., 2021). 2923 ve 2848 cm⁻¹'deki tepe noktası, selüloz ve hemiselülozdaki CH ve CH₂ titreşimlerine bağlı olarak C–H gerilme ve bükülmesini belirtir (Ganapathy vd., 2019). 1432 cm⁻¹ deki pik selülozdan kaynaklı CH₂ simetrik bükmeyi temsil etmektedir. 1380 cm⁻¹ ve 1327 cm⁻¹'deki küçük pikler polisakkaritlerde sırasıyla CH₂ ve selülozun C–H gruplarının ve aromatik halkanın C–O gruplarının varlığını gösterir (Belouadah vd., 2021). 1159-890 cm⁻¹ arasında görülen 1163,1034, ve 894 cm⁻¹ bantları C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmelerini temsil etmektedir (Ceylan vd., 2020).

4.2.6 *Verbascum helianthemoides* FTIR sonuçları

Verbascum helianthemoides FTIR sonuçları Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Şekil 4.6’da yer alan FTIR bantlarına ait bant konumları ve temsil ettiği gruplar Çizelge 4.7’de sunulmuştur (Vijay vd., 2021; Ganapathy vd., 2019; Senthamaraikannan ve Kathiresan, 2018; Belouadah vd., 2021; Ceylan vd., 2020).



Şekil 4.6. *Verbascum helianthemoides* FTIR spektrumu.

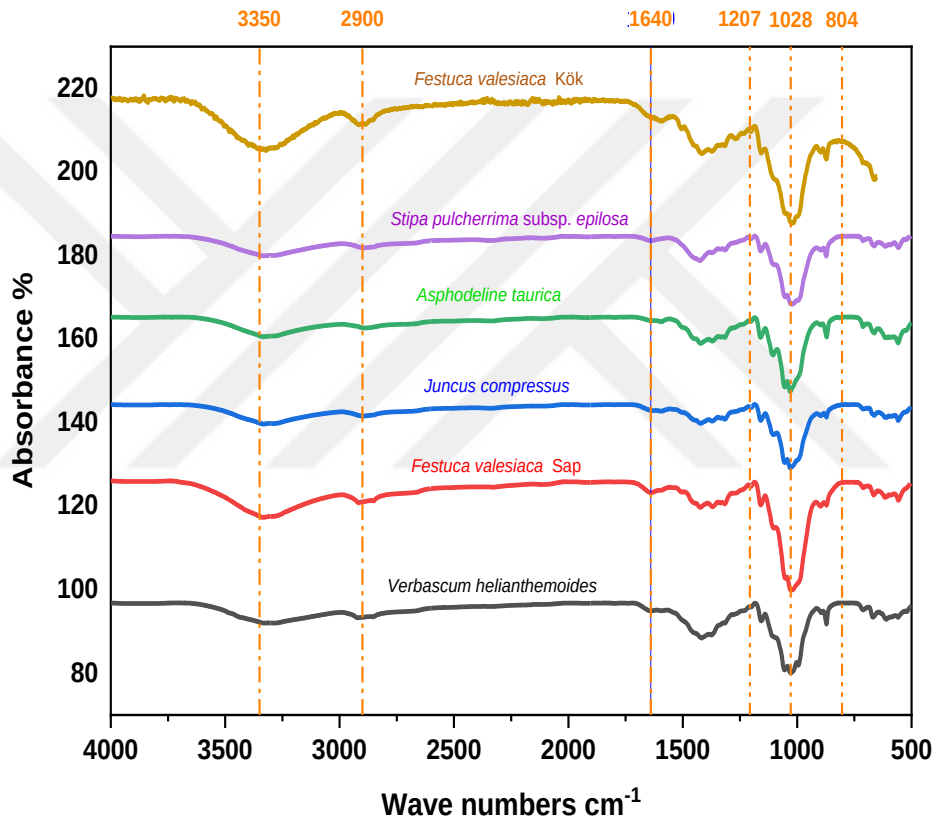
Çizelge 4.7. *Verbascum helianthemoides* FTIR spektrumu verileri.

<i>Verbascum helianthemoides</i> bant konumu. (cm ⁻¹)	Dalga numarası aralığı (cm ⁻¹)	Menşei
3310	3600–3100	Hidrojen bağlı —OH gerilme
2927, 2866	2950 ve 2854	Selüloz ve hemiselülozda —C—H, HCH ve CH ₂ 'den germe titreşimi
1714	1728	C-O titreşimi, hemiselüloz ve pektindeki asetil ve üronik ester gruplarından ve lignindeki p-kümerik asitlerideki ester bağlantılarında görülmektedir
1654	1640	Lifte su bulunması. —OH gruplarının adsorpsiyon
1605	1604	Lignin aromatik gruplarındaki C-C düzlem için simetrik gerilme
1427	1400–1450	Selülozdan CH ₂ simetrik bükme
—	1314	CH ₂ bağı
1369	1377	(C — H) eğilme titreşimi
1323	1320	C1 —Polisakkaritlerdeki aromatik halkanın CO grupları
—	1264	O-H bağı
1242	1243	Lignindeki C1 —asetil grubunun O germe titreşimi
1034,1193	900–1190	C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmesine
869	894	monosakkaritler arasındaki β-glikosidik bağlantılar

Verbascum helianthemoides lifleri için 3310 cm⁻¹ titreşimi bandı selülozun bünyesinde yer alan glikoz birimlerindeki O-H gerilmelerini göstermektedir (Li ve ark., 2014). 2927 ve 2866 cm⁻¹ bantı C-H ve CH₂ bulunan gerilim titreşimlerini göstermektedir (Ganapathy vd., 2019). 1728 cm⁻¹ bantı C-O titreşimi, hemiselüloz ve pektindeki asetil ve üronik ester gruplarından ve lignindeki p-kümerik asitlerideki ester bağlantılarında görülmektedir. *Verbascum helianthemoides* lifi için 1714cm⁻¹ titreşimi hemiselüloz kalıntısına işaret etmektedir. 1654 cm⁻¹bandı lif içerisinde —OH grubunu varlığının işaretidir (Ganapathy vd., 2019). 1620-1595 cm⁻¹ arasındaki titreşimler aromatik halkanın C-C gerilmesini temsil etmektedir (Kumar vd., 2012). *Verbascum helianthemoides* lifi için 1605 cm⁻¹ titreşimi lignin kalıntısına işaret etmektedir. 1369 cm⁻¹ CH₂ bağı, 1427 cm⁻¹ —OH ve —CH düzlem içi bükülme

titreşimlerine atfedilir (Zhu ve ark., 2016). 1323 cm^{-1} C_1 - polisakkaritlerdeki aromatik halkanın CO gruplarını temsil etmektedir. 1242 cm^{-1} titreşimi lignindeki C_1 asetil grubunun O germe titreşimidir. $1159\text{-}890\text{ cm}^{-1}$ arasında görülen 1193 , 1034 ve 869 bantları C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmelerini göstermektedir (Ceylan vd., 2020). 869 cm^{-1} titreşimi glikozidik bağdan kaynaklanan titreşimleri ifade etmektedir (Kumar vd., 2012).

Şekil 4.7’de tez konusu türlerden elde edilmiş liflerin FTIR spektrumları verilmiştir.



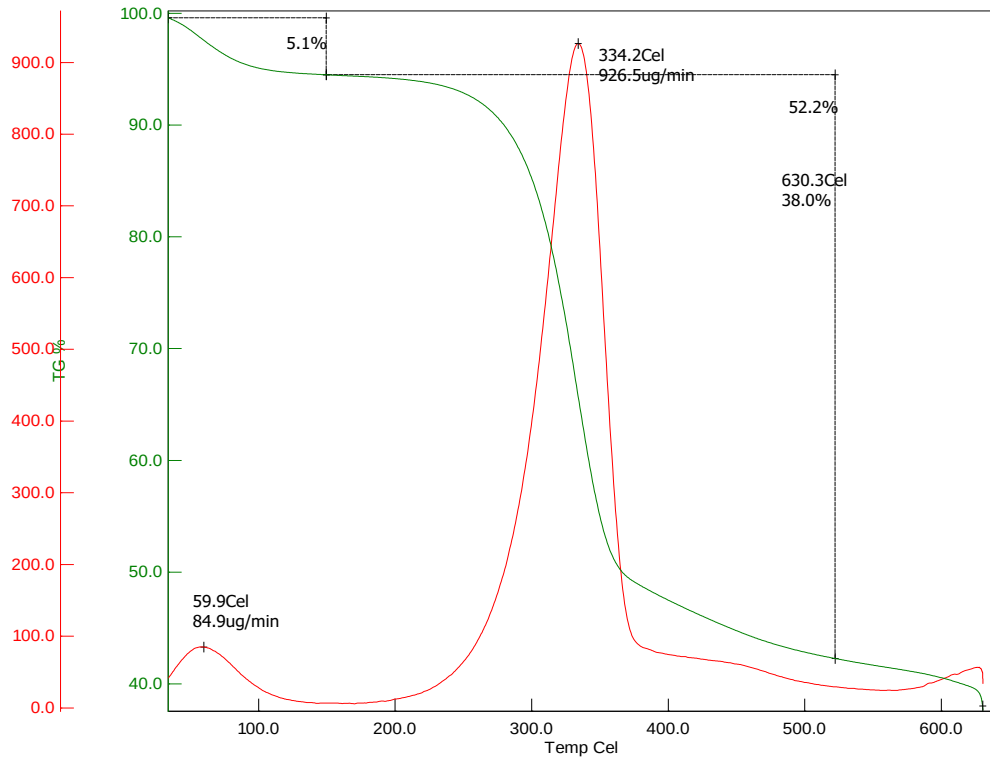
Şekil 4.7. Tez konusu tüm türlere ait liflerin FTIR spektrumu.

Şekil 4.7 incelendiğinde tez konusu tüm bitkilerden elde edilen selüloz liflerinin FTIR spektrumlarının birbirlerine benzer şekilde piklere sahip olduğu görülmektedir. *Festuca valesiaca* kök liflerindeki 1756 cm^{-1} ve 1242 cm^{-1} pikleri, *Verbascum helianthemoides* liflerindeki 1242 cm^{-1} ve 1605 cm^{-1} pikleri bu iki türe ait liflerde lignin kalıntısı olduğunu göstermektedir. *Festuca valesiaca* sap, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, *Asphodeline taurica* ve *Juncus compressus* FTIR spektrumlarının birbirleri ve ticari selüloz FTIR spektrumu ile benzer olduğu belirlenmiştir (Ziba vd., 2016).

4.3 Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

4.3.1 *Festuca valesiaca* kök selülozunun TGA sonuçları

Festuca valesiaca kök selülozunun termal bozunma davranışı Şekil 4.8’de gösterilen TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

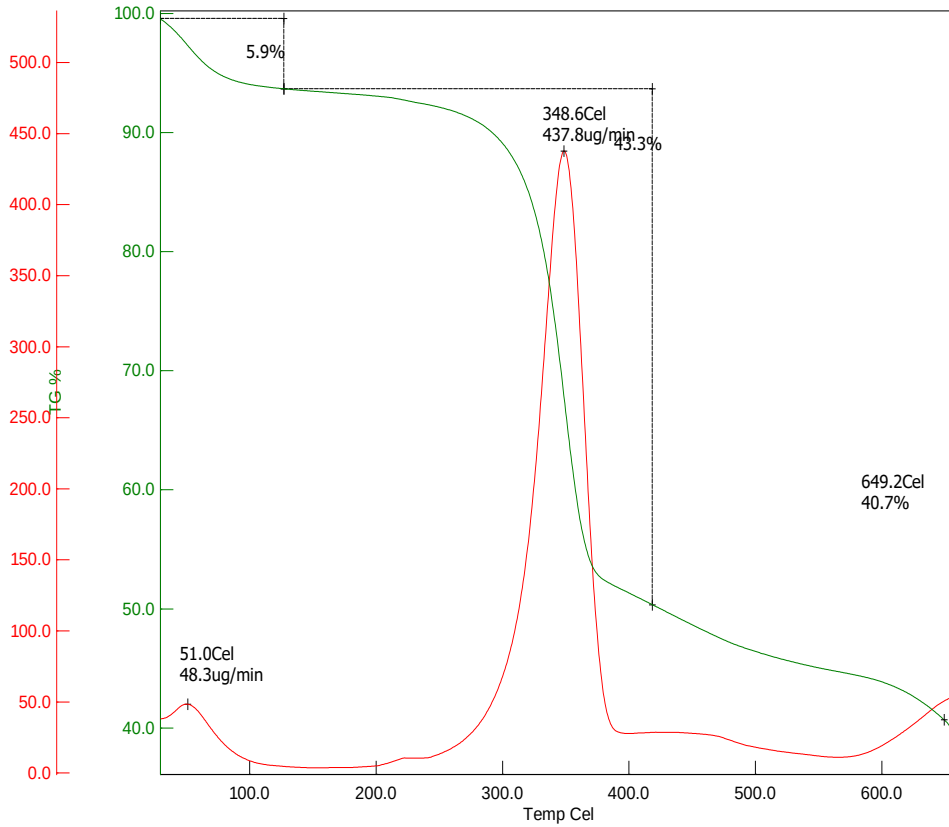


Şekil 4.8. *Festuca valesiaca* kök selülozunun TGA grafiği.

Festuca valesiaca kök selülozunun termal bozunma davranışı, Şekil 4.8’de gösterildiği gibi TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirildi. *Festuca valesiaca* kök selülozunun termal bozunma süreci üç aşamada gerçekleşmiştir. Liften nemin uzaklaşması sebebi ile ilk bozulma 59.9 °C’de kaydedildi (Manimaran vd., 2016). İlk bozunma sıcaklığının gözlemlendiği 30 °C ile 100 °C arasında %5.1’lik bir kütle kaybı kaydedildi. İlk bozunma sonrası yaklaşık sıcaklık 200 °C ye ulaşınca kadar bir termal stabilite gözlenmiştir. İkinci ana büyük bozunma, 240 °C’den 400 °C’ye doğru gelişti; burada kaydedilen kütle kaybı hemiselülozların termal bozunmasıyla bağlantılı olarak 270 °C’ye yakın bir tepe noktası tespit edildi. 334.2 °C’de gözle görülür bir tepe noktası, selülozun bozunması nedeniyle büyük bir kütle kaybına işaret etti (%52.2) (Reddy vd., 2012). 500 °C ile 650 °C arasında yer alan bölge kömürleşmiş kalıntının bozunması ile ortaya çıkmıştır.

4.3.2 *Festuca valesiaca* sap selülozunun TGA sonuçları

Festuca valesiaca sap selülozunun termal bozunma davranışı Şekil 4.9’da gösterilen TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

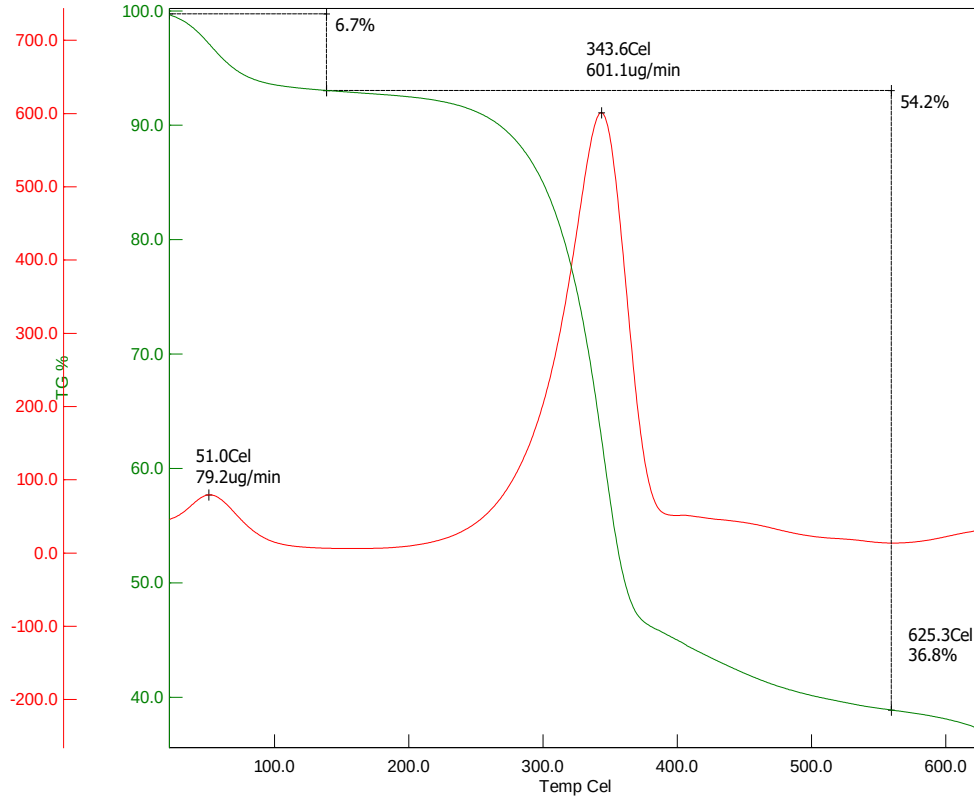


Şekil 4.9. *Festuca valesiaca* sap selülozunun termal bozunma davranışı

Festuca valesiaca sap selülozunun termal bozunma davranışı, Şekil 4.9’da gösterildiği gibi TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirildi. *Festuca valesiaca* sap selülozunun termal bozunma süreci üç aşamada gerçekleşmiştir. Liften nemin kaybolması nedeniyle erken bozulma 51 °C’de fark edildi (Manimaran vd., 2016). İlk bozunmanın görüldüğü 30 °C ile 100 °C arasında %5.9 kütle kaybı kaydedildi. Ardından yaklaşık 200’e kadar bir termal stabilite gözlenmiştir. İkinci ana bozunma, 240 °C’den 400 °C’ye doğru gelişti; buradaki kütle kaybı hemiselülozların termal bozunmasıyla bağlantılı olarak 270 °C’ye yakın bir tepe noktası tespit edildi. 348.6 °C’de gözle görülür bir tepe noktası, selülozun bozunması nedeniyle büyük bir kütle kaybına işaret etti (%54.2) (Reddy vd., 2012). 500 °C ile 650 °C arasında yer alan bölge kömürleşmiş kalıntının bozunması ile ortaya çıkmıştır.

4.3.3 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selülozünün TGA sonuçları

Stipa pulcherrima subsp. *epilosa* selülozünün termal bozunma davranışı Şekil 4.10'da gösterilen TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

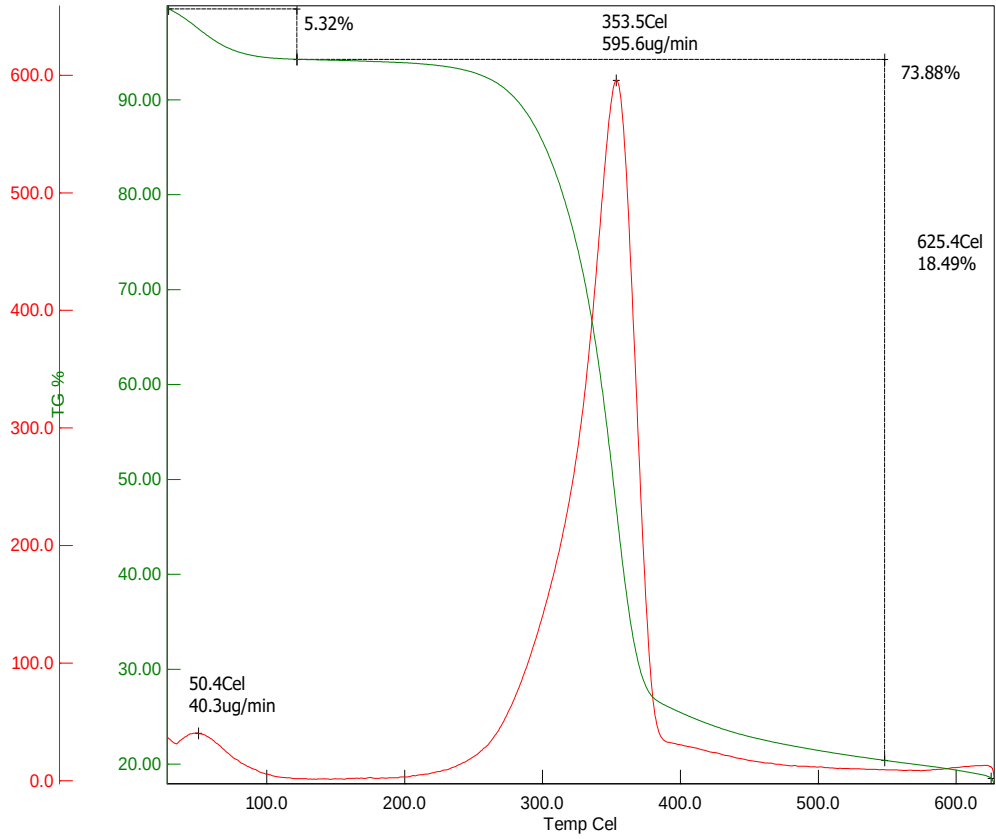


Şekil 4.10. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selülozünün TGA grafiği.

Stipa pulcherrima subsp. *epilosa* selülozünün termal bozunma davranışı Şekil 4.10'da gösterildiği gibi TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirildi. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selülozünün termal bozunması üç aşamada gerçekleşmiştir. Liftten nemin uzaklaşması sebebiyle erken bozulma 51 °C'de kaydedildi (Manimaran vd., 2016). İlk bozunmanın kaydedildiği 30 °C ile 100 °C arasında %6.7 kütle kaybı hesaplandı. İlk bozunma sonrası yaklaşık 200 °C 'ye kadar bir termal stabilite kaydedilmiştir. İkinci büyük bozunma, 240 °C'den 400 °C'ye doğru gerçekleşti; buradaki kütle kaybının sebebi hemiselülozların termal bozunmasıyla bağlantılı olarak 270 °C'ye yakın bir tepe noktada kaydedildi. 343.6 °C'de belirgin bir tepe noktası, selülozun bozunması sebebiyle büyük oranda kütle kaybı kaydedildi (Reddy vd., 2012). 500 °C ile 650 °C arasında yer alan bölge kömürleşmiş kalıntının bozunması ile ortaya çıkmıştır.

4.3.4 *Asphodeline taurica* selülozunun TGA sonuçları

Asphodeline taurica selülozunun termal bozunma davranışı Şekil 4.11’de gösterilen TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

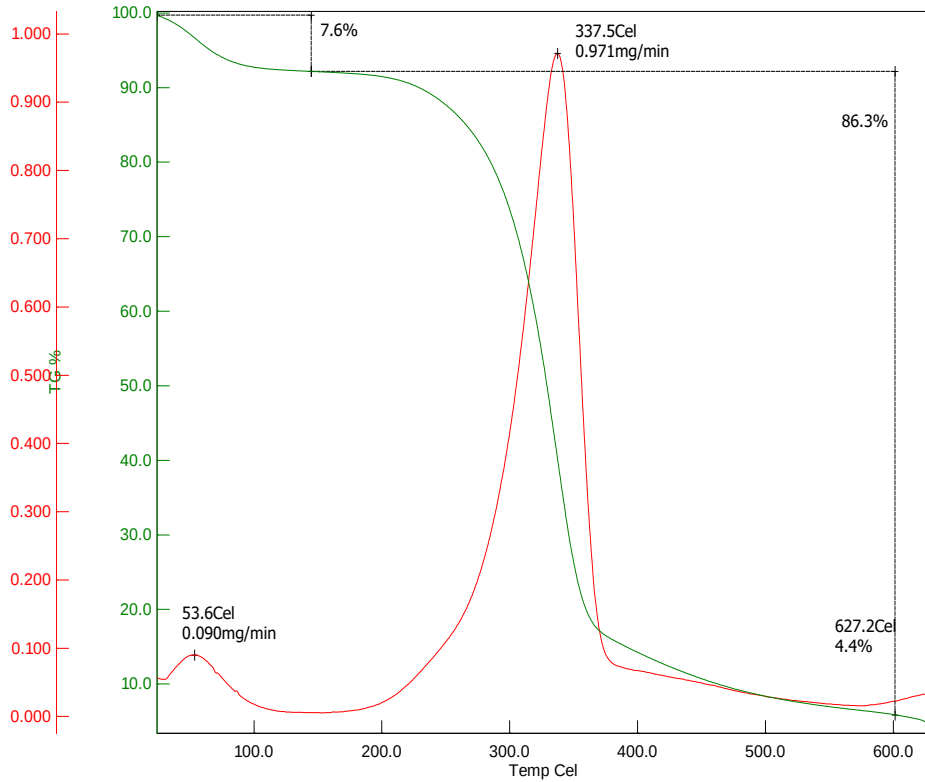


Şekil 4.11. *Asphodeline taurica* selülozunun TGA grafiği.

Asphodeline taurica selülozunun termal bozunma davranışı, Şekil 4.11’de gösterildiği gibi TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirildi. *Asphodeline taurica* selülozunun termal bozunması üç aşamada gerçekleşmiştir. Liften nemin uzaklaşması sebebi ile ilk bozulma 50.4 °C’de kaydedildi (Manimaran vd., 2016). İlk bozunmanın kaydedildiği 30 °C ile 100 °C arasında %5.32 kütle kaybı hesaplandı. İlk bozunmadan sonrası sıcaklık 200 °C’ye çıkana kadar termal bir stabilite gözlenmiştir. İkinci büyük bozunma, 240 °C’den 400°C’ye doğru ölçüldü; bu kütle kaybı hemiselülozların termal bozunmasıyla bağlantılı olarak 270 °C’ye yakın bir tepe noktasında gözlemlendi. 353.5 °C’de yer alan tepe noktası, selülozun bozunması sebebi ile büyük bir kütle kaybı kaydedildi (%73,88) (Reddy vd., 2012). 500 °C ile 650 °C arasında yer alan bölge kömürleşmiş kalıntının bozunması ile ortaya çıkmıştır.

4.3.5 *Juncus compressus* selülozünün TGA sonuçları

Juncus compressus selülozünün termal bozunma davranışı Şekil 4.12’de gösterilen TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

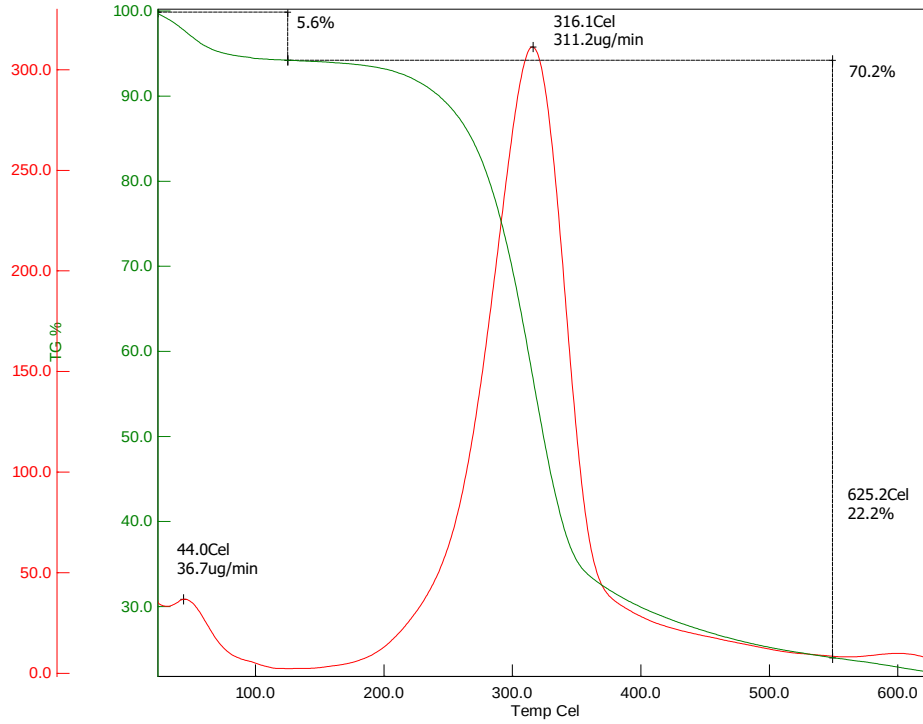


Şekil 4.12. *Juncus compressus* selülozünün TGA grafiği.

Juncus compressus sap selülozünün termal bozunma davranışı, Şekil 4.12’de gösterildiği gibi TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirildi. *Juncus compressus* sap selülozünün termal bozunması üç aşamada gerçekleşmiştir. Liften nemin uzaklaşması sebebiyle ilk bozulma 53.6 °C’de kaydedildi (Manimaran vd., 2016). İlk bozunmanın kaydedildiği 30 °C ile 100 °C arasında %7.6 kütle kaybı hesaplandı. İlk bozunma sonrasında sıcaklık 240 °C ’ye çıkana kadar termal stabilite gözlemlenmiştir. İkinci büyük bozunma, 240 °C’den 400 °C’ye doğru gerçekleşmiştir; buradaki kütle kaybı hemiselülozların termal bozunmasından kaynaklanmıştır. 337.5 °C’de görülen bir tepe noktası, selülozun bozunması sebebiyle büyük bir kütle kaybı gerçekleşmiştir (Reddy vd., 2012). Son bozunma 500 °C ile 650 °C arasında yer alan bölge kömürleşmiş kalıntının bozunması ile ortaya çıkmıştır. *Juncus compressus* sap selülozünün termal bozunma davranışının *Juncus acutus* termal bozunması ile benzerlik göstermektedir (El Ghali vd., 2012).

4.3.6 *Verbascum helianthemoides* selülozünün TGA sonuçları

Verbascum helianthemoides selülozünün termal bozunma davranışı Şekil 4.13'te gösterilen TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.13. *Verbascum helianthemoides* selülozünün TGA grafiği.

Verbascum helianthemoides selülozünün termal bozunma davranışı Şekil 4.13'te gösterildiği gibi TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirildi. *Verbascum helianthemoides* selülozünün termal bozunmasının üç aşamada gerçekleştiği kaydedilmiştir. Liftten nemin uzaklaşması sebebiyle ilk bozulma 44 °C'de kaydedildi (Manimaran vd., 2016). İlk bozunmanın kaydedildiği 30 °C ile 100 °C arasında %5.6 kütle kaybı hesaplandı. İlk bozunmadan sonra sıcaklık 200 °C'ye ulaşınca kadar termal stabilite gözlenmiştir. İkinci büyük bozunma, 240 °C'den 400 °C'ye doğru gelişti; buradaki kütle kaybının sebebi hemiselülozun termal bozunmasıyla ilgili olarak 270 °C'ye yakın bir tepe noktası kaydedildi. 316.1 °C'de kaydedilen tepe noktası, selülozun bozunması sebebiyle büyük bir kütle kaybı gerçekleşmiştir (%73,88) (Reddy vd., 2012). 500 °C ila 650 °C arasındaki yer alan bölge kömürleşmiş kalıntının bozunması ile ortaya çıkmıştır.

Doktora konusu tüm bitkilere ve bazı bitkilere ait selüloz liflerinin DTG verileri Şekil 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Lif örneklerinin DTG verileri.

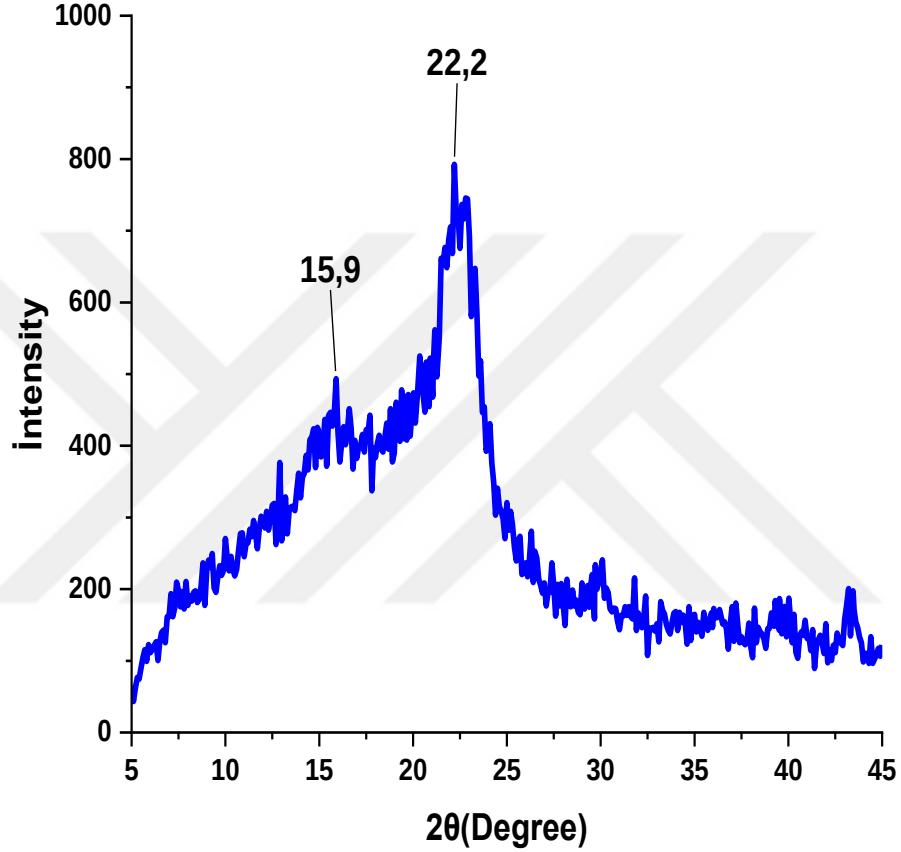
Bitki Türleri	Tilk (°C)	Tmax (°C)	Kaynaklar
<i>Asphodeline taurica</i>	53.6	353.5	Tespit
<i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i>	50.4	343.6	Tespit
<i>Festuca valesiaca</i> sap	51	348.6	Tespit
<i>Festuca valesiaca</i> kök	51	334.2	Tespit
<i>Verbascum helianthemoides</i>	59.9	316.1	Tespit
<i>Juncus compressus</i> sap	44	337.5	Tespit
<i>Agave sisalana</i> (Sisal)	-	348	(Moran vd. 2008)
<i>Atriplex halimulus</i>	-	335	(Belovadah vd. 2021)
<i>Chamaerops humilis</i> yaprak	-	340	(Fardioui vd. 2016)
<i>Coccinia indica</i>	-	376	(Bhuvaneshwaran vd. 2021)
<i>Momordica charantia</i>	-	339.1	(Khan vd. 2022)
<i>Vachellia farnesiana</i>	-	345	(Vijay vd. 2022)
<i>Hierochloe odorata</i>	-	352	(Dalmış vd. 2020)

Çizelge 4.8 incelendiğinde lif örneklerinin ilk bozunma sıcaklığının 44 °C ile 53.6 °C arasında olduğu görülmektedir. Bu aralıklardaki bozunma liflerin içinde bulunan nemden kaynaklamaktadır. Bu bağlamda *Verbascum helianthemoides* türünün en fazla nem içeren life sahip olduğu en az nem içeriğine sahip lifin ise *Festuca valesiaca* kök lifleri olduğu belirlenmiştir. Türleri ait selüloz liflerinin maximum bozulma sıcaklıklarının 316.1 °C ile 353.5 °C arasında gerçekleştiği görülmektedir ve farklı bitki türlerinden elde edilmiş selüloz bozunma sıcaklıkları ile benzerlik göstermektedir. Tez çalışmasındaki bitkiler arasında termal bozunması en dayanıklı olan bitki lifi olarak *Asphodeline taurica* türüne ait lif olarak bulunmuştur. Termal bozunma dayanıklılığı en az olan lif ise *Verbascum helianthemoides* türünün selüloz lifi olarak belirlenmiştir.

4.4 X-ışını Kırınımı (XRD) Analiz Sonuçları

4.4.1 *Festuca valesiaca* kök XRD analiz sonuçları

Festuca valesiaca kök selüloz liflerine ait XRD grafiği Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

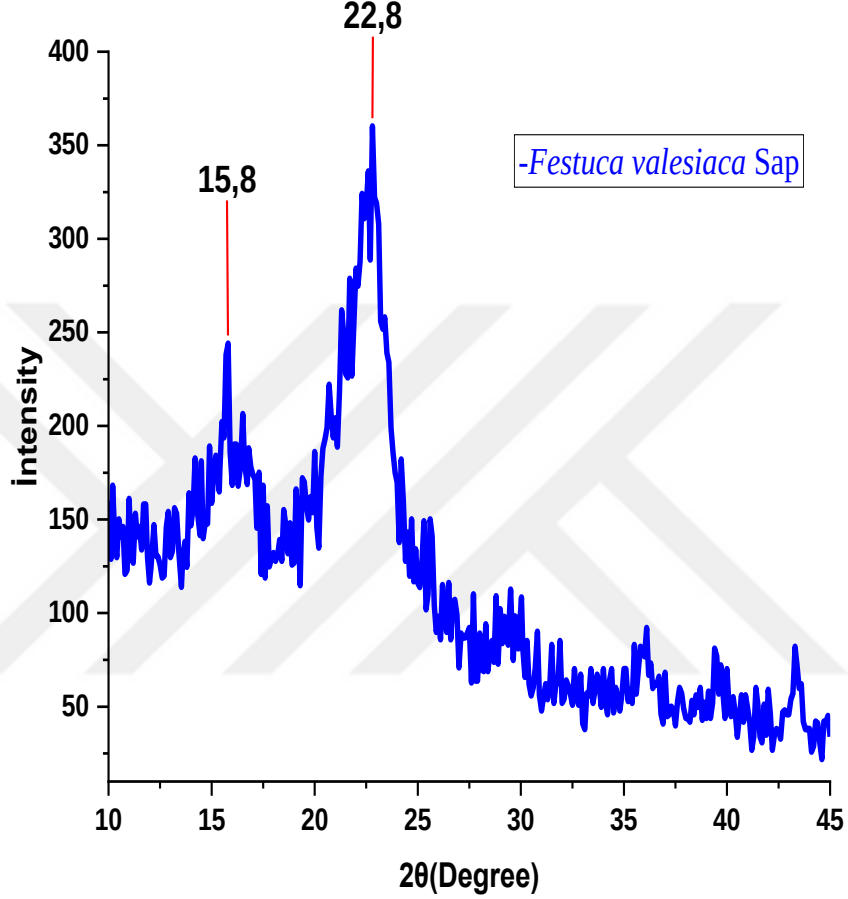


Şekil 4.14. *Festuca valesiaca* kök selüloz lifleri XRD grafiği.

Şekil 4.14'te verilen *Festuca valesiaca* kök selüloz lifleri için iki belirgin pik gözlemlenmiştir. $2\theta = 15.9^\circ$ 'deki pik *Festuca valesiaca* kök liflerindeki amorf materyali (lignin, hemiselüloz, pektin) temsil eden 110 düzleminden kaynaklanmaktadır. $2\theta = 22.2^\circ$ 'deki ikinci pik selüloz I bileşeninin varlığından dolayı 200 düzlemine karşılık gelir. Kristallik indeksi, doğal fiber kompozitlerin mekanik özelliklerini etkiler. *Festuca valesiaca* kök liflerinin kristallik indeksi (CrI) %28.3 olarak hesaplanmıştır (Vijay vd., 2022).

4.4.2 *Festuca valesiaca* sap XRD analiz sonuçları

Festuca valesiaca türüne ait sap selüloz liflerinin XRD analiz sonuçları Şekil 4.15’de verilmiştir.

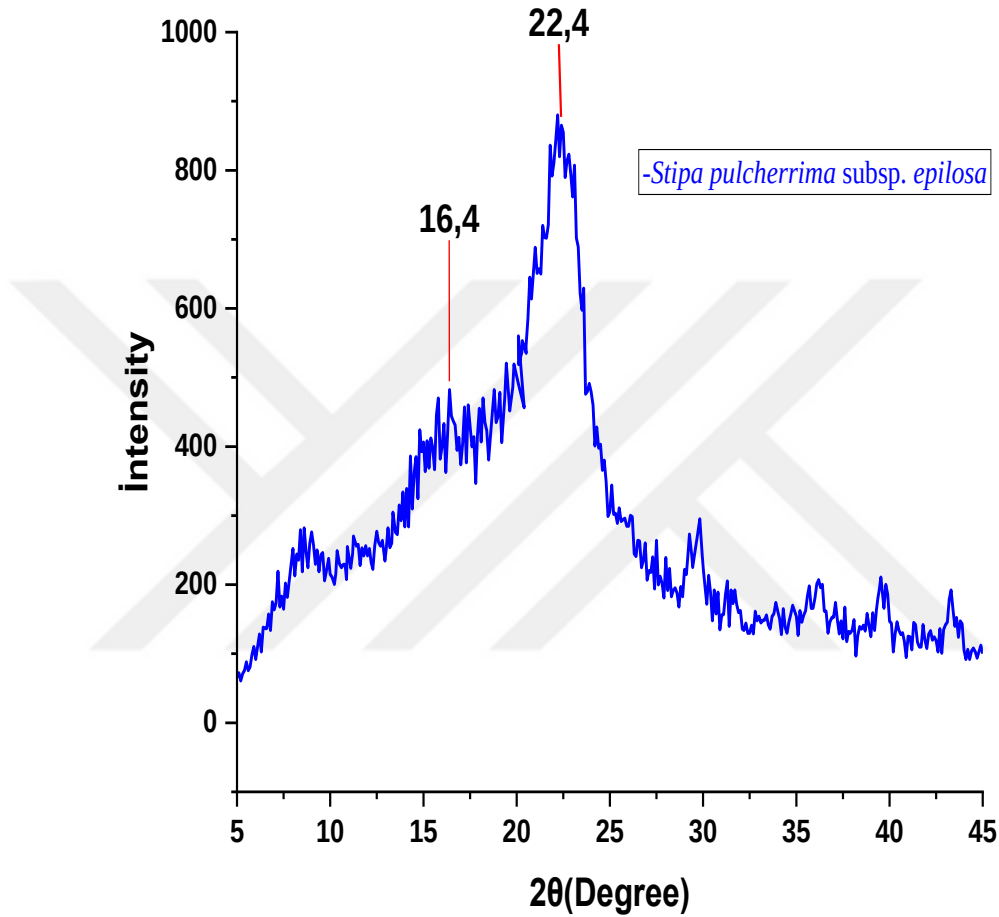


Şekil 4.15. *Festuca valesiaca* türüne ait sap selüloz liflerinin XRD grafiği.

Şekil 4.15’de verilen *Festuca valesiaca* sap selüloz lifleri için iki belirgin pik gözlemlenmiştir. $2\theta = 15.8^\circ$ ’deki pik *Festuca valesiaca* sap liflerindeki amorf materyali (lignin, hemiselüloz, pektin) temsil eden 110 düzleminden kaynaklanmaktadır. $2\theta = 22.2^\circ$ ’deki ikinci pik selüloz I bileşeninin varlığından dolayı 200 düzlemine karşılık gelir. Kristallik indeksi, doğal fiber kompozitlerin mekanik özelliklerini etkiler. *Festuca valesiaca* kök liflerinin kristallik indeksi (CrI) %30.7 olarak hesaplanmıştır (Vijay vd., 2022).

4.4.3 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* XRD analiz sonuçları

Stipa pulcherrima subsp. *epilosa* türüne ait sap selüloz liflerinin XRD analiz sonuçları Şekil 4.16’da verilmiştir.

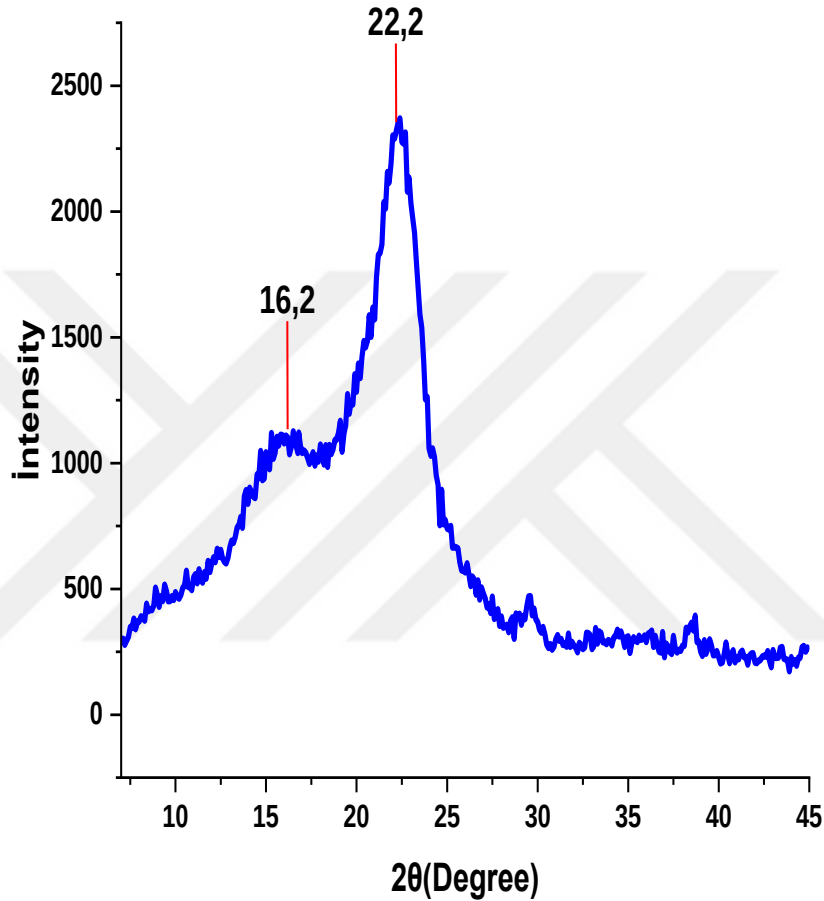


Şekil 4.16. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selüloz liflerinin XRD grafiği.

Şekil 4.16’da verilen *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selüloz lifleri için iki belirgin pik gözlemlenmiştir. $2\theta = 16.4^\circ$ ’deki pik *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* liflerindeki amorf materyali (lignin, hemiselüloz, pektin) temsil eden 110 düzleminden kaynaklanmaktadır. $2\theta = 22.4^\circ$ ’deki ikinci pik selüloz I bileşeninin varlığından dolayı 200 düzlemine karşılık gelir. Kristallik indeksi, doğal fiber kompozitlerin mekanik özelliklerini etkiler. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* liflerinin kristallik indeksi (CrI) %26.7 olarak hesaplanmıştır (Vijay vd., 2022).

4.4.4 *Asphodeline taurica* XRD analiz sonuçları

Asphodeline taurica türüne ait sap selüloz liflerinin XRD analiz sonuçları Şekil 4.17’de verilmiştir.

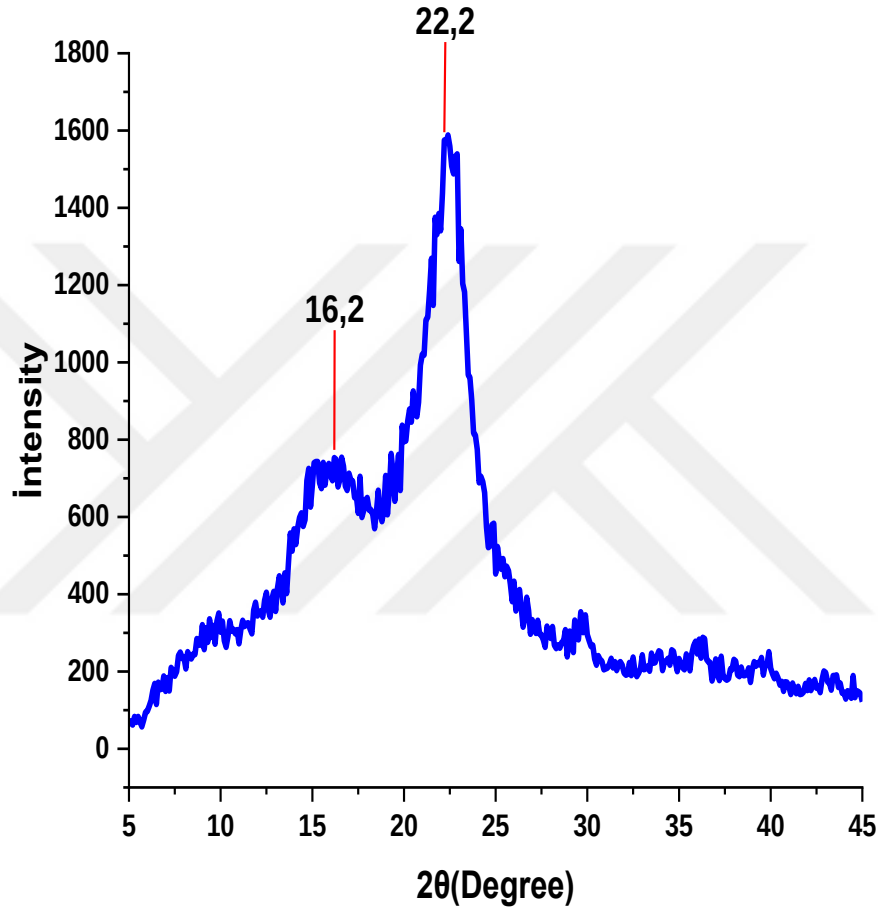


Şekil 4.17. *Asphodeline taurica* türüne ait selüloz liflerinin XRD grafiği.

Şekil 4.17’de verilen *Asphodeline taurica* selüloz lifleri için iki belirgin pik gözlemlenmiştir. $2\theta = 16,2^\circ$ ’deki pik *Asphodeline taurica* liflerindeki amorf materyali (lignin, hemiselüloz, pektin) temsil eden 110 düzleminden kaynaklanmaktadır. $2\theta = 22,2^\circ$ ’deki ikinci pik selüloz I bileşeninin varlığından dolayı 200 düzlemine karşılık gelir. Kristallik indeksi, doğal fiber kompozitlerin mekanik özelliklerini etkiler. *Asphodeline taurica* liflerinin kristallik indeksi (CrI) %27.2 olarak hesaplanmıştır (Vijay vd., 2022).

4.4.5 *Juncus compressus* XRD analiz sonuçları

Juncus compressus türüne ait sap selüloz liflerinin XRD analiz sonuçları Şekil 4.18’de verilmiştir.

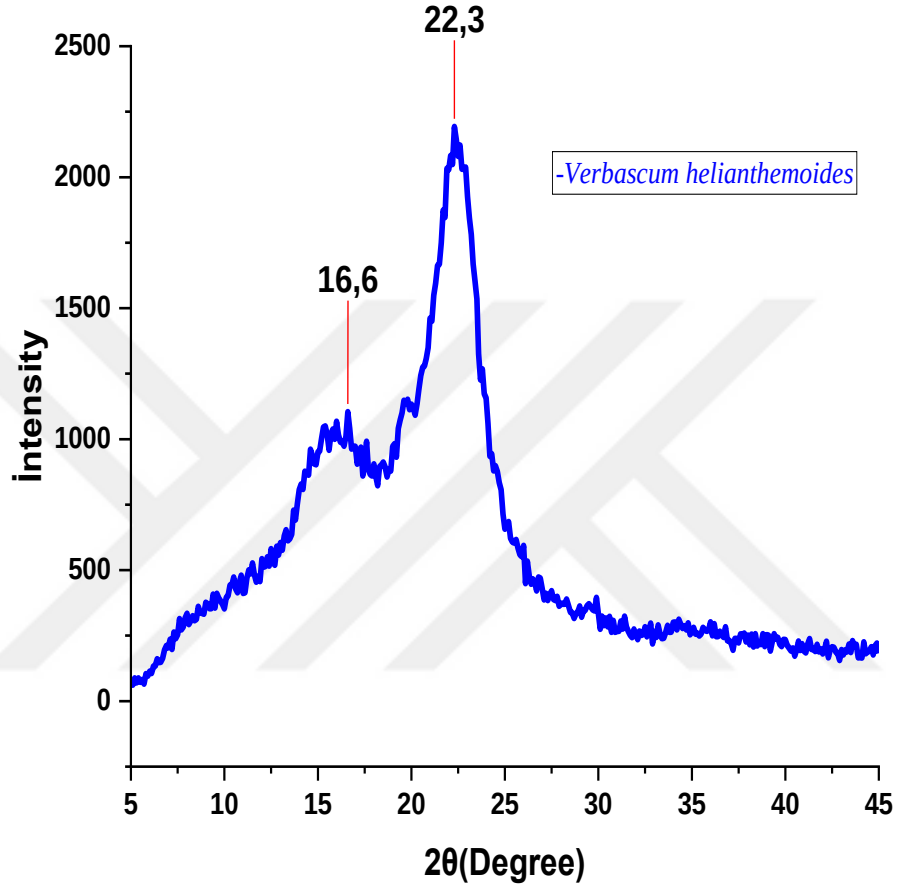


Şekil 4.18. *Juncus compressus* sap selüloz lifinin XRD grafiği.

Şekil 4.18’de verilen *Juncus compressus* selüloz lifleri için iki belirgin pik gözlemlenmiştir. $2\theta = 16,2^\circ$ ’deki pik *Juncus compressus* liflerindeki amorf materyali (lignin, hemiselüloz, pektin) temsil eden 110 düzleminden kaynaklanmaktadır. $2\theta = 22,2^\circ$ ’deki ikinci pik selüloz I bileşeninin varlığından dolayı 200 düzlemine karşılık gelir. Kristallik indeksi, doğal fiber kompozitlerin mekanik özelliklerini etkiler. *Juncus compressus* liflerinin kristallik indeksi (CrI) %27.2 olarak hesaplanmıştır (Vijay vd., 2022).

4.4.6 *Verbascum helianthemoides* XRD analiz sonuçları

Verbascum helianthemoides türüne ait sap selüloz liflerinin XRD analiz sonuçları Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. *Verbascum helianthemoides* selüloz lifinin XRD grafiği.

Şekil 4.19’da verilen *Verbascum helianthemoides* selüloz lifleri için iki belirgin pik gözlenmiştir. Gözlenen ilk tepenin varlığı, amorf bileşeni ifade etmektedir ve bu ilk tepenin varlığı 110 düzleminde yer alan $2\theta = 16.6^\circ$ aralığında kaydedilmiştir. $2\theta = 22.3^\circ$ aralığında kaydedilen ikinci tepe ise selüloz I bileşeninin varlığından kaynaklanmaktadır ve 200 düzleminde kaydedilmektedir (Vijay ve ark., 2022). *Verbascum helianthemoides* liflerinin kristallik indeksi (CrI) %25.5 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9’da tez konusu türlere ve bazı farklı bitkilere ait selüloz liflerinin kristallik indeksi değerleri toplu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Bitki türlerine ait selüloz liflerinin kristallik indeksi değerleri.

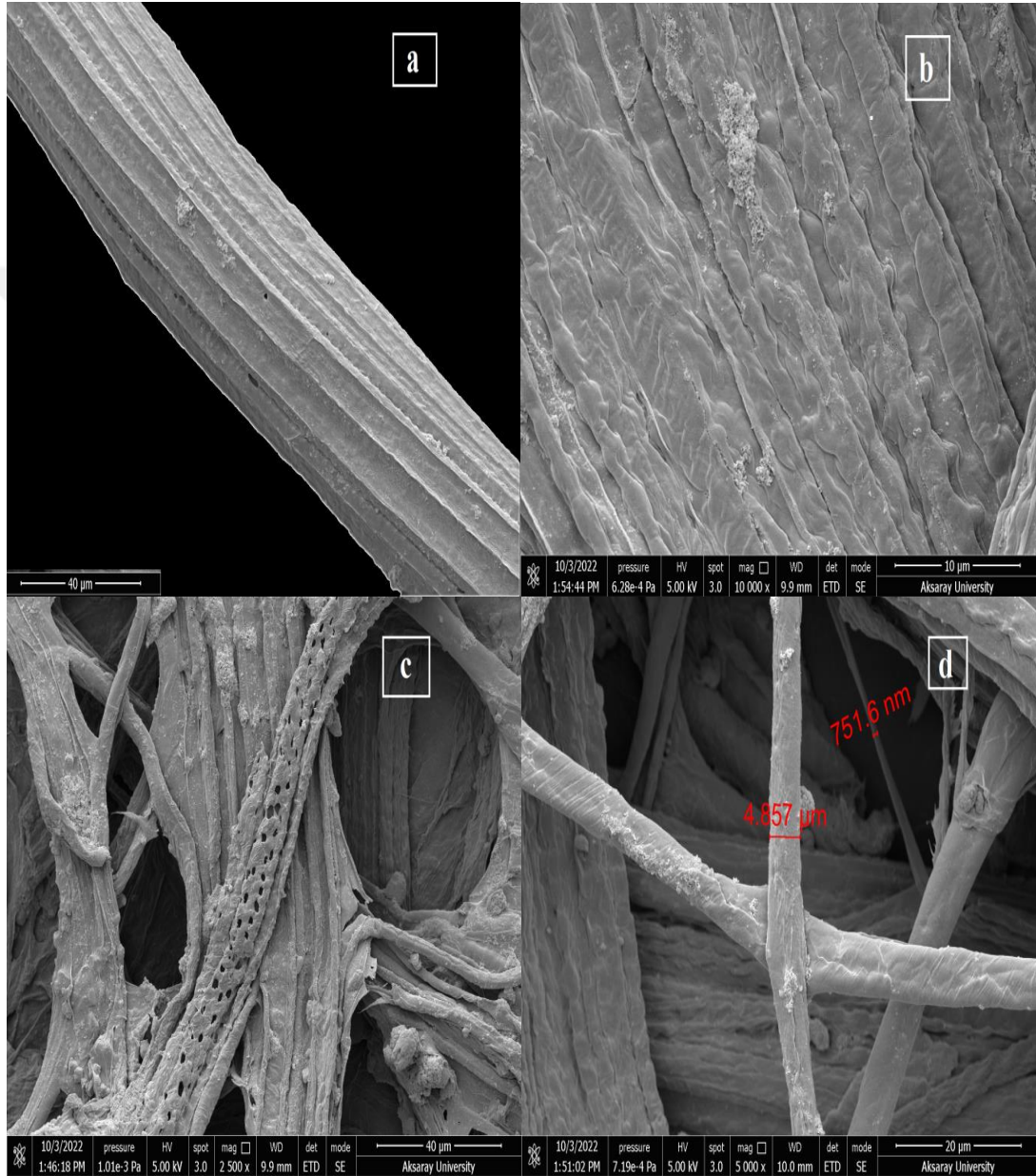
Bitki Türleri	Kristallik indeksi (CrI) (%)	Kaynaklar
<i>Juncus compressus</i> sap	27.2	Tespit
<i>Asphodeline taurica</i>	27.2	Tespit
<i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i>	26.7	Tespit
<i>Festuca valesiaca</i> sap	30.7	Tespit
<i>Festuca valesiaca</i> kök	28.3	Tespit
<i>Verbascum helianthemoides</i>	25.5	Tespit
<i>Agave sisalana</i> (Sisal)	75	(Moran vd. 2008)
<i>Chamaerops humilis</i> yaprak	63	(Fardioui vd. 2016)
<i>Juncus effulus</i>	33.4	(Maache vd. 2017)
<i>Coccinia indica</i>	53.03	(Bhuvaneshwaran vd. 2021)
<i>Piliostigma racemosa</i>	56.69	(Ramkuvar ve Saravan, 2021)
<i>Vachellia farnesiana</i>	38.3	(Vijay vd. 2022)

Tez konusu tüm türlere ait selüloz liflerinin kristallik indekslerinin birbirlerine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. En düşük kristallik indeksi %26.7 ile *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* türünde en yüksek kristallik indeksi %30.7 ile *Festuca valesiaca* sap selülozunda belirlenmiştir. Fakat Çizelge 4.9’da yer alan diğer bitkilerin selülozlarının kristallik indekslerine göre tez konusu bitkilerin kristallik indekslerinin düşük olduğu görülmüştür. Tez konusu bitkilerinin selülozlarının kristallik indeksine en yakın bitki türleri olarak %33.4 ile *Juncus effulus* ve %38.3 ile *Vachellia farnesiana* türlerinin olduğu görülmüştür. Tez konusu bitki selülozlarının kristallik indekslerinin benzer olma ve düşük olma sebebi olarak bitki liflerinin benzer kimyasal işleme tabi tutulmalarının olduğu düşünülmektedir.

4.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları

4.5.1 *Festuca valesiaca* kök liflerinin yüzey morfolojisi

Şekil 4.20’de *Festuca valesiaca* kök selüloz liflerinin farklı büyütme oranlarına ait yüzey morfolojisini gösterilmiştir.



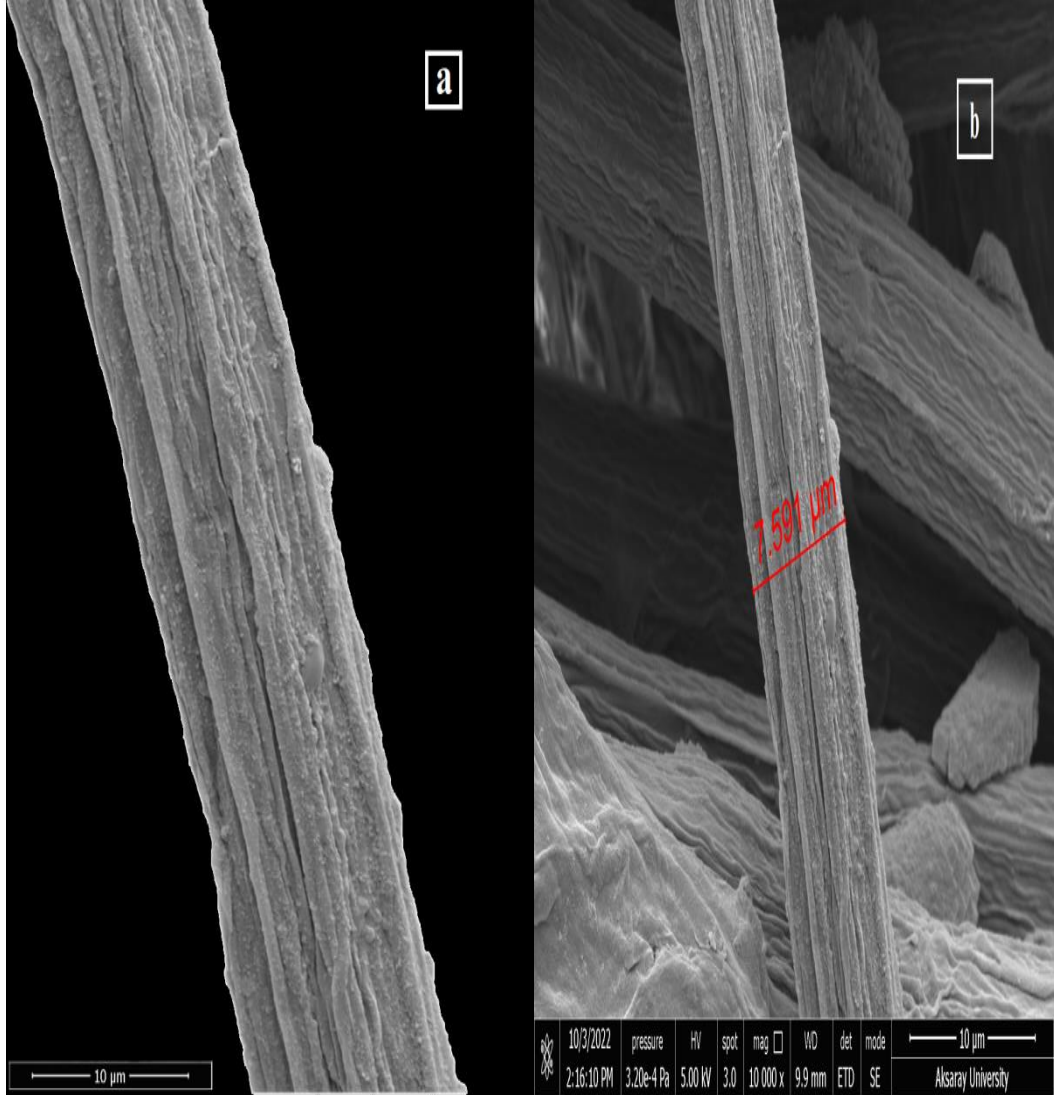
Şekil 4.20. *Festuca valesiaca* kök selüloz liflerinin SEM görüntüleri.

Şekil 4.20a’da *Festuca valesiaca* kök selülozuna ait lif görülmektedir ve çapı 41.73 µm olarak ölçülmüştür. Lif üzerinde küçük boşluklu mikro çatlakların varlığı Şekil 4.20c’de ve ayrıca mikrofibrillerin varlığı Şekil 4.20d’de gözlenmiştir.

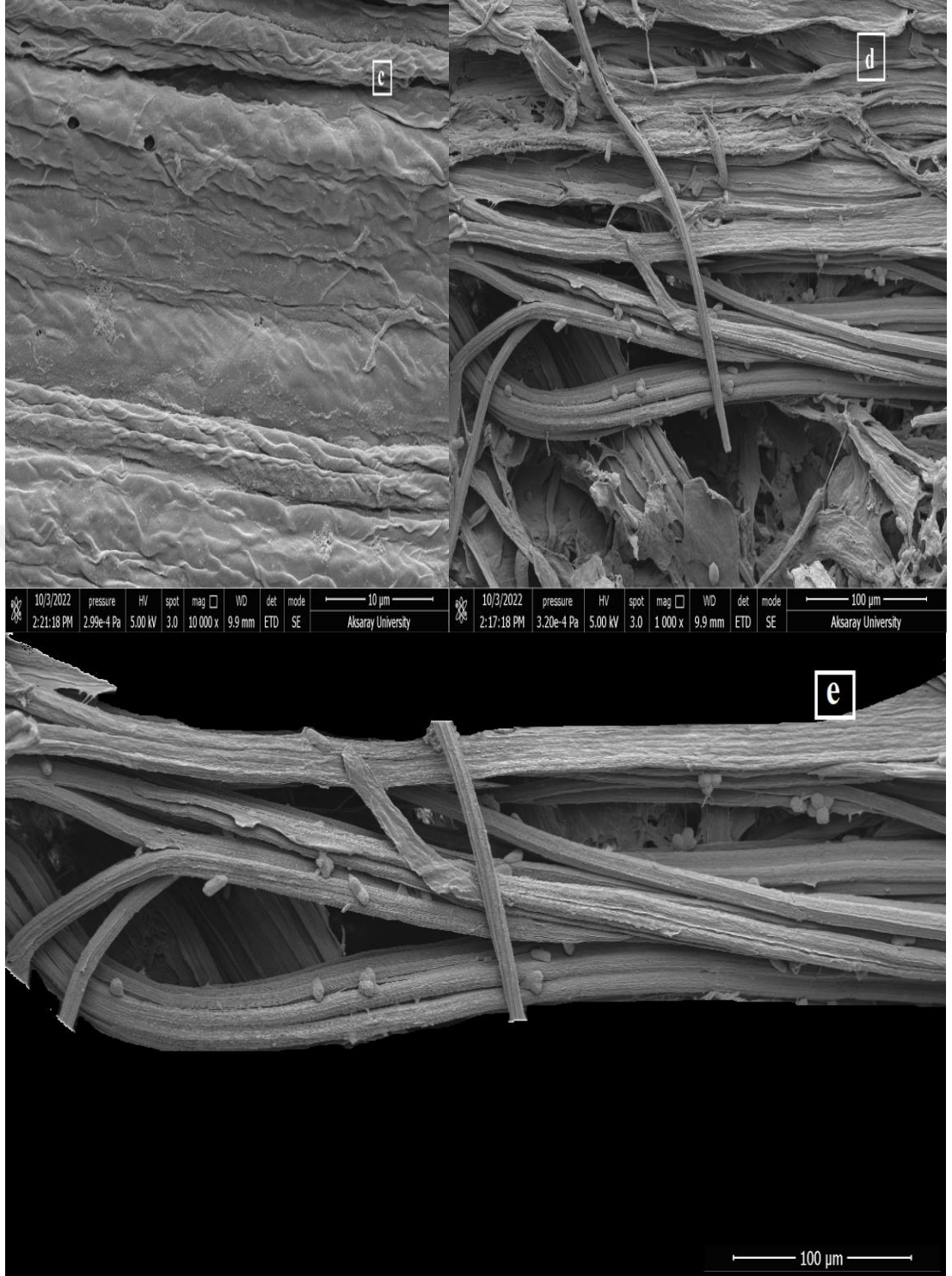
Şekil 4.20d’de görülen lifler yüzeyde küçük safsızlıkların bulunduğunu da görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.20b ve Şekil 4.20c *Festuca valesiaca* kök selüloz liflerinde oldukça fazla miktarda yarık ve olukların varlığını ve pürüzlü bir yüzeye sahip lif yapısında olduğu görülmüştür. *Festuca valesiaca* kök lifinin morfolojisinde de var olan lifin pul pul ve pürüzlü bir dış morfolojide olması polimer kompozit malzeme üretiminde liflerin matris ile bağlanma kabiliyetini arttırdığı bildirilmiştir (Indran ve ark., 2014).

4.5.2 *Festuca valesiaca* sap liflerinin yüzey morfolojisi

Şekil 4.21’de *Festuca valesiaca* sap selüloz liflerinin farklı büyütme oranlarına ait yüzey morfolojisini gösterilmiştir.



Şekil 4.21. *Festuca valesiaca* sap selüloz liflerinin SEM görüntüleri.

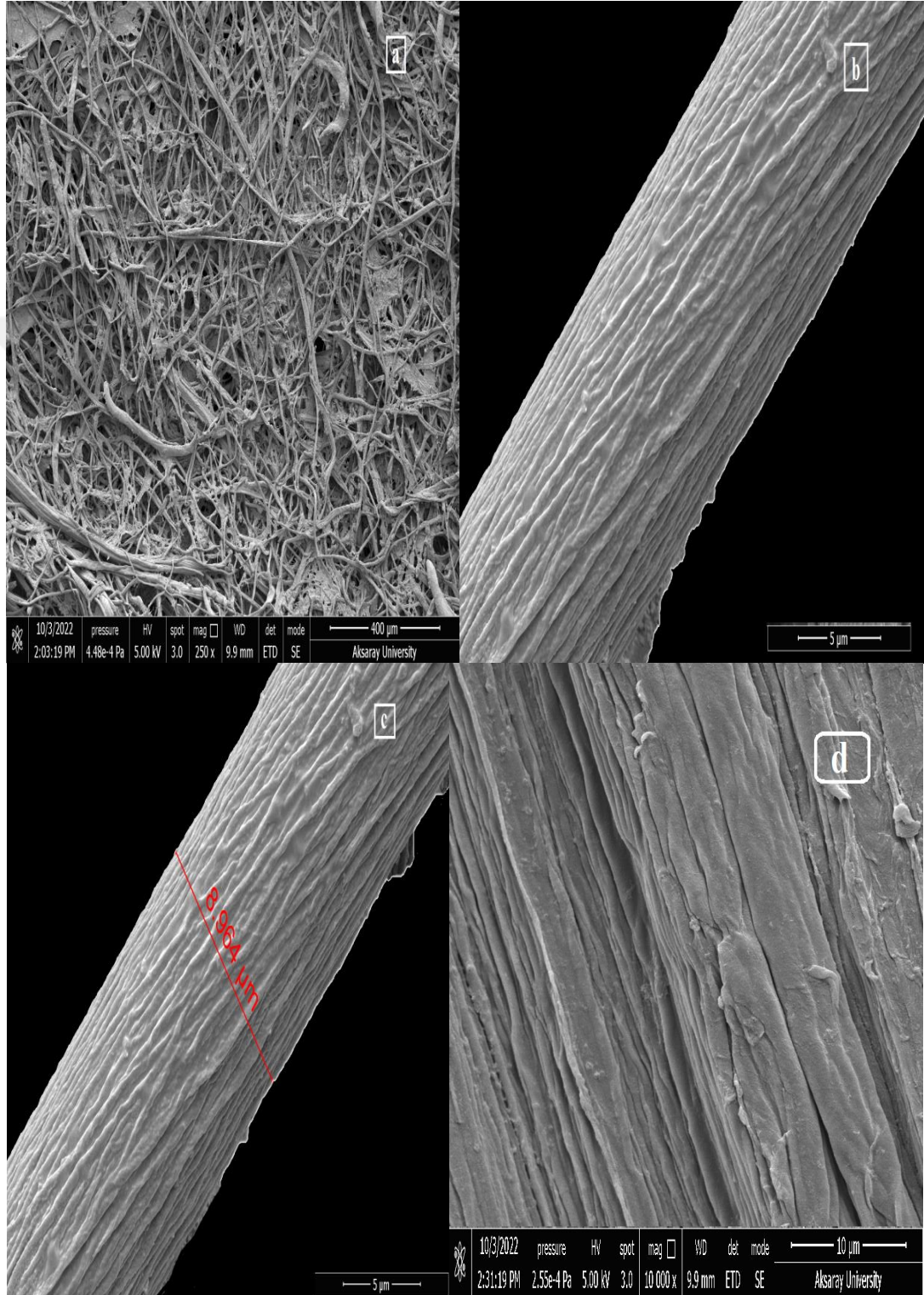


Şekil 4.21 (devam). *Festuca valesiaca* sap selüloz liflerinin liflerinin SEM görüntüleri.

Şekil 4.21a'da *Festuca valesiaca* sap selülozuna ait lif görülmektedir ve çapı 7.591 µm olarak ölçülmüştür ve lif üzerinde küçük safsızlıkların olduğu da görülmektedir. Şekil 4.21c lif yüzeyi göstermektedir ve lif yüzeyi pürüzlüdür. *Festuca valesiaca* sap lifleri ayrıca Şekil 4.21d ve Şekil 4.21e'de lif demet halinde görülmektedir.

4.5.3 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* liflerinin yüzey morfolojisi

Şekil 4.22’de *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* sap selüloz liflerinin farklı büyütme oranlarına ait yüzey morfolojisini gösterilmiştir.

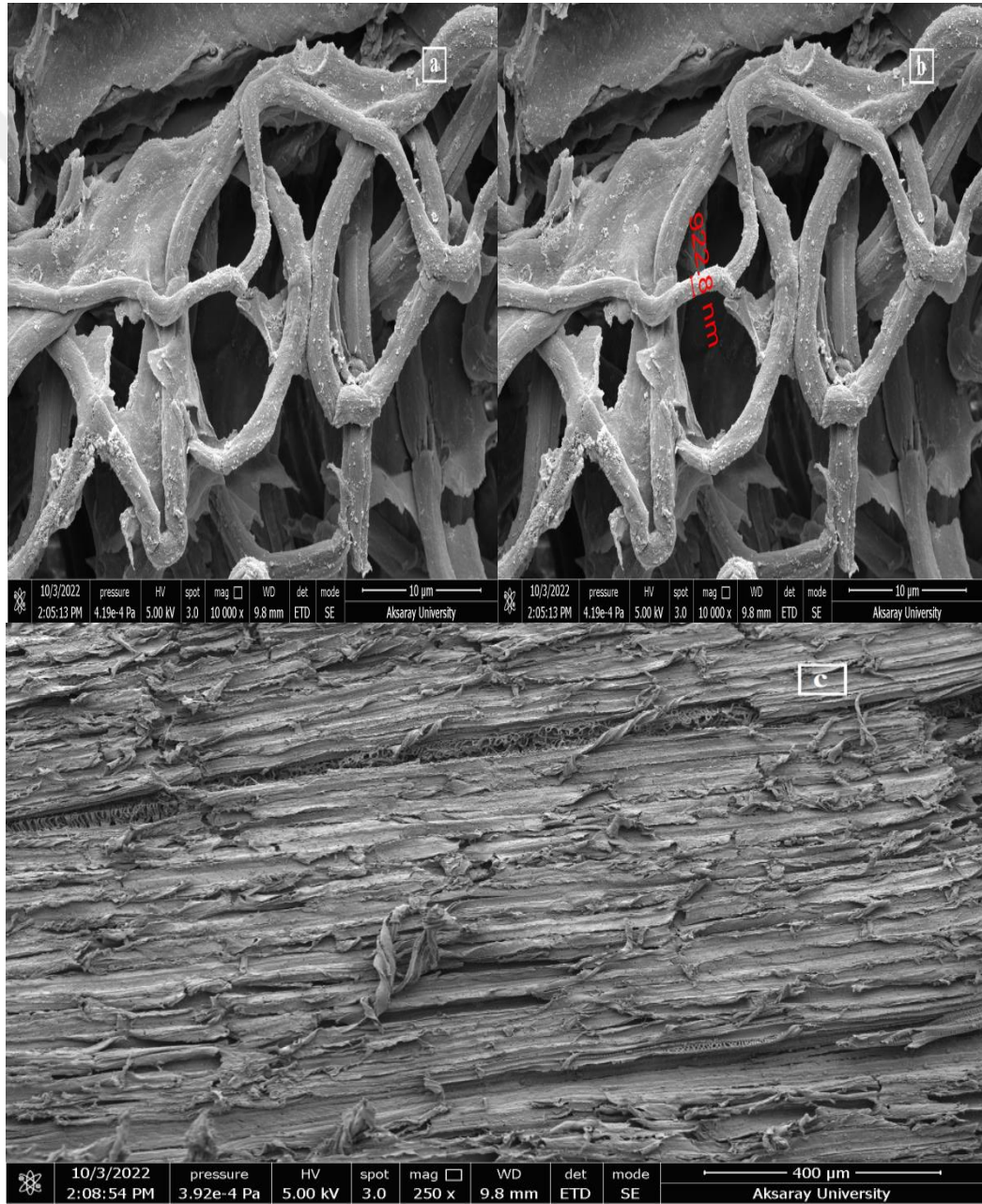


Şekil 4.22. *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selüloz liflerinin SEM görüntüleri.

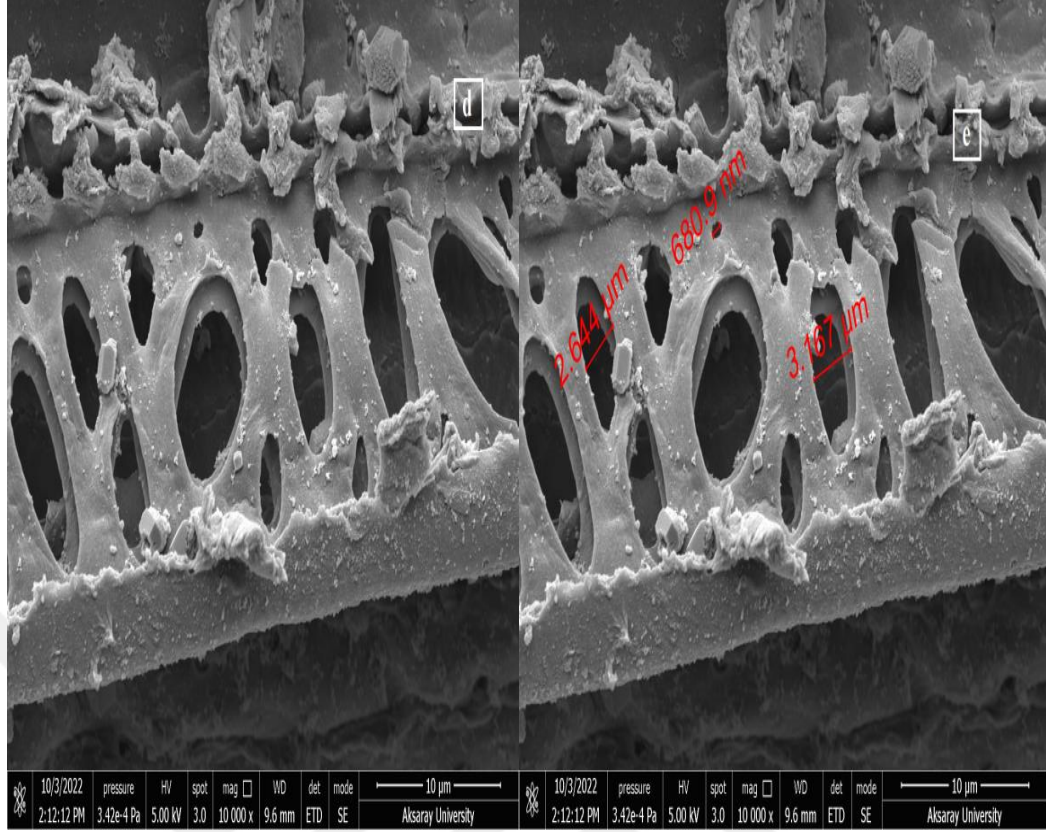
Şekil 4.22a'da *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selülozuna ait lifler görülmektedir. Şekil 4.22b ve Şekil 4.22c'de *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* selülozuna ait lif görülmektedir ve çapı 8.964 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.22d lif yüzeyini göstermektedir ve lif yüzeyi pürüzlüdür.

4.5.4 *Asphodeline taurica* liflerinin yüzey morfolojisi

Şekil 4.23'te *Asphodeline taurica* sap selüloz liflerinin farklı büyütme oranlarına ait yüzey morfolojisini gösterilmiştir.



Şekil 4.23. *Asphodeline taurica* selüloz liflerinin SEM görüntüleri.

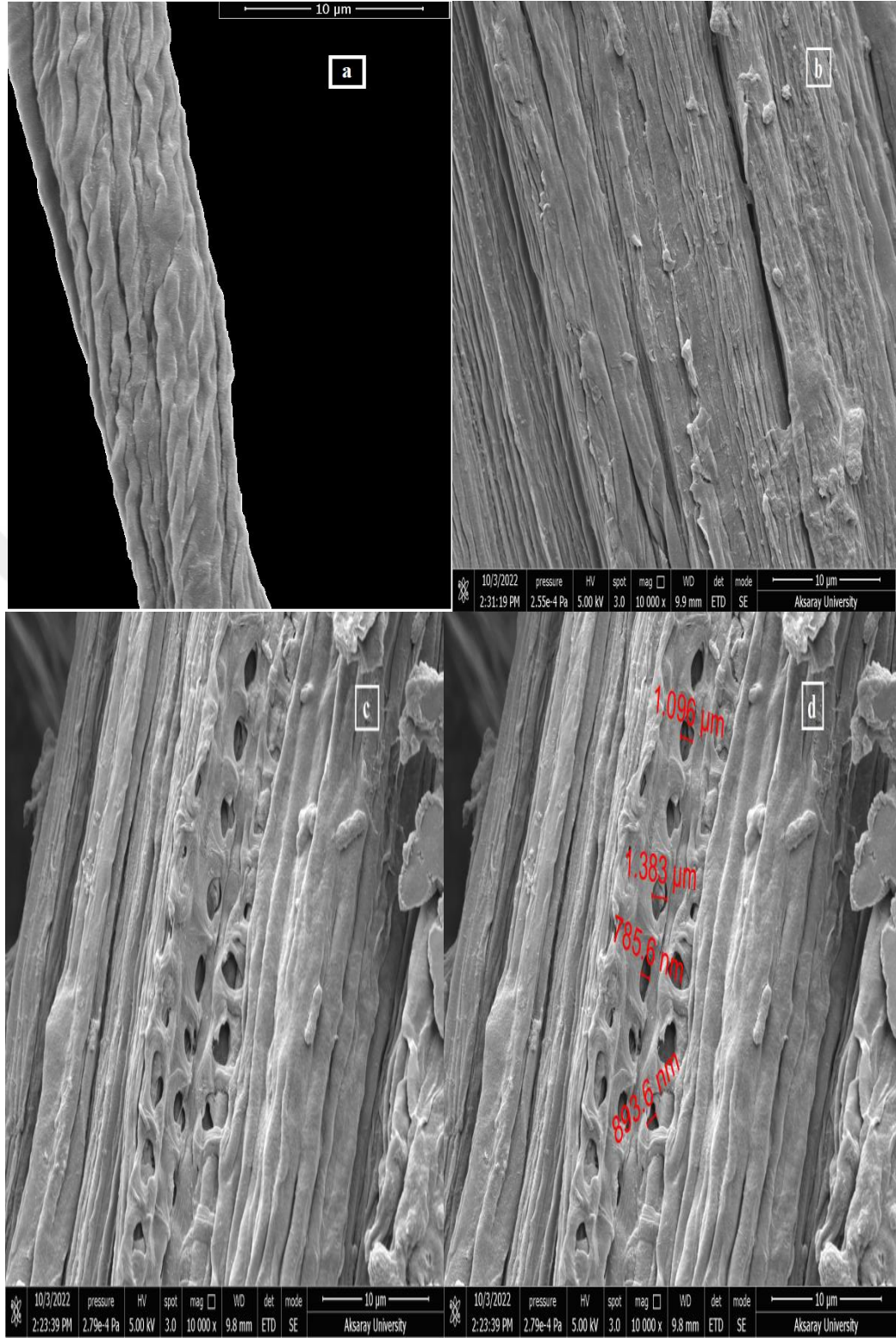


Şekil 4.23 (devam). *Asphodeline taurica* selüloz liflerinin SEM görüntüleri.

Şekil 4.23a ve 4.23b’de *Asphodeline taurica* selülözünün lif morfolojisi gösterilmiştir ve lif çapı 922.8 nm dir. Şekil 4.23c’de lif morfolojisi gösterilmiştir ve lif yüzeyi pürüzlü bir yapıya sahiptir. Liflerin yüzeyinde küçük boşlukların bulunduğu bir hücre yapısının varlığı Şekil 4.23d ve 4.23e’de gözlenmiştir. *Asphodeline taurica* liflerinde çok sayıda mikro yarık ve olukların olduğu yüzey morfolojisinin ise pürüzlü bir yapıda olduğu görülmüştür. Ayrıca *Asphodeline taurica* liflerinin sarmal bir yapıda olduğu Şekil 4.23a ve Şekil 4.23b’de görülmektedir. *Asphodeline taurica* lifinin yüzeyinde yer alan porların boyutları 3.167 μm , 2.644 μm ve 680 nm olarak ölçülmüştür. *Asphodeline taurica* türünün liflerinin sarmal yapıda olmasının ve bol miktarda por bulunmasının lifin ait olduğu bitki kısmının iletim demetleri ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

4.5.5 *Juncus compressus* liflerinin yüzey morfolojisi

Şekil 4.24’te *Juncus compressus* sap selüloz liflerinin farklı büyütme oranlarına ait yüzey morfolojisini gösterilmiştir.

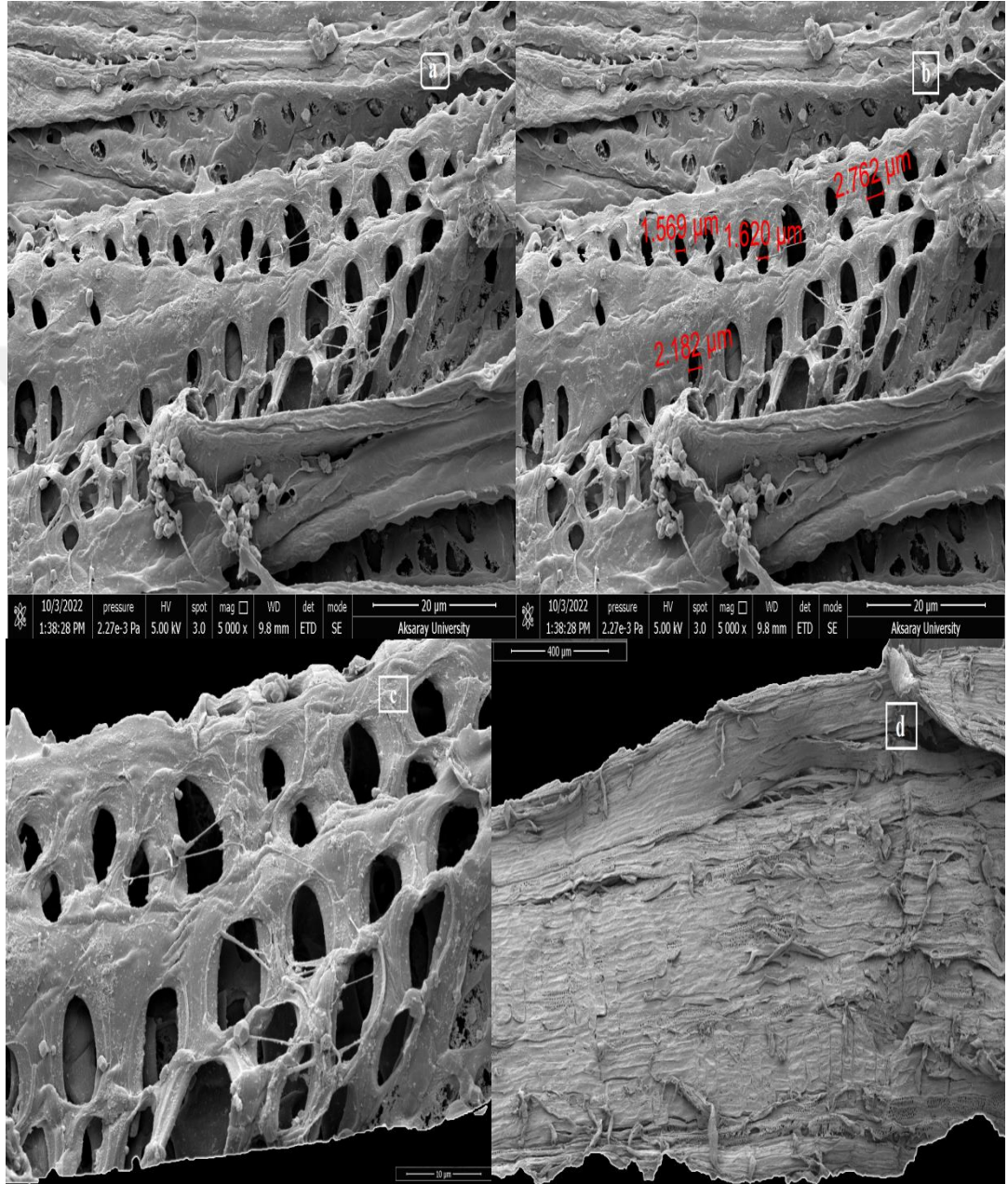


Şekil 4.24. *Juncus compressus* sap selüloz liflerinin SEM görüntüleri.

Şekil 4.24a’da *Juncus compressus* lifinin çapı 4.943 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.24b lif yüzeyini göstermektedir ve lif yüzeyinin pürüzlü bir yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 4.24c ve 4.24d’de lif yüzeyi üzerinde yer alan 899.6 nm ve 1.383 µm boyutları arasında mikroboşluklar ve mikroçukurlar görülmektedir.

4.5.6 *Verbascum helianthemoides* liflerinin yüzey morfolojisini

Şekil 4.25'te *Verbascum helianthemoides* selüloz liflerinin yüzey morfolojisini gösterilmiştir.



Şekil 4.25. *Verbascum helianthemoides* liflerinin SEM görüntüleri.

Şekil 4.25a, Şekil 4.25b ve Şekil 4.25c'de *Verbascum helianthemoides* selülozuna ait lif yüzeyleri ve yüzey boşlukları görülmektedir. Lif yüzeyinde yer alan boşlukların çapları 1.56 µm ile 2.762 µm arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 4.25d lif yüzeyini göstermektedir ve *Verbascum helianthemoides* lif yüzeyi pürüzlüdür.

4.6 Elemental Analiz Sonuçları

Çizelge 4.10'dabitki türlerine ait liflerin bünyesinde bulunan elementler verilmiştir.

Çizelge 4.10.Asit/Alkali uygulaması görmüş liflerde bulunan elementler.

Bitki Tür İsimleri	%N	%C	%H	%O*	%S	H/C oranı	O/C oranı	N/C oranı
<i>Festuca valesiaca</i> Kök	0.51	29.07	3.79	66.53	0.10	0.13	2.28	0.017
<i>Festuca valesiaca</i> Gövde	0.38	33.34	4.6	61.68	-	0.13	1.85	0.011
<i>Verbascum helianthemoides</i>	0.46	46.68	5.9	46.96	-	0.12	1	0.009
<i>Stipa pulcherrima</i> subsp. <i>epilosa</i>	0.29	29.93	4.43	65.35	-	0.14	2.18	0.009
<i>Juncus compressus</i>	0.32	41.39	5.6	52.69	-	0.13	1.2	0.007
<i>Asphodeline taurica</i>	0.45	42.92	5.4	51.23	-	0.12	1.19	0.013

*Aradaki farktan hesaplanmıştır.

Doktora konusu bitkilerin liflerinin elemental analiz sonuçlarına göre izole edilen selüloz liflerinin içerisinde bulunan karbon elementi yüzdeleri % 46.68 *Verbascum helianthemoides*, %42.92 *Asphodeline taurica*, %41.39 *Juncus compressus*, %33.34 *Festuca valesiaca* gövde, %29.93 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* ve %29.07 *Festuca valesiaca* kök olarak belirlenmiştir. En fazla selüloz içeriğine sahip olan iki türün *Verbascum helianthemoides* ve *Asphodeline taurica* türlerinin karbon oranları da diğer bitki türlerinin liflerine göre yüksek çıkmıştır.

Doktora konusu bitkilerin liflerinin elemental analiz sonuçlarına göre izole edilen selüloz liflerinin içerisinde bulunan hidrojen elementi yüzdeleri %5.9 *Verbascum helianthemoides*, %5.6 *Juncus compressus*, %5.4 *Asphodeline taurica*, %4.6 *Festuca valesiaca* gövde, %4.43 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* ve %3.79 *Festuca valesiaca* kök olarak belirlenmiştir. Diğer bitki liflerine göre karbon oranı yüksek olan *Verbascum helianthemoides*, *Asphodeline taurica* ve *Juncus compressus* liflerinin hidrojen oranları da diğer üç bitki lifine göre yüksek çıkmıştır.

Doktora konusu bitkilerin liflerinin elemental analiz sonuçlarına göre izole edilen selüloz liflerinin içerisinde bulunan oksijen elementi yüzdeleri %66.53 *Festuca*

valesiaca kök, %65.35 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, %61.68 *Festuca valesiaca* gövde, %52.69 *Juncus compressus*, %51.23 *Asphodeline taurica* %46.96 *Verbascum helianthemoides* olarak belirlenmiştir. Liflerin oksijen ihtiva etme sıralaması ile karbon ve hidrojen ihtiva etme sıralaması arasında ters ilişki görülmüştür. En fazla karbon ve hidrojen ihtiva eden *Verbascum helianthemoides* türünün liflerinin en az oksijen yüzdesine sahip lif olduğu görülmüştür. Aynı şekilde en az karbon ve hidrojen ihtiva eden life sahip *Festuca valesiaca* kök liflerinin oksijen içeriği en fazla life sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Oksijen içeriğinin fazla olmasının sebebi olarak lifte bulunanaçucu madde veya lif içerisinde fazla nem bulundurmasından dolayı olabileceği düşünülmektedir.

Doktora konusu bitkilerin liflerinin elemental analiz sonuçlarına göre izole edilen selüloz liflerinin içerisinde bulunan azot elementi yüzdeleri %0.51 *Festuca valesiaca* kök, %0.46 *Verbascum helianthemoides*, %0.45 *Asphodeline taurica*, %0.38 *Festuca valesiaca* gövde, %0.32 *Juncus compressus*, %0.29 *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* olarak belirlenmiştir. Çok az miktarda bulunan azot elementinin lif içerisinde eser miktarda lignin ve protein gibi selüloz dışı kalıntılardan kaynaklandığı düşünülmektedir. FTIR spektrumunda lignin kalıntıları gözlenen *Festuca valesiaca* kök ve *Verbascum helianthemoides* türlerine ait liflerin en fazla azot ihtiva ettiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.10 incelediğinde doktora konusu bitkilerin liflerinde H/C oranları 0.12 ve 0.14 aralığında belirlenmiş ve benzer oranlara sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.10 incelediğinde doktora konusu bitkilerin liflerinde %O/C oranları *Festuca valesiaca* kök %O/C oranı 2.28, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* %O/C oranı 2.18, *Festuca valesiaca* gövde %O/C oranı 1.85, *Juncus compressus* %O/C oranı 1.2, *Asphodeline taurica* %O/C oranı 1.19, *Verbascum helianthemoides* %O/C oranı 1 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye’de geniş yayılış gösteren ve doğal olarak yetişen dört bitki türü olan *Festuca valesiaca*, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa*, *Asphodeline taurica*, *Juncus compressus* türleri ve endemik *Verbascum helianthemoides* türünden selülozik lif izolasyonu gerçekleştirilmiştir. İzole edilen selüloz liflerinin kimyasal, fiziksel ve morfolojik özellikleri FT-IR, TGA, XRD, SEM, elemental analiz yapılarak belirlenmiştir.

Selüloz içeriği ile ilgili yapılan analizler sonucu bitkilerden elde edilen liflerin selüloz oranları; *Festuca valesiaca* kök lifi selüloz oranı %57.7, *Festuca valesiaca* sap lifi selüloz oranı %44.49, *Asphodeline taurica* lifi selüloz oranı %73.91, *Juncus compressus* sap lifi selüloz oranı %43.51, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* lifi selüloz oranı %59.36 ve *Verbascum helianthemoides* lifi selüloz oranı %78.34 olarak belirlenmiştir.

Festuca valesiaca, *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* ve *Juncus compressus* türlerine nazaran daha sert yapılı gövdeye sahip *Asphodeline taurica* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin selüloz oranlarının daha yüksek olduğu bulunmuştur. *Asphodeline taurica* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin liflerinin oldukça yüksek oranda selüloz içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca aynı türün farklı kısımlarının selüloz oranlarında farklı çıkabileceği (*Festuca valesiaca* kök -*Festuca valesiaca* sap) ortaya koyulmuştur.

F-TIR analizi asit/alkali uygulamasının ardından tez konusu tüm bitkilerden elde edilen selüloz liflerinin F-TIR spektrumlarının birbirlerine benzer şekilde piklere sahip olduğu göstererek selülozik özelliklere sahip olduklarını, birbirleri ve ticari selüloz F-TIR spektrumu ile benzer olduğu görülmüştür. Fakat *Festuca valesiaca* kök liflerindeki 1756 cm^{-1} ve 1242 cm^{-1} pikleri, *Verbascum helianthemoides* liflerindeki 1242 cm^{-1} ve 1605 cm^{-1} pikleri bu iki türe ait liflerde bir miktar lignin kalıntısı olduğunu göstermiştir.

Örneklerin termal analiz sonuçları incelendiğinde ise termal stabilite ve ağırlık kayıplarının benzer olduğu saptanmıştır. Yapısal karakterizasyonu belirlemek için gerçekleştirilen XRD ölçümleri tez konusu bitkilerin selüloz liflerinin yarı kristal bir

yapıda olduğunu göstermiştir. Her türün selüloz lifleri için belirgin iki pik gözlenmiştir.

SEM ile yapılan morfoloji çalışması tez konusu bitkilerin selüloz liflerinin çok sayıda yarık ve oluk ile pürüzlü bir yüzey yapısına sahip olduğunu göstermiştir. Diğer türlere nazaran daha fazla selüloz içeriğine sahip olan *Asphodeline taurica* ve *Verbascum helianthemoides* türlerinin selüloz liflerinde daha fazla mikropor ve mikroboşluklar olduğu bulunmuştur. Bu durum selüloz oranlarının fazlalığına yada bitkiden selülozun alındığı bölgenin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Elemental analiz sonuçlarında tez konusu bitkilerin liflerinde en fazla oranda oksijen ve ardından karbon elementinin bulunduğu FTIR spektrumunda lignin kalıntıları gözlenen *Festuca valesiaca* kök ve *Verbascum helianthemoides* türlerine ait liflerin en fazla azot ihtiva ettiği belirlenmiştir. %H/C oranının ve %N/C oranlarının tez konusu tüm türlerin selüloz liflerinde birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında şu ana kadar selüloz kaynağı olarak çalışılmamış *Festuca valesiaca* L., *Stipa pulcherrima* subsp. *epilosa* (Martinovsky) Tzvelev, *Asphodeline taurica* (Pall. Ex M. Bieb) Endl., *Juncus compressus* Jacq. ve *Verbascum helianthemoides* Hub-Mor. türlerinden selüloz izolasyonu ve karakterizasyonu yapılmış elde edilen selüloz liflerinin fizikokimyasal özellikleri, kimyasal bileşimleri ve morfolojik yapıları ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Tezde yer alan beş bitki türünün geniş yayılış alanına sahip olmaları, yetiştirme maliyetlerinin olmaması, ticari değerlerinin olmaması, doğal olarak yetişmeleri ve bol miktarda bulunmalarından dolayı doğal ve sürdürülebilir şekilde kullanılabilecek selüloz üretimi için kaynak oluşturma potansiyellerinin olduğu görülmüştür. Ayrıca tez konusu bitki türlerinin selüloz liflerinin biyokompozitler için alternatif malzeme olabileceğini de bu çalışma açıkça göstermiştir.

Ayrıca bu tez çalışmasının ileride yapılacak olan selüloz ve selüloz türevleri ile ilgili çalışmalar için kolay bulunabilir ve analizleri yapılmış selüloz kaynağı bulmada araştırmacılara kolaylık sağlanacağı, elde edilen selülozların modifikasyonları yapılarak farklı selüloz türevlerine dönüştürülebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ang, T. N., Ngoh, G. C., Chua, A. S. M. ve Lee, M. G., 2012. Elucidation of the effect of ionic liquid pretreatment on rice husk via structural analyses. *Biotechnology for Biofuels*, 5, 1–10.
- Arul Marcel Moshi, A., Ravindran, D., Sundara Bharathi, S. R., Suganthan, V. ve Kennady Shaju Singh, G., 2019. Characterization of New Natural Cellulosic Fibers-A Comprehensive Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 574, 1.
- Barkworth, M., M. Arriaga, J. Smith, S. Jacobs, J. Valde's-Reyna, ve B. Bushman. 2008. Molecules and Morphology in South American Stipeae (Poaceae). *Systematic Botany* 33, 719–731.
- Belouadah, Z., Toubal, L. M., Belhaneche-Bensemra, N. ve Ati, A., 2021. Characterization of ligno-cellulosic fiber extracted from *Atriplex halimus* L. plant. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 806–815.
- Bhuvaneshwaran, M., Subramani, S. P., Palaniappan, S. K., Pal, S. K. ve Balu, S., 2021. Natural Cellulosic Fiber from *Coccinia Indica* Stem for Polymer Composites: Extraction and Characterization. *Journal of Natural Fibers*, 5, 644–652.
- Bianchet, R. T., Vieira Cubas, A. L., Machado, M. M. ve Siegel Moecke, E. H., 2020. Applicability of bacterial cellulose in cosmetics – bibliometric review. *Biotechnology Reports*, 27, e00502.
- Candiotti, S., Mantari, J. L., Flores, C. E. ve Charca, S., 2020. Assessment of the mechanical properties of peruvian *Stipa Obtusa* fibers for their use as reinforcement in composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 135, May, 105950.
- Carrere, H., Antonopoulou, G., Affes, R., Passos, F., Battimelli, A., Lyberatos, G. ve Ferrer, I., 2016. Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application. *Bioresource Technology*, 199, 386–397.
- Ceylan, Z., Taşar, Ş., Kaya, F. ve Özer, A., 2020. Farklı Biyokütle Atıklarının Alkali Ön İşlem Etkinliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 2296–2312.
- Cheng, H. H. ve Whang, L. M., 2022. Resource recovery from lignocellulosic wastes via biological technologies: Advancements and prospects. *Bioresource Technology*, 343, October 2021, 126097.
- Cialdella, A. M., D. Salariato, L. Aagesen, L. M. Giussani, F. M. Zuloaga, ve O. Morrone. 2010. Phylogeny of New World Stipeae (Poaceae): an evaluation of the monophyly of *Aciachne* and *Amelichloa*. *Cladistics* 26, 563–578.

- Clayton, W., Harman, K. ve Williamson, H., 2006. World Grass Species-Synonymy database, The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew.
- Courtenay, J. C., Johns, M. A., Galembeck, F., Deneke, C., Lanzoni, E. M., Costa, C. A., Scott, J. L. ve Sharma, R. I., 2017. Surface modified cellulose scaffolds for tissue engineering. *Cellulose*, 24, 253–267.
- Dalmis, R., Köktaş, S., Seki, Y. ve Kılınç, A. Ç., 2020. Characterization of a new natural cellulose based fiber from *Hierochloe Odarata*. *Cellulose*, 27, 127–139.
- Davis, P.H., Mill, R.R. ve Tan, K., 1988a. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 9. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Davis, P.H., Mill, R.R. ve Tan, K., 1988b. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 8. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Davis, P.H., Mill, R.R. ve Tan, K., 1988c. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 9. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Davis, P.H., Mill, R.R. ve Tan, K., 1988d. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 6. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- de Oliveira Barud, H. G., da Silva, R. R., Borges, M. A. C., Castro, G. R., Ribeiro, S. J. L. ve da Silva Barud, H., 2021. Bacterial Nanocellulose in Dentistry: Perspectives and Challenges. *Molecules*, 26, 1.
- De Silva, D. J. ve Olver, J. M., 2005. Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) lubricant facilitates insertion of porous spherical orbital implants. *Ophthalmic Plastic and Reconstructive Surgery*, 21, 301–302.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H. ve Patil, R. T., 2012. Dietary fibre in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 3, 255–266.
- Dittenber, D. B. ve Gangarao, H. V. S., 2012. Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43, 8, 1419–1429.
- Dufresne, A., 2013. Nanocellulose: A new ageless bionanomaterial. *Materials Today*, 16, 6, 220–227.
- Dweib, M. A., Hu, B., Shenton, H. W. ve Wool, R. P., 2006. Bio-based composite roof structure: Manufacturing and processing issues. *Composite Structures*, 74, 4, 379–388.
- Eichhorn, S. J., Baillie, C. A., Zafeiropoulos, N., Mwaikambo, L. Y., Ansell, M. P., Dufresne, A., Entwistle, K. M., Herrera-Franco, P. J., Escamilla, G. C., Groom, L., Hughes, M., Hill, C., Rials, T. G. ve Wild, P. M., 2001. Current international research into cellulosic fibres and composites. *Journal of Materials Science*, 36, 9, 2107–2131.

- Ekim, T., 2000. [Verbascum L.] In: Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. ve Başer, K.H.C. (Eds.) Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Suppl. 2). Vol. 11. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Ekim, T., 2014. “Damarlı Bitkiler” Ed. Güner, A. ve Ekim, T. Resimli Türkiye Florası. Cilt 1, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları, Flora Dizisi 2. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul.
- Fardioui, M., Stambouli, A., Gueddira, T., Dahrouch, A., Qaiss, A. E. K. ve Bouhfid, R., 2016. Extraction and Characterization of Nanocrystalline Cellulose from Doum (*Chamaerops humilis*) Leaves: A Potential Reinforcing Biomaterial. Journal of Polymers and the Environment, 24, 4, 356–362.
- FBI., 2018. Cellulose Market. Fortune Business Insights. URL Adres: <https://www.fortunebusinessinsights.com/cellulose-market-102062>. Erişim tarihi: 07.06.2021.
- Freitag, H., 1985. The genus *Stipa* (Gramineae) in southwest and south Asia. Notes from the Royal Botanic Garden, Edinburgh.
- Ganapathy, T., Sathiskumar, R., Senthamaraikannan, P., Saravanakumar, S. S. ve Khan, A., 2019. Characterization of raw and alkali treated new natural cellulosic fibres extracted from the aerial roots of banyan tree. International Journal of Biological Macromolecules, 138, 573–581.
- George, J. ve Sabapathi, S. N., 2015. Cellulose nanocrystals: Synthesis, functional properties, and applications. Nanotechnology, Science and Applications, 8, 45–54.
- Güner, A. ve Aslan, S., 2012. Türkiye bitkileri listesi, (damarlı bitkiler), Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları, İstanbul.
- Habibi, Y., Lucia, L. A. ve Rojas, O. J., 2010. CNC - Johnsy - habibi2010 [2].pdf. Chemical Reviews, 110, 3479–3500.
- Hendriks, A. T. W. M. ve Zeeman, G., 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology, 100, 10–18.
- Hoover, M., Hein, M., Dayton, W. ve Erlanson, C., 1948, Grass The Yearbook of Agriculture 1948, US Government Printing Office, Washington.
- Jin, K., Tang, Y., Liu, J., Wang, J. ve Ye, C., 2021. Nanofibrillated cellulose as coating agent for food packaging paper. International Journal of Biological Macromolecules, 168, 331–338.
- Jorfi, M. ve Foster, E. J., 2015. Recent advances in nanocellulose for biomedical applications. Journal of Applied Polymer Science, 132, 1–19.

- Joseph, B., Sagarika, V. K., Sabu, C., Kalarikkal, N. ve Thomas, S., 2020. Cellulose nanocomposites: Fabrication and biomedical applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5, 223–237.
- Jussieu, A.L., 1789. de, *Genera Plantarum*, Paris, Viduam Herissant.
- Keskin, O. Y., Dalmis, R., Balci Kilic, G., Seki, Y. ve Koktas, S., 2020. Extraction and characterization of cellulosic fiber from *Centaurea solstitialis* for composites. *Cellulose*, 27, 17, 9963–9974.
- Khan, A., Vijay, R., Singaravelu, D. L., Sanjay, M. R., Siengchin, S., Jawaidd, M., Alamry, K. A. ve Asiri, A. M., 2020. Extraction and Characterization of Natural Fibers from *Citrullus lanatus* Climber. *Journal of Natural Fibers*, 00, 00, 1–9.
- Khan, A., Raghunathan, V., Singaravelu, D. L., Sanjay, M. R., Siengchin, S., Jawaidd, M., Alamry, K. A. ve Asiri, A. M., 2022. Extraction and Characterization of Cellulose Fibers from the Stem of *Momordica Charantia*. *Journal of Natural Fibers*, 19, 6, 2232–2242.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P. ve Bohn, A., 2005. Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie - International Edition*, 44, 22, 3358–3393.
- Klunklin, W., Jantanasakulwong, K., Phimolsiripol, Y., Leksawasdi, N., Seesuriyachan, P., Chaiyaso, T., Insomphun, C., Phongthai, S., Jantrawut, P., Sommano, S. R., Punyodom, W., Reungsang, A., Ngo, T. M. P., & Rachtanapun, P., 2021. Synthesis, characterization, and application of carboxymethyl cellulose from asparagus stalk end. *Polymers*, 13, 1, 1–15.
- Kumar, A., Negi, Y. S., Bhardwaj, N. K. ve Choudhary, V., 2012. Synthesis and characterization of methylcellulose/PVA based porous composite. *Carbohydrate Polymers*, 88, 4, 1364–1372.
- Kumar Gupta, P., Raghunath, S.S., Prasanna, D.V., Venkat, P., Shree, V., Chithanathan, C., Choudhary, S., Surender, K. ve Geetha, K., 2019. An Update on Overview of Cellulose, Its Structure and Applications InTech, London.
- Kurschner, K., Hoffer, A., 1969. Cellulose and cellulose derivative: *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*. 92, 3, 145-154.
- Le Bras, D., Strømme, M., ve Mihranyan, A., 2015. Characterization of dielectric properties of nanocellulose from wood and algae for electrical insulator applications. *Journal of Physical Chemistry B*, 119, 18, 5911–5917.
- Li, M., Wang, L. J., Li, D., Cheng, Y. L. ve Adhikari, B., 2014. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 102, 1, 136–143.

- Locatelli, M., Zengin, G., Uysal, A., Carradori, S., De Luca, E., Bellagamba, G., Aktumsek, A. ve Lazaro, I., 2017. Multicomponent pattern and biological activities of seven Asphodeline taxa: Potential sources of natural-functional ingredients for bioactive formulations. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 32, 1, 60–67.
- López-Linares, J. C., García-Cubero, M. T., Lucas, S. ve Coca, M., 2020. Integral valorization of cellulosic and hemicellulosic sugars for biobutanol production: ABE fermentation of the whole slurry from microwave pretreated brewer's spent grain. *Biomass and Bioenergy*, 135, October, 2019.
- Maache, M., Bezazi, A., Amroune, S., Scarpa, F. ve Dufresne, A., 2017. Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Juncus effusus* L. *Carbohydrate Polymers*, 171, 163–172.
- Malucelli, L. C., Lacerda, L. G., Dziedzic, M. ve da Silva Carvalho Filho, M. A., 2017. Preparation, properties and future perspectives of nanocrystals from agro-industrial residues: a review of recent research. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 16, 1, 131–145.
- Modulevsky, D. J., Cuierrier, C. M. ve Pelling, A. E., 2016. Biocompatibility of Subcutaneously Implanted Plant-Derived Cellulose Biomaterials. *PLoS ONE*, 11, 6, 1–19.
- Morán, J. I., Alvarez, V. A., Cyras, V. P. ve Vázquez, A., 2008. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. *Cellulose*, 15, 1, 149–159.
- Moussaoui, N., Rokbi, M., Osmani, H., Jawaid, M. ve Mohammad, A. A., 2021. Extraction and Characterization of Fiber Treatment *Inula viscosa* Fibers as Potential Polymer Composite Reinforcement. *Journal of Polymers and the Environment*, 0123456789.
- Naili, H., Jelidi, A., Limam, O. ve Khiari, R., 2017. Extraction process optimization of *Juncus* plant fibers for its use in a green composite. *Industrial Crops and Products*, 107, May, 172–183.
- Nechyporchuk, O., Belgacem, M. N. ve Bras, J., 2016. Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. *Industrial Crops and Products*, 93, 2–25.
- OEC., 2020. The Observatory Economic of Complexity. URL Adres: [Cellulose ://oec.world/en/profile/hs92/cellulose](https://oec.world/en/profile/hs92/cellulose). Erişim tarihi: 15.12.2020.
- Özbek, B., 2015. “Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesindeki *Juncus* L. (Juncaceae) Cinsinin Revizyonu” Doktora tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Padella, M., O'Connell, A. ve Prussi, M., 2019. What is still limiting the deployment of cellulosic ethanol? Analysis of the current status of the sector. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9, 21.
- Prem Kumar, N., Chellapandian, M., Arunachalam, N. ve Vincent, P., 2022. Effect of mercerization on the chemical characteristics of plant-based natural fibers. *Materials Today, Proceedings*.
- Ramesh, M., Palanikumar, K. ve Reddy, K. H., 2017. Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, May, 558–584.
- Ramkumar, R. ve Saravanan, P., 2021. Characterization of the Cellulose Fibers Extracted from the Bark of *Piliostigma Racemosa*. *Journal of Natural Fibers*, 00, 1–15.
- Romaschenko, K., Peterson, P. M., Soreng, R. J., Garcia-Jacas, N., Futorna, O. ve Susanna, A., 2007. Molecular phylogenetic analysis of the American Stipeae (Poaceae) resolves *Jarava* sensu lato polyphyletic: evidence for a new genus, *Pappostipa*. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 2: 165–192.
- Romaschenko, K., Peterson, P. M., Soreng, R. J., Garcia-Jacas, N., ve Susanna, A., 2010. Phylogenetics of Stipeae (Poaceae, Pooideae) based on plastid and nuclear DNA sequences. Pp. 511–537 in *Diversity, Phylogeny, and Evolution in the Monocotyledons*, eds. O. Seberg, G. Petersen, A. S. Barfod, and J. I. Davis. Aarhus, Aarhus University Press.
- Rosa, S. M. L., Rehman, N., De Miranda, M. I. G., Nachtigall, S. M. B. ve Bica, C. I. D., 2012. Chlorine-free extraction of cellulose from rice husk and whisker isolation. *Carbohydrate Polymers*, 87, 2, 1131–1138.
- Salit, M. S., 2014. Introduction. In *Engineering Materials*.
- Saravanakumar, S. S., Kumaravel, A., Nagarajan, T. ve Moorthy, I. G., 2014. Investigation of Physico-Chemical Properties of Alkali-Treated *Prosopis juliflora* Fibers. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 19, 4, 309–317.
- Segal, L., Creely, J. J., Martin, A. E. ve Conrad, C. M., 1959. An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. *Textile Research Journal*, 29, 10, 786–794.
- Senthamaraikannan, P. ve Kathiresan, M., 2018. Characterization of raw and alkali treated new natural cellulosic fiber from *Coccinia grandis*.L. *Carbohydrate Polymers*, 186, October 2017, 332–343.
- Serra, D. O., Richter, A. M. ve Hengge, R., 2013. Cellulose as an architectural element in spatially structured *escherichia coli* biofilms. *Journal of Bacteriology*, 195, 24, 5540–5554.

- Seven, E., 2020. Türkiye'nin Biyoçeşitlilik Turizm Potansiyeli Üzerine Bir Değerlendirme. *Journal of Current Debates in Social Sciences*, 3, 2, 95-103.
- Sharma, A., Thakur, M., Bhattacharya, M. ve Mandal, T., 2019. Commercial application of cellulose nano-composites – A review. *Biotechnology Reports*, 2018, e00316.
- Sharma, R. C., Tateishi, R., Hara, K., Nguyen, H. T., Gharechelou, S. ve Nguyen, L. V., 2017. Earthquake damage visualization (EDV) technique for the rapid detection of earthquake-induced damages using SAR data. *Sensors (Switzerland)*, 17, 2.
- Soccol C.R., Faraco, V., Karp S.G., Vandenberghe, L.P.S., Thomaz- Soccol V., Woiciechowski, A.L. A. Pandey A., 2019. *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels (Second Edition)*, s. 331 – 354.
- Tenorio-Alfonso, A., Sánchez, M. C. ve Franco, J. M., 2020. A Review of the Sustainable Approaches in the Production of Bio-based Polyurethanes and Their Applications in the Adhesive Field. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 3, 749–774.
- Thooyavan, Y., Kumaraswamidhas, L. A., Edwin Raj, R., Binoj, J. S. ve Brailson Mansingh, B., 2022. Failure analysis of basalt bidirectional mat reinforced micro/nano Sic particle filled vinyl ester polymer composites. *Engineering Failure Analysis*, 136, January, 106227.
- Trademap., 2020. Trademap. Dış Ticaret İstatistikleri, URL Adres: www.trademap.org. Erişim tarihi: 10.06.2021.
- Tutuş, A., Çiçekler, M., Yemşen, B., Bilgiç Kara, S., Sözbir, T., 2021. Kenevir (*Cannabis sativa* L.) saplarından kağıt hamuru ve kağıt üretiminin araştırılması. *Turkish Journal of Forestry*, 22,3, 311-317.
- Tuzlacı E., 1987. *Asphodeline (Liliaceae) cinsinin revizyonu. Yeni bir infrageneric sınıflandırma Candollea*, 42, 1987, s. 559 – 576.
- TÜİK., 2020. Yıllık Sanayi İstatistikleri. URL Adres: <http://tuik.gov.tr/>. Erişim tarihi: 10.06.2021.
- Ulubelen, A. ve Tuzlaci, E., 1985. Sesquiterpene lactones, flavonoids and anthraquinones from *Asphodeline globifera* and *Asphodeline Damascena*. *Phytochemistry*, 24, 12, 2923–2924.
- Vanhatalo K., 2017. A new manufacturing process for microcrystalline cellulose (MCC). Aalto University publication series [doctoral dissertations]. Helsinki.
- Vijay, R., Singaravelu, D. L., Vinod, A., Sanjay, M. R. ve Siengchin, S., 2021. Characterization of Alkali-Treated and Untreated Natural Fibers from the Stem of *Parthenium Hysterophorus*. *Journal of Natural Fibers*, 18, 1, 80–90.

Vijay, R., James Dhillon, J. D., Gowtham, S., Harikrishnan, S., Chandru, B., Amarnath, M. ve Khan, A., 2022. Characterization of Natural Cellulose Fiber from the Barks of *Vachellia farnesiana*. *Journal of Natural Fibers*, 19, 4, 1343–1352.

Zengin, G., Locatelli, M., Ceylan, R. ve Aktumsek, A., 2016. Anthraquinone profile, antioxidant and enzyme inhibitory effect of root extracts of eight Asphodeline taxa from Turkey: can Asphodeline roots be considered as a new source of natural compounds? *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31, 5, 754–759.

Ziba, C. A., Akarsu, S., Gönül, G., ve Dolaz, M., 2016. Tekstil Atığı “ Klima Tozu ” ndan Selüloz Eldesi, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 3, 103–109.

URL-1 <<https://bizimbitkiler.org.tr/v3/demo/details.php?id=10618&t=1>>, Erişim tarihi: 10.06.2022.

URL-2 <<https://bizimbitkiler.org.tr/v3/demo/details.php?id=10618&t=1>>, Erişim tarihi: 10.06.2022.

URL-3 <<https://bizimbitkiler.org.tr/v3/demo/details.php?id=12985&t=1>>, Erişim tarihi: 10.06.2022.

URL-4 <<https://bizimbitkiler.org.tr/v3/demo/details.php?id=8105&t=1>>, Erişim tarihi: 10.06.2022.

URL-5 <<https://bizimbitkiler.org.tr/v3/demo/details.php?id=12539&t=1>>, Erişim tarihi: 10.06.2022.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Harun METİN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Gazi Üniversitesi, Biyoloji Eğitimi, 2009-2014

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, 2015-2018

Doktora : Aksaray Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, 2019-2023

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Milli Eğitim Bakanlığı / Biyoloji Öğretmeni

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Metin H. ve Karaman S., 2023. *Juncus compressus*'un Saplarından İlk Kez Doğal Selüloz Lif İzolasyonu ve Karakterizasyonu. Ahi Ziraat Der/J Ahi Agri 3(1): 37-48

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Metin H. ve Karaman S., 2022. Aksaray ilinde geniş yayılışa sahip *Festuca valesiaca* türünün köklerinden ilk kez selüloz izolasyonu ve karakterizasyonu. VII. Uluslararası Aksaray Sempozyumu 2022. Somuncu Baba Tarih ve Kültür Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Aksaray-Türkiye. Book Of Abstracts, 25.